KALLIORAKENTAMISEN TAHTITUOTANNON AIKATAULUSUUNNITTELUN JA AIKATAULUOHJAUKSEN TOIMINTAMALLI

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotannonjohtamisen maisteriohjelma

2023

Heini Soininen

Tarkastaja(t): tutkijaopettaja Petri Niemi

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Heini Soininen

Kalliorakentamisen tahtituotannon aikataulusuunnittelun ja aikatauluohjauksen toimintamalli

Tuotannon johtaminen, diplomityö

74 sivua, 32 kuvaa, 5 taulukkoa

Tarkastaja(t): Tutkijaopettaja Petri Niemi

Avainsanat: Lean rakentaminen, tahtituotanto, kalliorakentaminen, aikataulu, tuotanto, päivittäisjohtaminen

Diplomityö käsittelee teollisen Lean rakentamisen hyödyntämistä kalliorakentamisessa tahtituotannon ja päivittäisjohtamisen kautta. Tahtituotannossa virtauksen ja tuotannon tasoittaminen vähentää vaihtelua tuotannossa, jolloin tuotannon suunnittelu helpottuu. Tahtituotannon tehokas hyödyntäminen vaatii osaltaan päivittäisjohtamisen lisäämistä ja tahtikontrollin pitämistä säännöllisesti. Näin saadaan selville aikatauluun vaikuttavia häiriöitä ja ongelmia sekä pystytään nopeammin reagoimaan ongelmiin. Toisaalta tahtituotanto vaatii suurempaa yhteistyötä urakoitsijoiden välillä ja yhteistoiminnan lisäämistä.

Tehdyssä kyselyssä selvitettiin työmaan henkilöstön teollisen rakentamisen ja Lean käsitteiden tuntemusta sekä työmaan aikatauluun vaikuttavia asioita. Kyselyssä tuli ilmi, että työmailla halutaan selkeää ja priorisoitua aikataulutusta sekä lisätä yhteistoimintaa aliurakoitsijoiden kanssa. Yleisimpiä aikataulun ongelmia ovat työmailla yllättävät kalustorikot, ennakoimattomat lujitukset, väärä työjärjestys, louheenajon tehokkuuden ongelmat sekä yhteistoiminta aliurakoitsijoiden kanssa. Näihin ongelmiin voidaan osaltaan vastata tahtituotannon käyttöönottamisella sekä päivittäisjohtamista parantamalla.

Lean työkaluista visuaalista johtamista ja jatkuvan parantamisen käytäntöjen käyttämistä tarvitaan työmailla työmaan tilannekuvan ylläpitämisen helpottamiksi sekä ongelmien tehokkaamman ratkaisun varmistamiseksi. Myös johtamistavan muutos on tarpeellinen työmaan kommunikaation ja yhteistyön parantamiseksi. Näillä keinoilla on mahdollista saada paras hyöty tahtituotannon käyttöönottamista.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Heini Soininen

The operating model for scheduling and control in Rock Construction's takt production

Master's thesis

2023

74 pages, 32 figures, 5 tables

Examiners: Associate Professor Petri Niemi

Keywords: Lean construction, takt planning, rock engineering, project schedule, production, daily management

The Master's thesis deals with the utilization of industrial Lean construction in rock construction through takt production and daily management. In takt production, smoothing the flow and production reduces variability in production, making production planning easier. Effective utilization of pacing production requires increasing daily management and regular takt control. In this way, disturbances and problems affecting the schedule can be found out, as well as being able to react to problems more quickly. On the other hand, takt production requires greater cooperation between contractors and increased cooperation.

In the survey conducted, the knowledge of the industrial construction and Lean concepts of the site personnel was investigated, as well as issues affecting the site's schedule. The survey revealed that clear and prioritized scheduling and increased cooperation with subcontractors is desired at the construction sites. The most common schedule problems are unexpected equipment breakdowns on construction sites, unanticipated reinforcements, incorrect work order, problems with the efficiency of quarrying, and cooperation with subcontractors. These problems can be partly answered by introducing takt time production and improving daily management.

Lean tools, visual management and the use of continuous improvement practices are needed on construction sites to make it easier to maintain a situational picture of the construction site and to ensure a more efficient solution to problems. A change in management style is also necessary to improve communication and cooperation between people. With these means, it is possible to get the best benefit from the introduction of takt time production.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto ... 6
1.1 Työn tausta ... 6
1.2 Tavoitteet ja rajaus ... 7
1.3 Tutkimuksen toteutus ... 8
1.4 Raportin rakenne ... 9
2 Teollinen tuotanto ja rakentaminen ... 10
2.1 Rakentamisen ja tehdastuotannon erityispiirteitä ... 10
2.2 Tehdastuotantoon vaikuttavia asioita ja tuotannon suunnittelu ... 13
2.3 Lean - filosofia ... 16
2.4 Lean rakentamisessa ja työkalujen hyödyntäminen ... 20
2.4.1 Arvoa tuottamaton työ rakentamisessa ... 22
2.4.2 Tahtituotanto rakentamisessa ... 24
2.4.3 Last Planner System rakentamisessa ... 27
2.4.4 Jatkuva parantaminen tahtituotannossa sekä rakennusalalla ... 29
2.4.5 Yhteistoiminta ja päivittäisjohtaminen ... 35
3 Kalliorakentaminen ja nykyiset toimintatavat ... 40
3.1 Kalliorakentamisen kehitys ... 40
3.2 Kalliorakentamisen työvaiheet ja sisältö ... 40
3.3 Ympäristön vaikutus kalliorakentamiseen ... 46
3.4 Kalliorakentamisen aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen nykytila yrityksessä ... 48
4 Teollisen rakentamisen tunnettuus kalliorakennusyksikössä ja tuotannon ongelmien kartoitus ... 50
4.1 Lean rakentamisen ja työkalujen tuntemus ... 51
4.2 Aikataulussa pysymiseen vaikuttaminen ja tuotannon häiriöt ... 53
5 Kalliorakentamisen tahtituotannon ohjauksen toimintamalli ... 58
5.1 Tuotannon suunnittelun lähtötiedot ... 59
5.1.1 Tahtituotannon suunnittelussa käytettyjä periaatteita ja puskurit ... 61
5.2 Tuotannon viikkosuunnittelu ja -ohjaus ... 62
5.2.1 Päivittäisjohtaminen ja seuranta ... 63
5.2.2 Tahtituotannon ohjaus työpakettien kautta ... 65

5.3 Tahtituotannon käyttöönottamisen aiheuttamat muutokset 67
6 Yhteenveto ja johtopäätökset..... 69

1 Johdanto

Diplomityö on tehty YIT Suomi Oy kalliorakentamisen yksikölle. Kalliorakentamisen yksikössä tehdään maanalaista tunnelilouhintaa ja avolouhintaa Suomessa ja Ruotsissa. Rakentaminen on viime vuosina noussut paljon otsikoihin tuottavuuden ja laadun osalta, eikä aina positiivisessa sävyssä. Rakentamisessa käytetään nykyään hyödyksi paljon digitaalisia ohjelmia sekä tietoa kerätään monesta suunnasta. Kalliorakentaminenkin on viimeisen kymmenen vuoden aikana digitalisoitunut ja monet laitteet ovat automatisoituneet ja tuottavat paljon hyödyllistä tietoa. Jotta tiedosta hyödytään ja toimintaa pystytään kehittämään ja tuotantoa tehostamaan, on ensin vakioitava tuotannon prosesseja. Tätä varten on YIT:llä kehitetty teollisen rakentamisen konseptia.

”Teollisen rakentamisen konseptin tavoitteena on teollistaa rakentaminen työmaalähtöisesti: Siirrytään asteittain prosessimaiseen, korkeasti vakioituun tapaan rakentaa, missä toimintamalli paranee jatkuvasti projektista toiseen, kumuloituvaan dataan perustuen. Konseptissa vakiointi perustuu tahtituotannosta tuttuihin työpaketteihin eikä lopputuotteeseen, mikä mahdollistaa parhaiden käytänteiden jakamisen eri segmenttien välillä ja varmistaa, että jokaisesta poikkeamatilanteesta hyödytään mahdollisimman paljon muilla projekteilla” (YIT 2022).

Teollisen rakentamisen konseptin ja tahtituotannon periaatteiden käyttöönotto on kalliorakentamisen yksikön tavoitteena seuraavien vuosien aikana.

1.1 Työn tausta

Rakennustoiminta on yksi yhteiskunnan perustoimintoja ja on vuosien ajan jäänyt jälkeen teollisuuden tuottavuuden kasvusta. Rakennustuotanto on projektimaista ja projektien lopputuotteet ovat hyvinkin erilaisia lopputuloksia. Projektien päätäntävalta ja suunnittelu on ainutkertaista sekä rakennustiimit kootaan jokaiseen hankkeeseen erikseen. Kun projekteja tarkastellaan lähemmin työn prosessit ja työvaiheet ovat urakoissa yleensä hyvin samankaltaisia ja toistuvat usein projektin sisällä sekä eri projektien välillä (Binninger et al 2017).

Teollisuuden liukuhihnalla kulkeva tuote on rakennustuotannossa työryhmän tekemä työsuoritus, joka perinteisessä uudisrakentamisessa luo kerroksia toisen päälle. Kalliorakentamisessa tämä tarkoittaa työtä, jossa irrotetaan kalliota katko kerrallaan luoden uutta tunnelia. Näiden prosessien ja työvaiheiden vakiointi on eräs tahtituotannon ja teollisen Lean rakentamisen keskiössä oleva periaate. Ilman vakiointia ei voida kehittää prosesseja tai dokumentoida kehittämisen tarpeita, jolloin jatkuva parantaminen ei onnistu (Heikkonen 2022). Projektien opit voidaan jakaa työmaiden kesken kehittämällä prosessit toimiviksi ja virtauttamalla tuotantoa. Päivittäisjohtamisella on oma roolinsa tunnistaa näitä oppeja ja luoda keinoja häiriöiden ratkaisemiseksi.

Tahtituotannon aikataulusuunnittelu ja -ohjaus ovat tärkeitä tahtituotannon hyödyntämisen onnistumiseksi. Jotta tahtiajassa pysytään, on tahtikontrollin toimittava ja seurannan oltava jatkuvaa niin, että häiriöihin päästään käsiksi ennen kuin työmaan tuotanto hidastuu ongelmien vuoksi. Näiden häiriöiden ja ongelmien kerääminen yhteen työmailta ja ratkaisu kestävällä tavalla auttaa työvaiheen kehittämisessä, kun samoja virheitä ei toisteta työmaasta toiseen, ja vakioinnin kautta yksinkertaistaa ja helpottaa työmaan arkea.

Syksyllä 2021 toimitusketjun kehittämisprojektin kehitystyön aikana rakennettiin kalliorakentamisen tahtituotannon työpakettien sisältöä. Talven aikana on kehitetty eteenpäin tunnelilouhinnan tahtituotannon sisältöä ja tahtialueita ja ensimmäinen pilottimalli tahtituotantoon on valmis. Jotta tahtituotannon käyttöönotto helpottaa työmaan arkea, diplomityön aiheeksi nousi syksyn kehitystyön pohjalta työmaan aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen toimintamallin kehittäminen tahtituotantoa varten. Tavoitteena on ottaa toimintamalli testaukseen syksyllä 2022 alkaneella työmaalla.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Diplomityössä keskitytään kalliorakentamisen tahtituotannon viikkosuunnittelun ja päivittäisjohtamisen aikataulusuunnitteluun ja -ohjaukseen. Teoriaosuudessa käydään läpi Leanin ja teollisen rakentamisen ajatusmallia ja erilaisia työkaluja, joita hyödyntämällä tuotantoa voidaan vakioida. Työssä on tavoitteena rakentaa kalliorakentamisen tahtituotantoa palvelemaan toimintamalli aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen yhtenäistämiseksi ja arjen päätösten tukemiseksi. Toimintamallia testataan syksyllä 2022 alkaneella työmaalla, jossa otetaan

käyttöön tahtituotanto. Toimintamallin testaaminen ja edelleen kehittäminen jää tämän diplomityön ulkopuolelle.

Työssä keskitytään työmaan johtamisen näkökulmaan ja varsinaisen tahtituotannon suunnittelu jätetään työn ulkopuolelle. Tahtituotannon tahtiajaksi on määritelty yksi viikko ja työpakettien sisältö on määritelty ensimmäisen projektin sisällön mukaan kalliorakentamiseen ja näitä kehitetään tämän työn ulkopuolella. Toimitusketjun kehittämisprojektissa on syksyllä 2021 selvitetty tuotannon suunnittelun ja johtamisen nykytilaa haastattelemalla yksikön toimihenkilöitä ja näitä haastatteluja käytetään osana tämän työn materiaalia. Nykytilan selvitystä ja tuotannon ongelmien kartoitusta tehdään myös lisähaastatteluilla ja aiemmin mainitun kyselyn avulla. Kyselyn avulla selvitetään millaiset ongelmat toistuvat työmaalla ja mitä työmaalla työskentelevät henkilöt näkevät tärkeinä asioina aikataulusuunnittelua ja -ohjausta kehitettäessä.

1.3 Tutkimuksen toteutus

Syksyllä 2021 tehdyn toimitusketjun kehittämisprojektin aikana selvitettiin kalliorakentamisen yksikön aikataulusuunnittelun nykytilannetta ja tuotannon ohjauksen käytäntöjä haastattelemalla yrityksen työmaapäällikköä, laskentapäällikköä sekä projekti- ja työpäällikköä. Tässä työssä tehdyn kyselyn tavoitteena on tehdä laajemmin kyselyä käytänteistä ja selvittää mitkä tilanteet aiheuttavat poikkeamia suunnitellusta aikataulusta ja milloin poikkeamat eivät edistä työtä. Kyselyssä selvitetään myös kalliorakennusyksikön henkilöstön teollisen rakentamisen ja Lean-käsitteiden ja -työkalujen tuntemusta. Kyselyn tuloksien pohjalta suunnitellaan jatkotoimenpiteitä tahtituotannon käyttöönottamisen helpottamiseksi.

Kirjallisuustutkimuksen osuudessa tutustutaan teollisen rakentamisen ja Leanin hyödyntämisen mahdollisuuksiin kalliorakentamisen aikataulusuunnittelussa kirjallisuuden pohjalta ja hyödyntämällä Lean Construction Instituten (LCI) – julkaisemia tieteellisiä julkaisuja ja kirjoituksia. Lisäksi on tutustuttu saksalaiseen Karlsruhe institute of technology (KIT) - yliopistossa tutkittuun tapaan suunnitella ja johtaa tahtituotantoa sekä Aalto-yliopiston Building 2030 hankkeen ja Lean Construction Institute - Finland RAIN2 hankkeen materiaaliin. Toimintamallia työmaan päivittäiseen aikataulusuunnitteluun ja -ohjaukseen on haettu osittain näiden tutkimusten pohjalta. Toimintamallin kehittämistä varten on tutustuttu

tehdastuotannon mahdollisuuksiin ja olennaisiin osiin tahtituotannon kontrolliin tarvittavien oppien ja muiden Lean-työkalujen mahdolliseen käyttöön.

1.4 Raportin rakenne

Raportin toinen osa käsittelee teollisen tuotannon ja rakentamisen eroja sekä teollisen rakentamisen ja Lean – filosofian periaatteita sekä työkaluja, joita on käytetty hyödyksi rakentamisessa tai teollisuudessa, ja joista on hyötyä toimintamallin kehittämisessä. Lisäksi käydään läpi päivittäisjohtamisen ja Lean johtamisen menetelmiä kehittää toimintaa ja selkeyttää työntekijöiden työtä sekä lisätä kommunikaatiota ja yhdessä tekemisen tunnetta.

Kolmannessa luvussa käydään läpi kalliorakentamisen työsisältöä ja erityispiirteitä sekä asioita, jotka vaikuttavat kalliorakentamisen projekteihin. Luvussa kuvataan kalliorakentamisen aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen nykytila. Kolmannessa luvussa käydään läpi myös kyselyn tulokset, joissa selvitettiin yksikön henkilöstön teollisen rakentamisen ymmärrystä ja aikataulussa pysymiseen vaikuttavia tekijöitä. Kyselyn kysymykset ja vastaukset ovat tämän työn liitteenä.

Neljännessä luvussa kuvataan kalliorakentamisen tahtituotannon aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen toimintamalli. Toimintamallissa kuvataan viikkoaikataulun suunnittelun ja päivittäisjohtamisen keinoja, kuinka tahtituotantoa pystytään parhaiten hyödyntämään. Lisäksi käydään läpi jatkuvan parantamisen prosessia ja kuinka tahtituotannon ongelmien ja häiriöiden kirjaaminen ja toiminnan kehittäminen tehdään.

Viimeiseksi käydään läpi johtopäätöksissä, kuinka tahtituotantoa pystyttäisiin hyödyntämään parhaiten tehdyn kyselyn tuloksien kehittämiseen sekä Lean-periaatteiden ja -työkalujen hyödyntämistä yleisesti kalliorakentamien yksikköä hyödyttävällä tavalla. Lisäksi pohditaan muita työnaikana esiin tulleita kehitysmahdollisuuksia, joilla on vaikutusta työmaan toiminnan vakiointiin.

2 Teollinen tuotanto ja rakentaminen

Rakentaminen nähdään monin tavoin erityisenä alana verrattuna teollisuuteen. Rakennustuotanto on jäänyt osaltaan jälkeen teollisen tuotannon tuottavuuden kasvusta. Jotta ymmärretään teollisen tuotannon eroja rakentamiseen ja teollisen tuotannon mahdollisuuksia rakentamiselle, tässä luvussa käsitellään ensin teollisen tuotannon ja rakentamisen eroja sekä teollisen tuotannon suunnittelun ja ohjauksen periaatteita tehdasfysiikan kautta.

Teollisen rakennustuotannon mahdollistavaa Lean-filosofiaa on käsitelty perustana rakentamisen Lean-periaatteille. Lean-työkaluja, kuten tahtituotantoa ja sen päivittäisjohtamista hyödyttäviä jatkuvan parantamisen työkaluja, on käsitelty tässä osassa teoriatiedon pohjalta. Tahtituotannon ohjauksen toimintamallin rakentamista varten, on perehdytty myös Lean-johtamisen periaatteisiin sekä päivittäisjohtamisen, visuaalisen johtamisen ja yhteistoiminnan työkaluihin osana teoriaa

2.1 Rakentamisen ja tehdastuotannon erityispiirteitä

Rakennuttajan riskit eri urakkamuodoissa – kirjassa ovat Peltonen ja Kiiras (1998) listanneet rakennustuotannon ja tehdastuotannon välisiä eroja ja koonneet tästä taulukon, taulukko 1. Rakennusalan erityispiirteistä johtuen sen onkin yleisesti todettu olevan useaa muuta teollisuuden alaa alttiimpi riskeille ja epävarmuudelle. (Peltonen 1998 s. 32). Rakentaminen on yksi yhteiskunnan perustarpeista ja on hyvin paikallista toimintaa, ja näin on ollut vähemmän tarvetta kehittää alaa kuin teollisuudessa, jossa kilpaillaan nykyään hyvin pitkälle erikoistuneilla tuotteilla. Usein sanotaan, että rakennusprojektit ovat aina prototyyppejä. Todellisuudessa samat prosessit siirtyvät työmaalta toiselle, mutta niistä kertyvä oppi ei. (Peltokorpi et al 2022)

Taulukko 1 Rakennustoiminnan erityispiirteet (Peltonen, Kiiras 1998)

Tehdasteollisuus	Rakennustoiminta
Suunnittelun, tuotannon ja markkinoinnin päätäntävalta yksissä käsissä.	Päätäntä jakautunut rahoittajille, rakennuttajalle, suunnittelijoille, paikallisille viranomaisille ja urakoitsijoille.
Suunnittelu- ja tuotantotiimien sekä alihankkijoiden vaihtuvuus on melko vähäistä ja myös näiden välillä on yhteistyötä.	Suunnittelu- ja rakennustiimit kootaan jokaiseen hankkeeseen erikseen, eivätkä osapuolet ole tottuneet toimimaan yhdessä.
Toistuvuus ja standardointi on korkealla tasolla.	Jokainen hanke suunnitellaan erikseen.
Tyypillisen tuotteen tuottamiseen tarvitaan vähäinen määrä yksinkertaistettuja toimintoja.	Tyypilliseen rakennusprojektin toteuttamiseen tarvitaan suuri määrä käsityötä. Toiminta on työvoimavaltaisempaa kuin tehdasteollisuus
Kaikki toiminta suoritetaan yhdessä pysyvässä toimipaikassa.	Toiminta hajotettu useisiin tilapäisiin kohteisiin.
Lyhyet valmistusajat ja suuret tuotantosarjat mahdollistavat tuotteen jatkokehittelyn prototyyppien avulla.	Pitkä rakennusprosessi ja jokaisen hankkeen ainutkertaisuus vaikeuttavat saatujen kokemusten ja palautteen hyödyntämistä jatkossa.

Tehdasteollisuudessa monet päätökset tehdään omistavan yrityksen sisällä koskien suunnittelua, tuotantoa tai markkinointia. Rakentamisessa päätäntävalta on jakautunut monelle toimijalle ja päätöksen teko voi olla pirstaloitunutta ja hidasta tämän vuoksi. Rakennuttaja on organisaatio tai henkilö, jonka tehtäväksi rakennushanke on annettu. Investointien toimeenpanosta vastaa toimeksiantaja, joka käynnistää hankkeen ja käyttää ratkaisevaa päätösvaltaa sekä vastaa hankkeesta ja sen kustannuksista. Lisäksi rakentamisessa ovat mukana suunnittelijoita, valvojia ja muita osapuolia, jotka toimivat rahoittajan tai tilaajaorganisaation alaisina. Urakoitsija taas on sopimusosapuoli, joka hoitaa varsinaisen rakentamistyön ja lisäksi erilaiset urakkamuodot vaikuttavat urakoitsijoiden toimintaan. Myös rakentajatiimit voivat olla ketjuutuneita erilaisiin aliurakoihin tai sivu-urakoihin. (www.duco.fi)

Rakennusala on erittäin verkostoitunut ala ja alalla on paljon toistensa kanssa tekemisissä olevia yrityksiä ja muita tahoja. Rakennusalan ydintoiminta on rakennuttajien, suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja tuoteteollisuuden yhteistyötä. Rakentaminen on näin myös paljon muuta kuin työmailla tapahtuva toiminta. Vaikka toiminta on verkottunut, rakennusalalle ei ole juurikaan syntynyt yhtä tiiviitä toimittaja- ja verkostosuhteita kuin valmistavassa

teollisuudessa. Valmistavan teollisuuden yritykset toimivat yleensä osana valmistus- tai toimitusverkostoa, jotka kilpailevat vastaavien toisten verkostojen kanssa myös kansainvälisesti. Rakennusalalla on puolestaan vakiintunut käytäntö hankekohtaisesta hankintojen kilpailuttamisesta, minkä vuoksi osapuolet vaihtuvat ainakin osittain jokaisessa hankkeessa. Rakennusalan markkinat ovat myös pääosin kansallisia ja osittain alueellisia. (A.Ahonen, J.Ali-Yrkkö et al 2020 s.21)

Rakentamiselle on laissa, asetuksissa ja erilaisissa viranomaismääräyksissä annettu erilaisia määräyksiä sekä Rakennustieto Oy on kerännyt yhdessä alan toimijoiden kanssa Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset (RYL) – julkaisusarjan. Vaikka RYL – julkaisut ovat alan toimijoiden kesken hyväksytty yleisiksi laatuvaatimuksiksi, on jokainen hanke suunnittelultaan ainutkertainen ja suunnitelmat määrittävät rakennushankkeen lopullisen laadun ja laajuuden. Tehdasteollisuudessa standardointi ja toistuvuus on korkealla tasolla, koska huono laatu ja vakioinnin puute aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia ja uudelleen tekemistä.

Perinteisessä rakennustuotannossa yleisaikataulun ja valmistelevan aikataulun suunnittelu on melko karkeaa ja suurpiirteistä. Työmaa ja työmaalla toimivat urakoitsijat miettivät toteutuksen yksityiskohtaisemman aikataulun ja näin ollen eri osatehtävien väliin on jätettävä puskureita. Nykymallissa virheet ja onnistumiset piiloutuvat prosessiin ja vain muutamat ihmiset työmaalla pääsevät näkemään toteutuksen. Kun vaikka tietyn työvaiheen toteuttamiseen on varattu aikataulussa kolme viikkoa, mutta toteutus tapahtuu viikossa, olisi hyvä tutkia ja ymmärtää miksi näin kävi eikä tyytyä vain positiiviseen vaikutukseen yhdessä hankkeessa. Tällä hetkellä tällainen tieto harvoin saavuttaa yleisaikataulun tai projektibudjetin laatijaa. Perinteisessä toiminnassa myös virheet piiloutuvat puskureihin ja niiden merkitys paljastuu vasta myöhemmin. (Aalto – yliopisto artikkeli 13.2.2019)

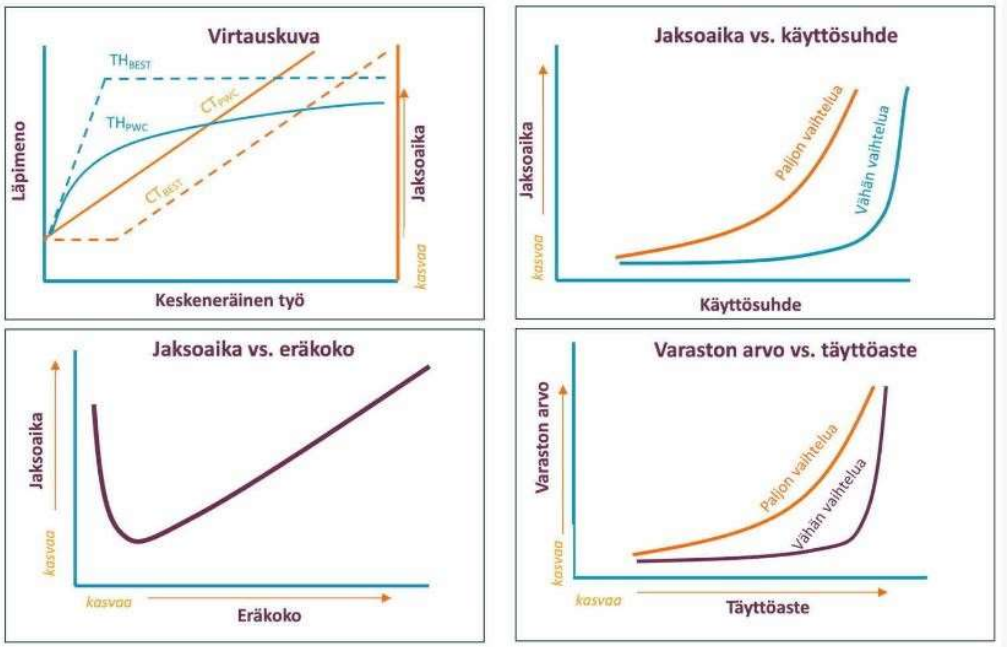
Rakentaminen on edelleen melko käsityövaltainen ala, vaikka rakentamisessa on viimeisten kymmenen vuoden aikana kehitetty paljon digitaalisuutta ja varsinkin kalliorakentamisessa on siirrytty monessa työssä jo pitkälle automatisoituihin koneisiin ja laitteisiin. Myös lisätyn ja virtuaalisen todellisuuden käyttö, droonien, sekä uusien digitaalisten ohjelmistojen ja innovaatioiden hyödyntäminen on rakentamisessa otettu käyttöön, mutta näiden tuottaman tiedon hyödyntäminen on vasta aluillaan. Jotta rakentamisessa pystyttäisiin hyödyntämään tekoälyn ja tiedonkeruun mahdollistamia kehityskulkuja, on tuotannon oltava vakioitua ja skaalattavaa. Työn virtaus rakentamisessa ei ole kovin tasaista ja on vielä hyvin projekti- ja henkilökeskittynyttä. (Dhouly ja Binninger 2021). Työn virtauksella tarkoitetaan prosessin

eri vaiheiden toteuttamista niin, että toiminta on mahdollisimman hallittua, resurssikuormitus on tasaista ja keskeneräinen työ ja hukka vähäistä (Koskenvesa 2019 s. 76). Teknologia on tukemassa rakentamisen kehitystä, mutta ei ole vielä lähelläkään muiden teollisuuden alojen hyödyntämisen tasoa. ”Yksi suurimpia haasteita ja monien ongelmien juurisyy on oppimisessa. Se ei ole vielä riittävän systemaattista; samat ongelmat ja virheet toistuvat aina uudelleen. Yksilöt kyllä siirtävät oppejaan hankkeesta toiseen, mutta yritys ja toimiala eivät kehity kokonaisuutena” (Peltokorpi et al 2022)

2.2 Tehdastuotantoon vaikuttavia asioita ja tuotannon suunnittelu

Teollisuuden tuotannon suunnittelussa huomioidaan tuotannon tekijät, materiaalit, koneet ja henkilöresurssit sekä näiden tehollinen kapasiteetti. Tuotannon suunnitteluun kuuluu sekä alustavaa tuotannon suunnittelua aikataulun, laadun ja tarvittavien materiaalien osalta sekä tarkempi viikkosuunnittelu sekä tuotannon päivittäinen toteutus. Teollisessa tuotannossa tuotannon suunnittelu perustuu pitkälti kysyntään, tehtaan kapasiteettiin sekä koneiden ja materiaalien virtaan eikä rakentamisen olosuhdemuutoksia tai ympäristötekijöitä tarvitse juurikaan huomioida.

Suunniteltaessa tuotantoa teollisuudessa on huomioitava tehdasfysiikan lainalaisuudet ja elementit, mitä palvelun tai tuotteen tuottaminen tarvitsee. Kaksi tuotantosysteemin olennaisinta osaa ovat kysyntä ja muunnos eli paljonko tuotetta menee markkinoilla tai tilataan sekä se kuinka paljon pystytään tuottamaan tuotetta markkinoille. Lisäksi tuotantosysteemin primitiivisiä osia ovat varasto ja virtaus. Varasto tässä merkityksessä ei välttämättä ole fyysisiä komponentteja, vaan voi olla myös päätöstä vaativa työ, tietorivi tai resurssi. Virtauksella taas tarkoitetaan tuotteen tuottamiseen tarvittavaa prosessia ja sen kulkua, materiaalien ja koneiden virtaa. Kysynnän ja muunnoksen ollessa erilaisia, syntyy yksi tai useampia puskureita. Puskureita on kolmea eri tyyppiä, jotka ovat varasto, aika tai kapasiteetti. Yleinen syy kysynnän ja muunnoksen väliseen epäsuhtaan on vaihtelu. Näitä kaikkia edellämainittuja tyotantosysteemin osia voidaan parametroida ja muuntaa numeeriseen muotoon, joiden syysuhteita voidaan mallien avulla käsitellä. Tuotannon virtaukseen vaikuttavat mallit on esitelty kuvassa 1. (Tehdasfysiikka 2022, Hopp et al 2011 s.203)

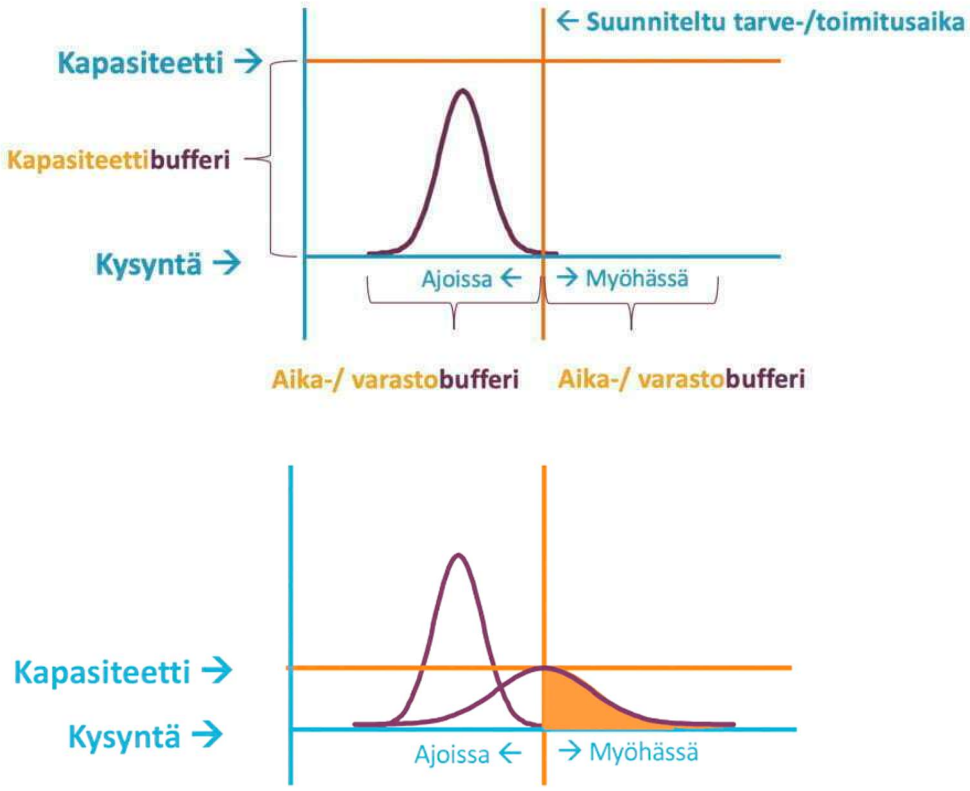


Kuva 1 Tehdasfysiikan keskeisimmät virtauksen käyttäytymisen mallit (Tehdasfysiikka 2022)

Kuvassa 1 olevien kuvaajien mukaan voidaan virtausta mallintaa seuraavasti:

- Virtaus – kuvaajassa on läpimenoajan, keskeneräisen työn ja jaksoajan vaihtelun aiheuttamat yhteydet sekä vaihtelun aiheuttaman kapasiteetin, keskeneräisen työn ja aika – puskurin suhde ideaalitilaan.
- Jaksoajan vs. käyttösuhde - kuvaajassa esitetään käyttösuhteen, vaihtelun ja jonon välisiä suhteita ja ymmärrystä kapasiteetti - puskurin merkityksestä.
- Jaksoaika vs. eräkoko – kuvaajassa esittää työn tekemisen eräkoon, vaihtelun ja jaksoajan välisen yhteyden, joka on tärkeä tekijä tarkoituksen mukaisen eräkoon määrittämisessä.
- Viimeisessä varastonarvo vs. täyttöaste kuvaajassa, kuvataan varaston täyttöasteen ja varaston arvon suhdetta vaihtelu huomioiden. (Tehdasfysiikka 2022)

Teollisuuden tuotannossa käytetään yleensä kolmea puskuria, joita ovat varastointi-, aika- ja kapasiteettipuskuri. (Hopp et al 2011 s. 202) Nämä puskurit eivät ole hukkaa, vaan mahdollistavat ennustettava toiminnan. Kuvassa 2 on esitetty puskureiden esiintyminen ja kapasiteettipuskurin määrällinen tarve, ylemmässä kuvassa on riittävästi kapasiteetti puskuria ja alemmassa kapasiteetti on liian pieni tarpeeseen nähden, jolloin tuote on myöhässä toimitusajasta, ellei käytössä ole aikapuskuria. (Tehdasfysiikka verkkosivut 1.10.2022)



Kuva 2 Riittävän kapasiteetti puskurin ja alhaisen kapasiteetti puskurin vaikutus vaihtelussa (www.tehdasfysiikka.fi)

Teollisuudessa tuotannon puskureista varastointi liittyy materiaaleihin, joissa raakamateriaalien, keskeneräisen tuotteen tai lopputuotteen varastoinnilla pystytään varautumaan tuotannon ja kysynnän vaihteluun. Toinen teollisuuden puskureista on aika. Aikapuskuria käytettäessä tilatun tuotteen toimitusajaksi ilmoitetaan hieman pidempi aika, kuin osan valmistaminen kestää, jolloin tarvittaessa tätä puskuria voidaan hyödyntää. Kolmas käytettävä puskuri teollisuudessa on kapasiteetti. Tuotannon kapasiteettia harvoin ajetaan jatkuvasti täydellä teholla, vaan käytettävä teho on sopeutettu keskimääräisen tuotannon mukaan ja hetkittäin tilanteen vaatiessa pystytään hyödyntämään kapasiteettia enemmän. (Hopp et al 2011 s. 202)

Tehdasfysiikalla tutkitaan ja määritetään, kuinka yrityksen tai organisaation tuotanto käyttäytyy määrän ja ajan suhteen. Lisäksi selvitetään miten ja millä tätä käyttäytymistä voidaan selittää sekä mitkä ovat näiden selittävien suureiden keskinäiset suhteet. Keskeistä roolia näyttelevät läpimeno eli tuotteen läpimenonopeus (througput, throughput rate) eli keskimääräinen tuotos per aikayksikkö esim. kpl/h. Toisena asiana keskeneräinen tuotanto

KET tai WIP (work in process) eli tilauksessa, tuotannossa tai tuotantojonossa olevan tuotannon määrä. Kolmantena vaikuttavana tekijänä on jaksoaika (cycle time) eli kuinka kauan tuotanto liikkuu tehtaan läpi, tilauksesta varastoon. Sekä neljäntenä vaikuttavana asiana on jono, joka voidaan kuvata joko aikana tai määränä. Näin ollen suunniteltaessa tuotantoa on selvillä rajoittavat tekijät ja näitä voidaan ohjata. Tuotantoa rajoittavia tekijöitä on koneiden kapasiteetti eli mikäli kapasiteetti on rajoilla tai ylittyy kertyy keskeneräistä tuotantoa ja näin tuotannosta tulee epävakaata. Myös tuotteen läpimenoaika (lead time) on tärkeää tietää, jolloin tiedetään sen käsittelyyn tarvittava aika ilman puskureita. (Hopp et al 2011 s.229-230, Tehdasfysiikka 1.10.2022)

Tuotannon tekijöitä ovat materiaalit, kalusto- ja henkilöresurssit, joita ohjaamalla pystytään optimoimaan tuotannon tehokkuutta sekä kustannuksia. Materiaalien ja varaston täydennys sekä tuotannon tuottamiseen käytettävä aika on huomioitava toimitusketjussa, jotta varastojen täyttö tapahtuu oikeaan aikaan. Lisäksi käytettävien koneiden ja laitteiden huolto suunnitellaan tarkasti aikatauluun ja näiden kuntoa seurataan erilaisten parametrien ja käyttötuntien avulla. Monesti teollisuudessa koneiden korjaukset pyritään tekemään järjestelmällisesti ja ennakoivasti, koska tuotanto on helpompi keskeyttää suunniteltua huolto- ja korjaustoimenpidettä varten kuin pysäyttää koko laitos yhtäkkiä.

Vaikka tuotantoa suunnitellaan tarkasti ja huomioidaan sekä materiaalien virta, koneiden kapasiteetti ja huolto sekä muut asiat, on tuotantoa jatkuvasti kehitettävä ja kilpailutilanne vaikuttaa monien yritysten ja tuottajien toimintaan. Näin ollen yritykset ovat 1990 - luvulta lähtien hyödyntäneet kehittämisessä Lean filosofiaa ja periaatteita. Kaikki yritykset eivät ole onnistuneet Lean-matkassaan, koska välttämättä ymmärrys kokonaisuudesta ei ole ollut riittävä tai on otettu vain yksittäisiä työkaluja käyttöön, jolloin Lean-periaatteiden kokonaishyötyä ei ole saavutettu.

2.3 Lean - filosofia

Lean filosofian juuret johtavat Toyotan tehtaille ja Toyota Production Systems (TPS) toimintatapaan. TPS kehitettiin toisen maailmansodan jälkeen Taiichi Ohnon ja Eiji Toyodan toimesta keskittymällä laatuun ja toimintatapa on ollut käytössä Toyotalla nykypäivään asti jokaisella toimialalla. Tavoitteena tuotantotavalla oli tuottaa sitä, mitä asiakkaat haluavat ja

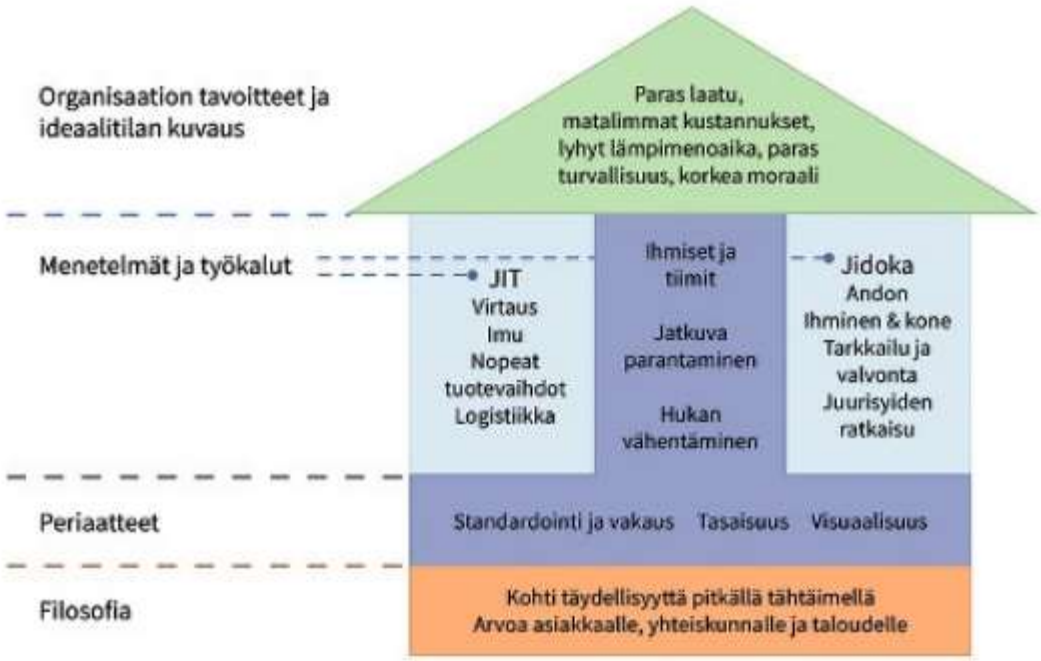
vain se määrä mitä tarvitaan asiakkaille oikeaan aikaan (just-in-time JIT). Näin pystytään ylläpitämään laatua ja lyhyitä toimitusaikoja. (Toyota 2022)

Lean ajattelu syntyi 1980 - luvulla, kun tutkittiin ’The International Motor Vehicle Program’ – tutkimusohjelmassa MIT:ssa, miksi Toyota on niin hyvä. Krafcik nimesi 1988 omassa tutkielmassaan ’Triumph of the Lean Production System’ Toyotan tavan Lean Production System ja näin syntyi sana Lean kuvaamaan toimintatapaa (Pentti 2022). Lean filosofiassa keskitytään virtaukseen, arvonluontiin ja hukan poistamiseen hyödyntämällä jatkuvan parantamisen tapahtumia (Hopp, Spearman 2011 s.155). Kirjassa ’The Machine That Changed The World’ 1990 Womack, Jones ja Roos kertoivat neljästä Toyotan periaatteesta, jotka olivat:

- Tiimityö
- Kommunikaatio
- Luo arvoa ja poista hukkaa eli arvoa tuottamatonta työtä
- Jatkuva parantaminen

Lean yritykset usein kutsuvat omaa yrityskulttuuriaan ja yritystään oppivaksi organisaatioksi. Nämä yritykset hyödyntävät jatkuvan kehittymisen ja tiimityön sekä kommunikaation periaatteita. Arvon luonnin ja asiakkaan ymmärryksen kautta haetaan parannusta toimintaan ja tämän kautta arvoa myös yritykselle. Lean ei ole vain kasa erilaisia työkaluja vaan tapa ajatella ja johtamisjärjestelmä ihmisläheiseen johtamiseen. (Pentti 2022).

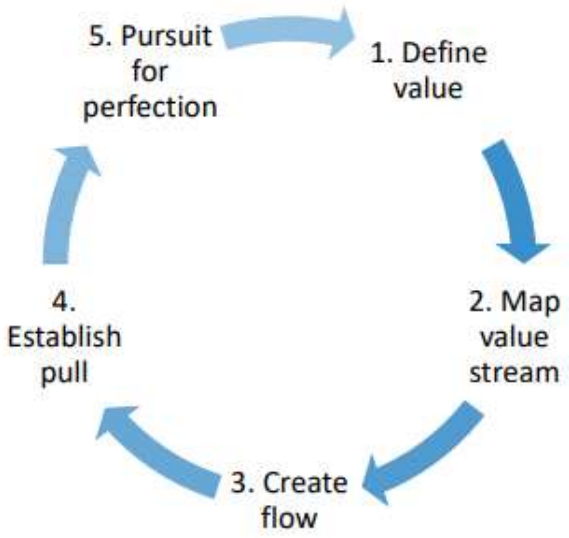
Jeffrey K. Liker on kirjassaan ’Toyota Way’ (2004) - Toyotan tapaan kuvannut Toyotan tuotantojärjestelmää talona, katso kuva 3, jossa perustukset luo Lean filosofian mukaiset tavoitteet, kohti täydellisyyttä ja arvoa asiakkaalle ja pohjan periaatteet standardoinnista, tasaisuudesta ja visuaalisuudesta. Talon seinät rakentuvat Lean työkalujen ja menetelmien hyödyntämisestä ja katon organisaation tavoitteista, paras laatu, matalat kustannukset, läpimenoaika jne. Asukkaina talossa ovat ihmiset ja tiimit sekä jatkuvan parantamisen ja hukan vähentämisen kulttuuri ja periaatteet.



Kuva 3 Jeffrey Likerin kirjasta The Toyota Way mukailtu Toyota-talo (RIL276-2021 s.19)

Myöhemmin Womack ja Jones kirjoittivat kirjassa ’Lean Thinking’ 1996 Lean filosofian periaatteiksi seuraavat viisi kohtaa, jotka on esitetty kuvassa 4. Leanissa keskitytään 1) asiakasarvon luomiseen määrittelemällä arvo asiakkaan näkökulmasta. 2) Tunnistetaan arvoketju, josta arvo koostuu ja näin saadaan selville myös mikä ei tuota arvoa tai on hukkaa. Arvovirrasta koostetaan 3) virtautettu prosessi, jota tuotetaan 4) imuohjauksella, jolloin tehdään vain todelliseen asiakastarpeeseen. Tämän lisäksi toimintaa 5) kehitetään jatkuvasti ja tavoitellaan täydellisyyttä. (Womack et al 1996)

Virtauttamisella tarkoitetaan Leanissa tuotantoprosessin eri vaiheiden toteuttamista peräkkäin niin, että toiminta etenee hallitusti, resurssikuormitus on tasaista ja keskeneräinen toiminta on mahdollisimman vähäistä. Imuohjauksella tarkoitetaan, että tuotantoa tehdään vain se mitä asiakas tilaa, jolloin vältetään ylituotantoa, joka on omanlaistaan hukkaa. (www.lean.org)



Kuva 4 Leanin viisi peruspeiaatetta (Kuva Lean Enterprice Institute 2022)

Leanissa arvoa tuotetaan hukkaa eli arvoa tuottamatonta työtä vähentämällä. Hukkaa on toiminnot, jotka eivät lisää lopputuotteen arvoa asiakkaalle toiminnallisuuden tai ominaisuuksien muodossa. (www.leanthinking.fi). TPS:ssä on tunnistettu seitsemän erilaista teollisuuden hukkaa, jotka on listattu alla (Lean Enterprise Institute 2019):

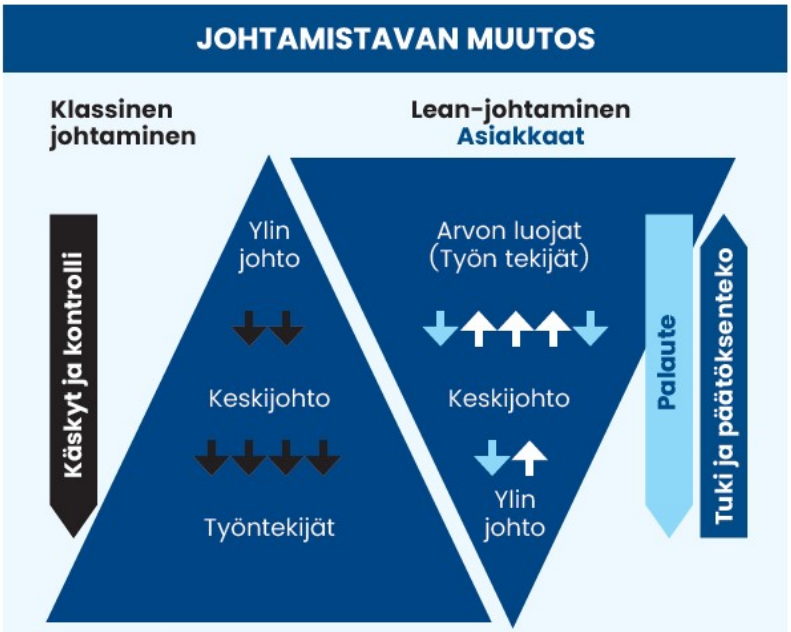
1. Kuljetus – tarpeeton tuotteen tai materiaalien liikuttelu
2. Varastointi – tuotteet ovat edelleen prosessissa, jolloin varaston arvo iso
3. Liikkuminen – tuotannon työntekijöiden turha liikkuminen
4. Odottelu – turha odottelu arvoketjun aikana
5. Yliprosessointi – tarpeettoman korkean laadun tuottaminen
6. Ylituotanto – tuotteiden tuottaminen enemmän kuin tarpeeseen
7. Virheet – uudelleen tekeminen huonon laadun tai väärän tiedon vuoksi

Jatkuvan parantamisen hyödyntäminen toimintaan vaatii työskentelyilmapiiriltä avoimuutta sekä rohkeutta tuoda esiin kehittämistä vaativia asioita. Toyotalla käytössä oleva autonomation eli automaatio ihmisen kosketuksella (automation with human touch) vaikuttaa siten, että tuotanto pysähtyy, kun havaitaan tuotantoon tai laatuun liittyvä ongelma ja tämä pyritään ratkaisemaan mahdollisimman nopeasti yhteistyöllä, jotta tuotanto pystytään käynnistämään uudelleen (Hopp et al. 2011).

2.4 Lean rakentamisessa ja työkalujen hyödyntäminen

Ydinarvoina Leanissa on keskittyä arvon luontiin, jolloin kaikki tuotanto- ja palveluprosessin arvoa tuottamattomat osat ovat hukkaa ja niitä pyritään poistamaan tuotannosta. Arvosta muodostetaan arvovirta asiakkaan suuntaan, jossa virtautettu prosessi on imuohjattu ja tasainen sekä siihen on rakennettu sisälle korkea laatutaso. Periaatteen mukaan pyritään kohti täydellisyyttä, jolloin jatkuva parantaminen on keskiössä. Toimintaa arvioidaan ja kehitetään pitkällä tähtäimellä ja esiintyviä ongelmia ratkaistaan systemaattisesti näin luoden jatkuvan parantamisen kulttuuria. (RIL 276-2021 s. 17-20,)

Lean on myös paljon muuta kuin työkaluja ja filosofiaa, se vaatii myös johtamistavan muutosta ja RAIN 2 – kehityshankkeessa on todettu Lean rakentamisen johtamisesta seuraavaa: ”*Lean rakentamisessa johtamisen kolmio kääntyy toisin päin. Perinteisessä hierarkkisessa johtamissa korostuu johdon käskyt ja kontrolli. Lean johtamista ohjaa periaate asiakasarvon ymmärtämisestä sekä arvontuotosta, jonka keskiössä on arvon luojat eli työntekijät. Käännetyn kolmion mallissa johdon rooli on auttaa työntekijöitä onnistumaan jokapäiväisessä työssä sekä luoda ja tukea jatkuvan parantamisen kulttuuria projekteilla. Johtamisessa tärkeintä on tavoitteiden asetanta, niihin sitouttaminen sekä seuranta, asettaa yhteiset tavoitteet, sitouttaa koko tiimi niihin ja seurata niiden toteutumista säännöllisesti.”* (RAIN loppuraportti 2022 s.14). Kuvassa 5 on kuvattu Lean-johtamisen kolmio.



Kuva 5 Lean-johtamisen kuvaus (RAIN2 loppuraportti 2022 s.14)

Leanissa korostuu työtä tekevien kuuntelemisen ja kunnioittamisen tärkeys, kuka muu parhaiten pystyy kertomaan mitä työssä olisi kehitettävä ja mikä luo arvoa, kuin itse työntekijä. Avoimen kommunikaation ja pelottomuuden ilmapiirin luominen työmaille vaatii jonkin verran aikaa ja toimintatapojen muutosta. Päivittäisjohtaminen nousee tärkeään arvoon kommunikaation ja avoimuuden ilmapiirin luomisessa. Virheiden ja epätoivottujen tapahtumien sattuminen on tavallista eikä näiden asioiden esiintuomisesta saa rangaista, vaan tarkoitus on hyvässä hengessä korjata ja kehittää työtä eteenpäin niin että näitä jatkossa vältettäisiin uusimasta. (Pentti 2022)

Lean rakentamisen toimintastrategian keskiössä on arvontuottaminen asiakkaalle sekä asiakkaan tavoitteiden toteuttaminen. Arvontuottamiseen pyritään parantamalla prosessien virtausta ja tuottamattoman työn vähentämisen kautta. Arvontuottamiseen pyritään myös projektiin osallisten tavallista laajemman yhteistyön kautta ja kokonaisoptimoinnilla. Alla Lean Construction Finland koostamat 6 Lean rakentamisen periaatetta, kuva 6. (Lean Construction Institute Finland).

Kuva 6 Lean rakentamisen kuusi periaatetta (LCI Finland 2022)

Bølviken, Rooken ja Koskelan (2014 s.811) mukaan rakentamisessa arvoa on haluttu lopputulos ja hukkaa on resurssien käyttö enemmän kuin tarvitaan tai virheellinen lopputulos. Arvo on sidoksissa haluttuihin asioihin eli tuotettuun lopputulokseen, kun taas hukkaa voi olla sekä tuotannon toimissa sisällä tai epätoivotuissa lopputuloksissa eli tuotetussa tilassa. Arvoa tuottamattoman toiminnan tunnistaminen on yksi tärkeitä asioita, kun asiakkaan arvon määrittämistä ja arvovirran tunnistusta tehdään.

Lean rakentamisen tavoitteena on päästä ennustettavaan ja tasaiseen tuotantovirtaan. Ennustettavuus ulotetaan niin suunnitteluun, projektin lopputulokseen kuin yksittäisten

työvaiheiden tasaiseen ja säännönmukaiseen toteuttamiseen (Lean Construction Institute Finland). Ideaalinen ja tavoiteltava tuotantomalli on yksiosainen virtaus, jossa yksittäistä tilaa tai aluetta jalostetaan koko tuotannon läpi ilman välivarastointia. Tällainen tuotanto ei kuitenkaan sovellu täysin rakentamiseen, vaan tällöin käytetään hyödyksi puskureita ja varastoja.

Lean projekteissa pyritään yhteistyön kautta saavuttamaan asiakkaan toiveet ja tavoitteet projektilla. Samalla kehitetään toimintatapoja niin yhteistoiminnan, laadun kuin työtapojen osalta oppimalla ja toimintaa jatkuvasti kehittämällä, kunnes toiminta on sujuvaa. Yksi Leanin periaatteista standardisoida, oppia ja kehittää toimintaa yhdistyy tahtituotannossa. Jotta tahtituotanto toimii, on yhteistoiminnan niin tilaajan kuin omien aliurakoitsijoiden ja työntekijöiden kanssa oltava avointa, häiriöt ja ongelmat on tuotava esille ja näitä pyrkiä säännönmukaisesti ratkomaan ja toimintaa kehittämään. (Lean Construction Institute Finland 2022)

Lean rakentamisen – ajattelun keskeisiä asioita tuottavuuden parantamisessa on tuotannon luotettavuuden lisääminen toiminnan tason vaihtelua pienentämällä ja hukkaa pienentämällä. Tässä tahtituotannon lisäksi auttaa Last Planner, joka on 2000 - luvun alussa luotu projektijohtamisen työkaluksi, jossa keskitytään vaihtelun negatiivisten vaikutusten vähentämiseen ja työkulun luotettavuuden parantamiseen tuotannon suunnittelussa ja valvonnassa. (Koskenvesa et al 2019)

2.4.1 Arvoa tuottamaton työ rakentamisessa

Tuottavuutta ei paranneta vain nopeuttamalla työtahtia vaan poistamalla erilaisia turhia ja tuottamattomia toimintoja eli hukkia. Hukan käsite Lean – ajattelussa perustuu Toyotan Ohnon ajatuksiin poistaa tuotannosta kaikki turhat ja tuottamattomat toiminnot. Tuottamattomia toimintoja ovat Lean – ajattelutavan mukaan ylituotanto, odottaminen, turhat kuljetukset ja siirrot. Myös yliprosessointi tai väärä prosessointi, ylisuuret varastot ja virheet ovat hukkaa. Myös monesti rakentamisessa ilmenevät turha liike, siirtyminen, hakeminen ja virheet ovat hukkaa ja tuottamatonta toimintaa Lean – ajattelussa. (Koskenvesa et al 2019 s.71-73)

Bølviken et al (2014 s.811) on määrittänyt rakentamisen hukkaa siten, että se on resurssien, materiaalien tai kapasiteetin käyttöä enemmän kuin tarpeen tai epätoivottu lopputulos. Se voi olla sisällä rakentamisen prosesseissa tai tulla ulos tuotannon seurauksena. Rakentamisen materiaalihukkaa voi olla materiaalien, koneiden, energian tai työvoiman vääränlainen käyttö tai materiaalien hukka varastoinnin tai tuhlaava käyttö tuotannon aikana.

Virtauksessa hukka on yleensä aikaperusteista ja Bølviken et al (2014) tunnistivat lisäksi seuraavia asioita, jotka ovat hukkaa virtauksen kannalta:

1. Ihmisten tarpeeton liikkuminen - Ihmiset liikkuvat turhaan työmaalla, vastakohtana työpisteellä olemiselle.
2. Tarpeeton työ - Tehdään asioita, joita ei tarvitse tehdä.
3. Tehoton työ - Tehdään tarpeellisia asioita tehottomalla tavalla, esimerkiksi ilman esivaatimuksia tai toisten häiritessä työntekoa.
4. Odottaminen - Työntekijät odottavat työtä.
5. Tilassa ei tehdä työtä - Tila on keskeneräinen, mutta sitä ei edistä kukaan. Voidaan nähdä myös turhana varastona.
6. Materiaaleja ei prosessoida - Materiaalien varastointi työmaalle.
7. Materiaalien turha siirtäminen - Materiaalien siirto lopulliselle paikalleen on tarpeellista, kaikki muu siirtely on hukkaa.

Arvon kannalta hukkaa on Bølviken et al (2014) mukaan tuotteen puutteellinen laatu tai käyttötarkoituksen puuttuminen. Sivutuotteena arvon hukkaa on myös tuotannon haitalliset päästöt sekä tapaturmat ja työperäiset sairaudet, jotka aiheuttavat hukkaa.

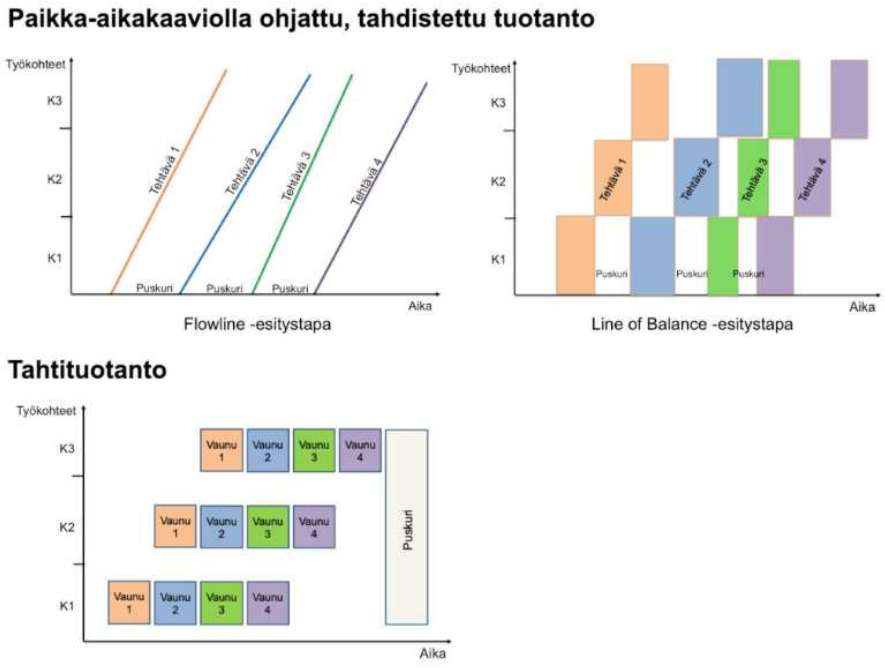
Lisäksi rakentamisessa on havaittu making-do – tyyppistä hukkaa, joka tarkoittaa asioiden tekemistä vaillinaisin edellytyksin. Tämä voi tarkoittaa sitä, että työt aloitetaan tai niitä jatketaan ilman, että kaikki edellytykset, kuten materiaalit, resurssit, olosuhteet tai kalusto, olisi suunnitellusti käytössä. Myös luovuuden ja osaamisen käyttämättömyys ja henkilöstön tietotaidon huomioitta jättäminen voidaan laskea hukaksi tai muutosvastarinta jatkuvan parantamisen toteuttamisessa ovat omanlaistaan hukkaa. (Koskenvesa et al 2019 s.74)

Liiallinen puskureiden käyttö on myös luokiteltavissa hukaksi ja on yleinen rakennusalan tapa varmistaa aloitusedellytykset eri työvaiheiden ja urakoiden välillä. Näistä olisi kuitenkin pyrittävä eroon, jotta aikataulua pystyttäisiin tiivistämään. (Saarinen 2022)

Näiden erilaisten arvoa tuottamattomien toimintojen ja odotuksen vähentäminen auttaa aikataulun tiivistämisessä ja näitä voidaan vähentää vakioimalla työtapoja, pienentämällä työalueita ja varmistamalla aloitusedellytyksen. Näihin toimintoihin voidaan käyttää hyödyksi sekä tahtituotantoa, että Last Planner Systeemiä.

2.4.2 Tahtituotanto rakentamisessa

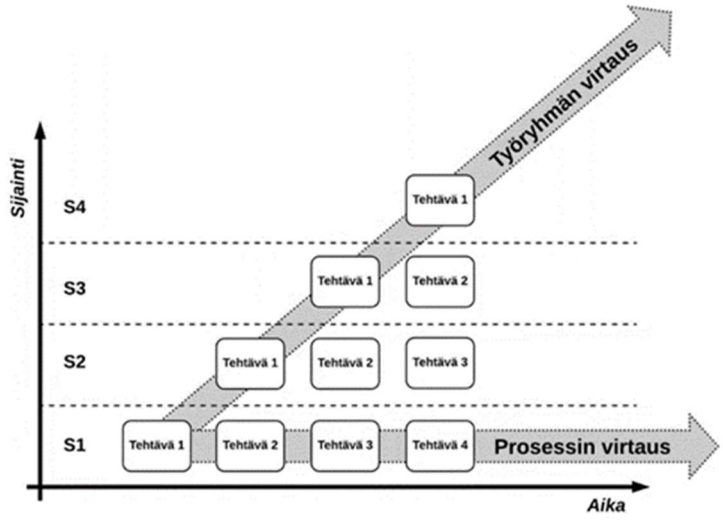
Tahtiin perustuvassa tuotannossa prosessin kokonaisvirtaus on tärkeämpää kuin yksittäisten tekijöiden resurssitehokkuus. Tahtituotannossa (Takt Time Planning, TTP) maksimoidaan arvonluonti ei oman työvaiheen tehokkuutta, vaan tekijä voi odottaa hieman työtä toisin kuin perinteisessä rakentamisessa, jossa työ odottaa tekijäänsä. Tahtituotannossa myös korostuu yhteistoiminnallinen ongelmanratkaisu ja pyritään pois siiloutuneesta osaoptimoinnista. (Seppänen 2022). Alla kuvassa 7 esitetty tahdistetun tuotannon ja tahtituotannon eroa aikataulujen kautta.



Kuva 7 Tahdistetun tuotannon ja tahtituotannon ero (Salminen 2021)

Tahtituotanto rakentamisessa perustuu samoihin perusasioihin kuin tehdastuotannossa, mutta ero menetelmissä syntyy sijainnin merkityksestä tuotannolle: Tehdastuotannossa tuote liikkuu tuotannon läpi, kun taas rakennustuotannossa tuotanto liikkuu tuotteen läpi. Pääerona vanhaan rakentamisen prosessiin on se, että tahtituotannossa tuotannon virtaus tapahtuu

kahdella tasolla, katso kuva 8, eli prosessi virtaa läpi yksittäisten tilojen ja työryhmän työ virtaa läpi erisijainnissa olevien tilojen



Kuva 8 Tahtituotannon virtaus (Seppänen 2022)

Prosessin virtaus on hyvää, kun sijaintien käyttöaste on korkea, tehtävät etenevät nopeasti ja tasaisesti sekä tarpeeton työ ja liikkuminen on minimoitu. Työryhmien virtaus on hyvää, kun työmäärä on tasainen ja ennakoitavissa, tarpeeton työ ja liikkuminen on minimoitu sekä muut aiemmin mainitut arvoa tuottamattomat tekijät on pyritty huomioimaan. Työryhmien virtausta on perinteisessä rakentamisessa suojeltu ylisuurilla aika- ja tilapuskureilla. Tahtituotannossa pyritään kokonaisvirtauksen parantamiseen suosimalla mieluummin kapasiteettipuskureita, jolloin tehokkaammin pystytään hallitsemaan puskureita, optimoidaan kokonaisuutta, lyhennetään läpimenoaikaa ja pystytään paremmin hallitsemaan laatua ja jatkuvan parantaminen on tehokkaampaa. (Seppänen 2022)

Tahtituotannon hyötyjä ovat virtauksen paranemisen kautta muun muassa tuottavuuden lisäys, käynnissä olevan työn väheneminen sekä ylituotannon estäminen. Lisäksi tahtituotanto vähentää hajontaa tuotannossa, joka vaikuttaa muun muassa projektin kustannussäästöinä, laatuvirheiden vähentymisenä sekä työprosessien vakauttamisena. (Koskenvesa et al 2019 s. 77-78)

Tutkimuksissa on todettu, että tahtituotanto parantaa prosessin virtausta, koska käytetään vähemmän puskureita, työmaalla on vähemmän keskeneräistä työtä, vaihtelu on vähäisempää ja näin työmaan kesto lyhenee. Parempi prosessin virtaus vaikuttaa positiivisesti myös työryhmien virtaukseen, koska tuotannon läpinäkyvyys ja tilannekuva on selkeä sekä

prosessin virtaus motivoi tehokkaaseen ongelmanratkaisuun. Toki ensimmäistä kertaa tekevillä on myös haasteita, koska tarve noudattaa aikataulua ja suurempi ohjausvastuu voi tulla urakoitsijoille yllätyksenä sekä riittämätön ohjaus voi johtaa suureen resurssivaihteluun. (Seppänen 2022)

Tahtituotanto toimii parhaiten kohteisiin, joissa on paljon toistuvuutta ja samankaltaisina toistuvia alueita. Kun toistuvista osakohteista ts. tahtialueista muodostetaan samanlaisia tehtäväkokonaisuuksia tai niiden yhdistelmiä eli ns. työpaketteja, joiden työmäärät ovat yhtä suuria. Näille tehtäväkokonaisuuksille varataan sama aika ts. tahtiaika kutakin tahtialuetta kohden, jonka avulla saadaan muodostettua työn tahtituotantoaikataulu. (Koskenvesa et al 2019, s.79.)

Tahtituotantoa suunnitellaan ja ohjataan työpakettien avulla. Tuotannonohjausta varten tehdään nykyäänkin työvaiheen työsuunnitelma, joka sisältää yleisiltä osiltaan tarvittavat tiedot työnsuorittamiseksi. Alla kuvassa 9 on työpaketin sisällöstä kuvaus, mukaillen Binninger et al (2017) alkuperäistä sisältöä. Tahtituotannon työpaketti on tahtituotannon työn standardi ja näin ollen pystytään havainnoimaan ja vertaamaan työpaketin sisältöä kehittämistä varten.

Kuva 9 Työpakettien sisältö (Kuva YIT Jami-Petteri Ahonen 2021)

Tahtituotantoa ohjataan tahtituotannon päivittäisten huomioiden ja tahtikontrollin avulla. Alkuun tahtituotannon kontrollin on oltava päivittäistä, jotta opitaan havaitsemaan mahdolliset häiriöt sekä virheet tuotannosta ja päästään puuttumaan ongelmiin ennen kuin ne aiheuttavat viivästymistä tahtituotantoon. Kaikkien häiriöiden syyt ja ratkaisut kirjataan

työpaketille ja näiden avulla kehitetään tuotannonprosessia niin, että jatkossa pystytään välttämään toistuvat virheet ja häiriöt. (Binninger et al 2017)

Tahtiohjauksessa aikataulua ei pyritä noudattamaan pilkulleen vaan sitä ohjataan jatkuvasti, pieni eräkoko tarjoaa suuremman potentiaalin, mutta lisää ohjauksen haasteellisuutta. Onnistuakseen tahtituotanto vaatii muutakin kuin aikataulun hallintaa. Näitä ovat muun muassa suunnittelunohjauksen, materiaalien hallinnan sekä laatujohtamisen lisäämistä, muiden työvaiheiden sekä hankinnan ohjaus. (Seppänen 2022)

Tahtituotannon ohjauksen, tahtikontrollin täytyy olla säännönmukaista ja näissä on oltava mukana koko työmaan työnjohtohenkilöstö. Tahtikontrollipalavereissa käsitellään kaikki asiat, jotka vaikuttavat tahdissa pysymiseen. Näitä ovat mm. henkilöstö- ja kalustoresurssit, tahdin toteutumisaste, laatuvirheet, työturvallisuushavainnot ja - tapahtumat, häiriöt sekä työkohteiden siisteys. Nämä auttavat myös kehittämään työpakettien sisältöä ja edesauttavat jatkuvan parantamisen kehityksessä. Tahtikontrollipalaverien pohjalta voidaan päivittää työpakettien sisältöä tai kirjata korjausehdotukset työpakettiin, jotta myöhemmin samaa työtä tehtäessä toisella kohteella pystytään kehittämään työvaihetta ja välttämään edellisten työmaiden virheitä. (Binninger et al. 2017.)

Visuaalisuus helpottaa tahtikontrollipalaverien pitämistä ja Leanin periaatteena on hahmottaa tilannekuva ”yhdellä silmäyksellä”. Visuaalisuutta voi lisätä Last Plannerin käytöllä, jolloin aikataulu on kaikkien nähtävillä ja lisäksi voidaan seurata mittareilla laatuhavaintojen määrää, tehtyjen töiden ja resurssien käyttöä, jotka voidaan tuoda päivittäisjohtamisen seinälle näkyville.

2.4.3 Last Planner System rakentamisessa

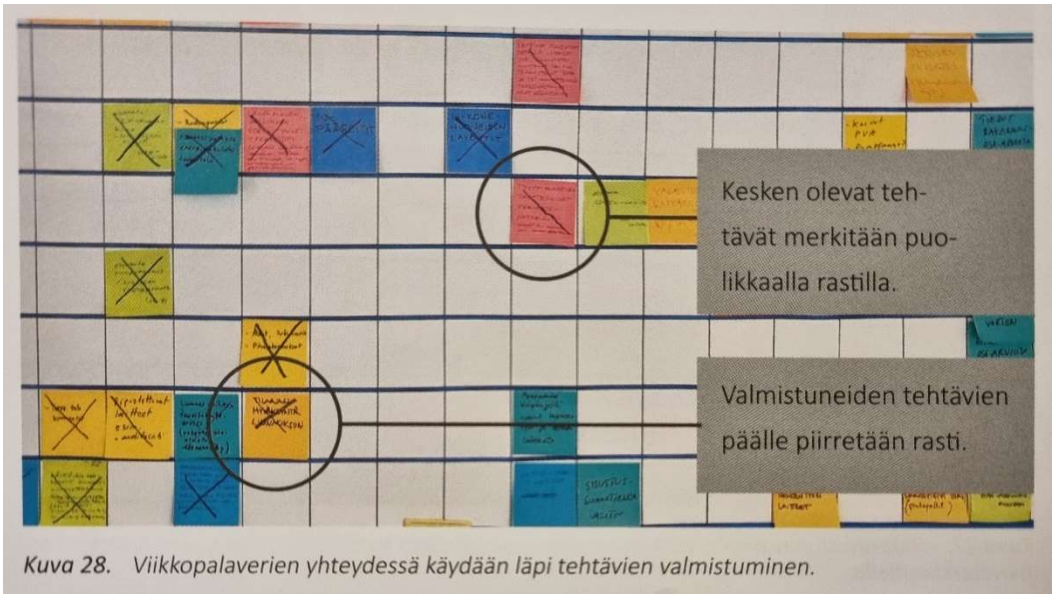
Last Planner System (LPS) on projektijohtamisen työkalu Lean rakentamisen tuotannossa ja on alun perin suunniteltu parantamaan työnkulun luotettavuutta suojaamalla lähiajan työskentelyä vaihtelulta ja epävarmuudelta. (Ballard and Howell, 1994). Last Planner – menettely nostaa edellytysten luomisen johtamisen keskiöön ja näin vakauttaa hankkeen toteutusta ja vähentää epävarmuutta. Last Planner pyrkii systemaattisesti poistamaan ongelmia, joita tuotannon tehtävien tavoitteiden saavuttamisessa ilmenee. Näitä voivat olla viivästykset tehtävien aloittamisessa, työn käynnissä ollessa ilmenevät häiriöt, jotka aiheuttavat katkoja ja

tuottavuuden alentumista sekä tehtävän työn keskeytyessä, kun osa tehtävästä työstä jää myöhemmin toteutettavaksi. (Koskenvesa 2019 s. 8-9)

Last Planner – menetelmän käyttöä perustellaan tuottavuuden paranemisella. Last Planner auttaa saamaan tehtävät alkamaan ajallaan, jatkumaan ilman katkoksia sekä valmistumaan kerralla valmiina aikataulun mukaisessa ajassa. Toiminta-ajatuksena jokaisen onnistuminen on kaikkien yhteinen etu. Tuotannon suunnitteluun osallistuvat kaikki projektiin osallistuvat osapuolet ja yhteensovittavat työt huomioiden mahdolliset päällekkäisyydet ja väistämiset. (Koskenvesa 2019 s. 12-14)

Yksi LPS ominaisuuksista on estelokin käyttö (Make Ready Process MRP), jonka tarkoituksena on varmistaa, että kaikki tunnetut rajoitukset suunniteltuun työhön tunnistetaan sekä suunnitellaan ja ratkaistaan ennen kuin kyseiset työt on tarkoitus aloittaa. Näin pystytään varautumaan ennakolta materiaalein, resurssein ja muin tarvittavien edellytysten osalta töiden sujuvaan toteuttamiseen. (Emdanat et al 2016).

Last Planner lisää myös visuaalisuutta ja helpottaa havaitsemaan tilanteen työmaalla, katso kuva 10 alta. Last Plannerin tehtävät, jotka ovat valmistuneet merkitään piirtämällä rasti kyseisen työn lapun päälle ja keskeneräisten päälle piirretään vinoviiva.



Kuva 10 Last Plannerin visuaalisuutta (Koskenvesa 2019 s.40)

Tehtävien toteutumisen seuranta tehdään joka viikko seuraamalla tehtävien toteutumista verrattuna suunniteltuihin töihin ns. tehtävien toteutumisprosenttia (TTP tai PPC percent promises complete). TTP-luku mittaa viikkosuunnittelun onnistumista ja lisäksi jatkuvan

parantamisen hengessä viikoittain pyritään tunnistamaan juurisyyt poikkeamille ja jatkossa poistaa näitä juurisyitä uusien poikkeamien estämiseksi. (Koskenvesa 2019 s. 58). Eri viikkojen TTP – lukua seurataan ja näistä saadaan luotua kuvaaja, joka myös kertoo samalla, kuinka suunnittelussa on edistytty. Myös valmisteltujen tehtävien määrää ja ennakoitujen tehtävien määrää voidaan seurata, jolloin pystytään vertailemaan ennakkovalmisteltujen ja viikkoaikatauluun erikseen suunniteltujen alkuperäisten ulkopuolelta tulevien tehtävien määriä. (Koskenvesa 2019 s. 20)

Frandsonin tutkimuksessa (2014) on uskottu tahtituotannon ja Last Plannerin yhdistämisen antavan mahdollisuuden parantaa LPS – toteutuksia, koska se keskittyy ennustettavaan materiaali- ja resurssivirran suunnitteluun selkeiden työalueiden välillä. Tahtituotanto tähtää vähentämään vaihtelua tuotannossa tahdistamalla vakiotoimintojen tuotantonopeutta oikean kokoisille alueille erillisissä työvaiheissa. Tämä saavutetaan sovittamalla eri työryhmien työvaiheet vakiokestoisiksi resursseja muokkaamalla. Tahtituotannon tavoitteena on tasainen ennustettavissa oleva työn virtaus, joka suoritetaan oikeassa järjestyksessä, määritellyillä alueilla ja asia mukaisesti määritellyillä resursseilla. Tämä kurinalainen suunnittelutapa linjaa paitsi työnkulkua työmaalla, myös materiaalien ja tiedon kokonaisvirran toimitusketjussa alkaen suunnittelusta siirtyen työnsuunnitteluun ja esivalmistukseen sekä työn toteutukseen tavoitteena tukea tahtituotannon toteutumista. (Emdanat et al 2016 s. 54)

2.4.4 Jatkuva parantaminen tahtituotannossa sekä rakennusalalla

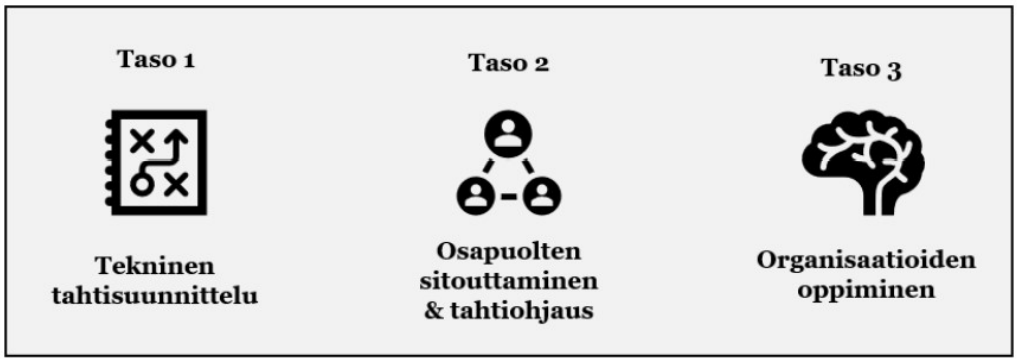
Oleellinen osa Lean – filosofiaa on toiminnan jatkuva parantaminen. Jatkuvassa parantamisessa on tärkeää systemaattisesti lähestyä ongelmia ja haasteita ja varmistaa riittävä perehtyminen asioihin ja sen ongelmien syihin. Ongelmien ratkaisua ja jatkuvan parantamisen tapahtumia kutsutaan kaizen – tapahtumiksi, joka tarkoittaa Japaniksi ”muutosta paremmaksi”. (Koskenvesa 2019 s.20). Jatkuva parantaminen on hyvin tarpeellista rakennusalalla, mutta on myös vaikeasti sovellettava periaate. Projektitoiminnassa löytyy kyllä kehittämisen kohteita, ongelmia ja parannettavia asioita, mutta se paneudutaanko näihin vain pinta puolisesti ja paikataan ”laastarilla” vai haetaanko muutosta käytäntöihin pintaa syvemmältä, vaikuttaa olennaisesti. (RIL 276-2021 s. 173)

Sen lisäksi, että projekteissa tehdään kehittämistä, pitäisi jatkuvan parantamisen tavan laajentua koko yrityksen laajuiseksi, projektista projektiin kumuloituvaksi kehittymiseksi. Kun on kyse Leanista, tavoite on kehittyä oppivaksi, Lean – filosofian mukaisesti toimivaksi organisaatioksi eli oppivaksi Lean organisaatioksi. Lean toiminta on pitkäjänteistä toimintaa, missä kehittyminen tapahtuu usein pienin edistysaskelein, mutta on kuitenkin jatkuvaa eteenpäin pyrkimystä. Kun organisaatio on kehitetty oppivaksi, kehittyminen organisaatiossa jatkuu, vaikka yksilöt vaihtuisivatkin. Yhdessä projektissa tehdyt innovaatiot siirtyvät koko organisaation käyttöön eivätkä jää enää hankkeen sisäisiksi kehitysaskeliksi. Näin yritystason kehittymisellä tuodaan lisäarvoa projektien toteutukseen. Tämä vaatii yrityskulttuurin ja johtamisen muutosta, joka esitetty aiemmin kuvassa 5. Yksi muutoksen edellytys Lean -kulttuuriin on kasvattaa oikeanlaisia johtajia. Kehittäminen tarkoittaa sitä, että asetetaan tavoitteita, tehdään toimenpiteitä, todetaan saavutuksia mittaamalla ja otetaan taas uusia haasteita, PDCA – syklin (Plan-Do-Check-Act) mukaan, josta myöhemmin tässä luvussa lisää. (RIL 276-2021 s. 185-190).

Jatkuvan parantamisen lähtökohtana ja edellytyksenä on jokin vakioitu tapa, standardi, mitä lähdetään parantamaan. Jos toiminta on epämääräistä, henkilöstä tai tapauksesta riippuvaista tekemistä, sitä on vaikea parantaa. Tällöin voi olla vaikeaa päästä kiinni edes siihen, mitä ollaan parantamassa. Kehittämisen ensimmäinen vaihe onkin kuvata nykytila tai ainakin paras käsitys nykytilanteesta. Näitä nykytilan kuvauksia ovat yleensä laatujärjestelmän dokumentit. (RIL 276-2021 s.175). Tahtituotannossa työpaketti pitää sisällään asiat, joita voidaan pitää standardina, ja joka samalla luo pohjan järjestelmälliselle datan keruulle ja mittareiden luomiselle, tarjoten täten suuren potentiaalin tehokkaammalle oppimiselle (Peltokorpi et al 2022). Myös toimistotyölle ja johtajille on olemassa omat Standard Work – pohjat, joita voidaan muokata työnkuvan ja tehtävien mukaisesti. (Huovinen 2022)

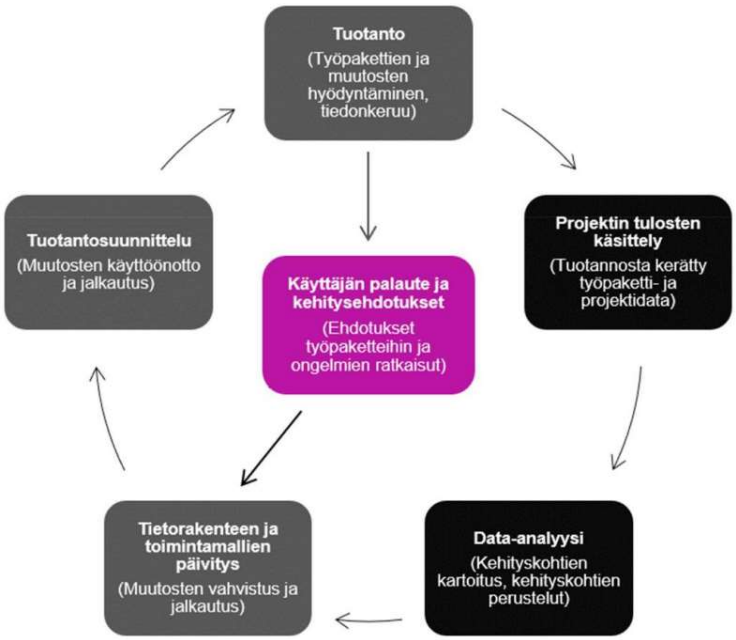
Building 2030 - hankkeessa Peltokorpi et al (2022) ovat loppuraportissaan kirjoittaneet, että tahtituotannon kehitys organisaatioissa tapahtuu usein kolmen kumuloituvan tason kautta, kuva 11. Näitä ovat tekninen tahtisuunnittelu, osapuolten sitouttaminen ja tahtiohjaus sekä organisaatioiden systemaattinen oppiminen. Tahtituotannon koko potentiaalin hyödyntäminen vaatii näiden kaikkien kolmen tason pitkäjänteistä ja systemaattista kehitystä. Tahtituotannon keskeisiksi organisaation kyvykkyyksien teemoiksi nousivat tiimien rakentaminen ja jatkuva kehittäminen, systemaattinen hukan poisto hankkeiden yli sekä datapohjaisen

määrällisen palautteen hyödyntäminen vahvemman oppimisen sekä päätöksenteon pohjana. (Peltokorpi et al 2022 s.10)



Kuva 11 Tahtituotannon kehitystasot (Peltokorpi et al 2022 s.10)

Oppiminen tahtituotannossa taas tapahtuu alla olevan kuvan 12 pohjalta. Projektin tulosten käsittelyyn hyödynnetään tuotannosta ja projektin kehityspalavereista kerättyä dataa. Tuloksista etsitään ensisijaisia kehitystarpeita, sekä datan perusteella etsitään juurisyitä ja ratkaisuja tulosten käsittelystä löydettyihin kehityskohtiin ja mahdollisesti näin löydetään myös uusia kehityskohteita sekä ratkaisuja. (Peltokorpi et al 2022)



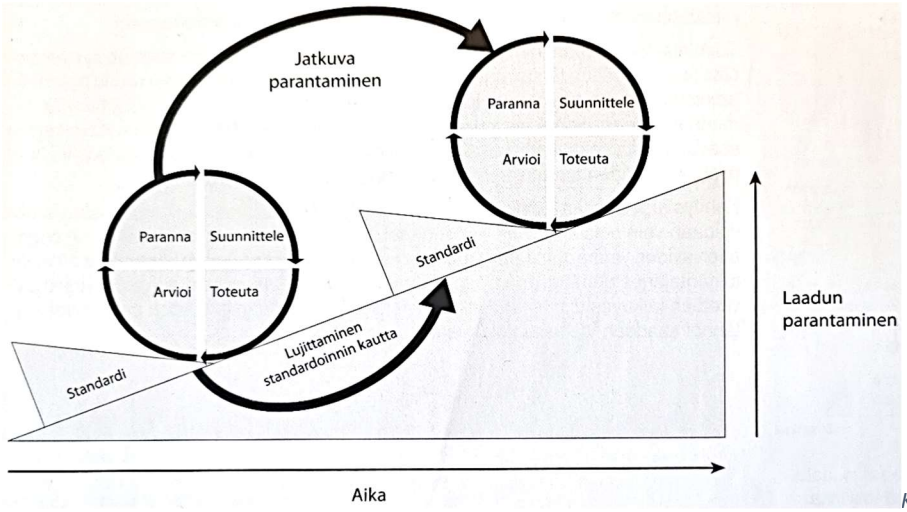
Kuva 12 Tahtituotannon oppimismalli (Peltokorpi et al 2022 s. 13)

W. Edwards Deming kehittämä Quality Control – konsepti ja laadun kehittämisen metodi PDCA – kehä (Plan-Do-Check-Act) on yksi jatkuvan parantamisen klassisista

ongelmanratkaisun ja kehäoppimisen malleista, katso kuva 13. Toyota otti käyttöönsä Demingin kehäoppimisen mallin ja voitti japanilaisen laatupalkinnon ’The Deming Price’ vuonna 1965 ja näin syntyi osaltaan Toyota Production System. (Pentti 2022)

Kuva 13 PDCA laatuympyrä (www.arter.fi)

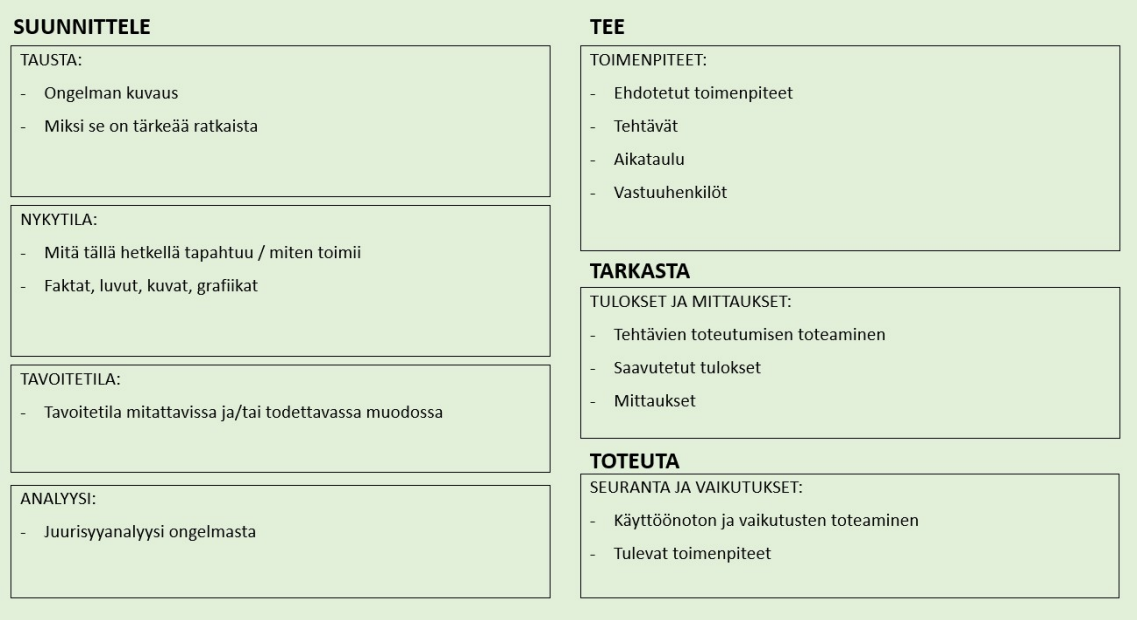
Hyödyntämällä kehäoppimista on mahdollista löytää parannettavat asiat työtavoissa, materiaaleissa, suunnittelutyössä tai muissa vakioiduissa menetelmissä ja toteuttamisen jälkeen arvioida ja tarvittaessa parantaa ja uudelleen vakioida menetelmiä paremmin soveltuvaksi. Jatkuvan parantamisen perusajatusta kuvataan yleensä alla olevalla tavalla, kuva 14, PDCA – kehää käytettäessä. (RIL 276-2021 s.175)



Kuva 14 Jatkuva laadun parantaminen (RATU Rakennustöiden laatu 2017 s.9)

Varsinainen työ alkaa suunnittele (Plan) osasta, vaikka varsinaista alkua ympyrälle ei olekaan. Tähän käytetään Lean ajattelun mukaisesti riittävästi aikaa. Sekä varsinainen rakentamisen suunnittelun, mutta myös työmaatoiminnan ja kaikkien suunnitelmien toteutukseen osallistuvien on pystyttävä yhteistyössä ja vuorovaikutuksessa vaikuttamaan työn suunnitelmiin. Tee (Do) osiossa suunnitelma toteutetaan. Tämä voi olla myös muutos ja tällöin tarkoittaa kehittämistä, testausta ja pilotointia, mitä varsinainen käyttöönotto myöhemmin edellyttää. Tarkasta/arvioi (Check) – vaiheessa suunnitelman ja käyttöönoton toimivuus todetaan havainnoin ja mittarein. Tarkasta - vaiheessa on tärkeää todeta onnistuminen avoimesti ja neutraalein mittarein. Epäonnistumista ei saa pelätä vaan sekin voidaan ajatella eräänlaisena saavutuksena oppimisen kannalta, eli miten asia ei toimi. Toteuta (Act) osassa toteutetaan muutos tai rakentaminen niiden standardien pohjalta mitä kierroksessa on luotu. Toki tämä vaihe voi olla myös koko syklin aloittava vaihe, jolloin toimintaa tehdään normaalisti ja tässä todetaan kehittämisen tarve, jolloin kehittämistoimia aloitetaan suunnittelemaan. (RIL 276-2021 s.174-175)

Myös esitetty tahtituotannon oppimismalli, kuva 10 on eräänlainen kehä, jossa suunnitellaan (Plan) tuotanto ja toteutetaan (Do) suunnitelma. Toteuttamisen jälkeen todetaan tulosten perusteella toteutuksen kelpoisuus (Check) ja tarvittaessa muutettavat asiat ja vakioidaan toimintatapa (Act). PDCA – syklin toteuttamisessa voidaan hyödyntää A3 – ongelmanratkaisu työkalua, kuvassa 15, joka on kirjaimellisesti A3 kokoinen sivu, johon kirjataan jokaiseen syklin osa-alueeseen liittyen mm. ongelman aihe, taustat, juurisyyt, ongelman ratkaisu ja seuranta sekä päätelmät lopputuloksesta.



Kuva 15 A3 - lomakkeen yleinen sisältö (RIL 276-2021 s.192)

Mahdollisissa poikkeamissa ja aikataulussa jälkeen jäämisen ongelmissa voidaan käyttää juurisyyanalyysia menetelmänä etsiä ongelman lähde. Juurisyiden selvittämisen avulla voidaan kehittää toimintatapa, jotta vastaavat ongelmat jatkossa vältetään. Näin edellisestä projektista opitaan ja oppi siirretään seuraavaan toimintaan. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi 5 x miksi – menettelyä. (Koskenvesa 2019 s. 22)

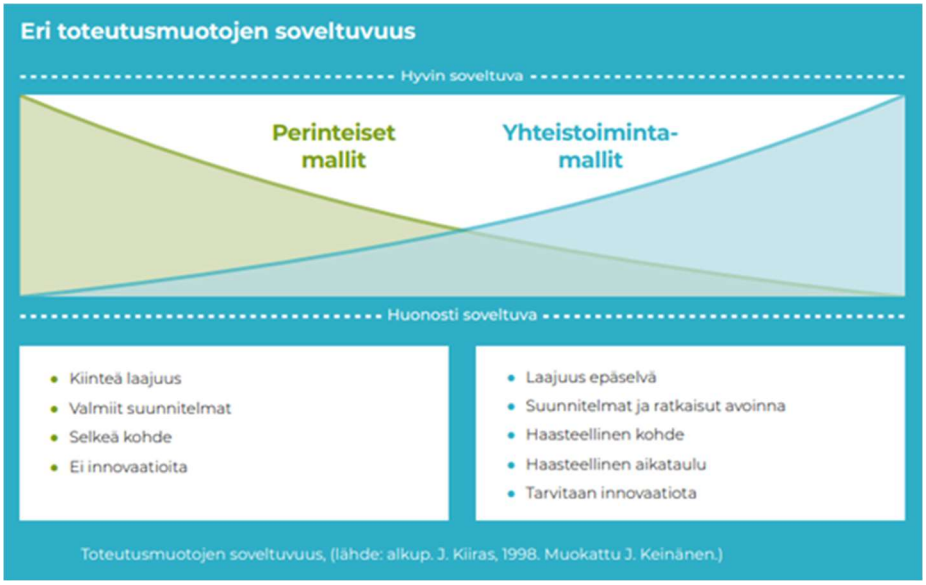
5 x miksi – menettely on ongelmanratkaisumenetelmä, jonka tavoitteena on löytää ongelmien juurisyyt. Juurisyiden korjaaminen eliminoi hukkaa ja luo parempaa arvoa. Menetelmässä selvitetään ongelmaketjun osa-alueiden syyt kysymällä ”miksi” niin monta kertaa, että syy ongelman takana löytyy. (Koskenvesa 2019 s.22)

Last Planner Systemin viikkoseuranta ja tavoitteiden saavutuksen mittaaminen on yksi asia, jolla pystytään mittaamalla havainnoimaan suorituksen tasoa ja puuttumaan tarvittaessa syihin erojen takana. Esteloki ja poikkeamien juurisyiden löytäminen auttaa ratkaisemaan pidemmällä aikavälillä ongelmia sekä kehittämään toiminnasta ennustettavampaa.

Jokaisen organisaation on löydettävä itselle sopivin työkalu kehittämiseen, kun ongelma on ensin selvillä. Ongelman selvittämiseksi on oltava selkeä kuva nykyisestä tilanteesta, josta voidaan valikoida selvitettävät ongelmat ratkaistavaksi yksi kerrallaan.

2.4.5 Yhteistoiminta ja päivittäisjohtaminen

Toimiva yhteistyö osapuolten välillä on yksi tehokkaan Lean – toiminnan ja arvonluonnin edellytyksiä. Kunnioitus muiden osaamista kohtaan, kommunikaation ja tiimityön periaatteet ovat vahvasti mukana toiminnassa. ”Toimivan yhteistyön taustalla on aina toisten kunnioitus. Jos arvostaa muita, kestää näiden erilaisia mielipiteitäkin. Negatiivisuuden kierteen voi kääntää näin positiiviseksi, rakentavaksi yhteistyöksi, missä voidaan olla erimieltä, mutta silti etsiä yhteistä ratkaisua” (RIL276-2021 s. 197). Allianssi sekä muut yhteistoiminnalliset urakkamuodot ovat viime vuosien aikana kasvattaneet suosiotaan varsinkin mitä monimutkaisempi hanke on kyseessä. Yhteistoiminnallisissa urakkamuodoissa hyödynnetään tiimityöskentelyn, yhteisen päämäärän tavoittelua arvonluonnin ja arvoketjun sekä jatkuvan parantamisen periaatteita asiakkaan tavoitteiden saavuttamisessa. Alla kuvassa 16, on A-insinöörien oppaan kuva eri toteutusmuotojen valintaan käytettävistä kriteereistä urakan haasteellisuuden osalta.



Kuva 16 Toteutusmuotojen soveltuvuus (A-insinöörit ains.fi)

Rakennusalan nähdään edelleen olevan matalan luottamuksen alaa Lean suunnittelunohjauksesta tehdyssä raportissa Visio 2030 hankkeessa (Seppänen, Uusitalo 2017). Tässä tutkimuksessa havaittiin, että rakennusalalla tarvitaan aktiivisempaa ongelmista keskustelua ja ongelmien esiin nostamista sekä selkeää priorisointia. Tutkimuksessa havaittiin, että suunnittelunohjauksessa hukan vähentämisessä ja kommunikaation parantamisessa on ollut käytössä usein Big Room ja tämän on havaittu poistavan todella paljon sähköpostien odottelua.

(Seppänen, Uusitalo 2017). Big Room – toiminta perustuu Toyotan ideaan parantaa kehitysprojektien tiedonkulkua kokoamalla projektin osapuolet yhteen koordinoimaan hanketta. Big Room - toiminnassa projektin osapuolet työskentelevät ilman jäykkiä organisaatiorajoja projektin lopputuloksen ja tavoitteiden saavuttamiseksi. Erilaiset Big Room variaatiot on mahdollisia, jotta saadaan projektin osapuolet kohtaamaan ja tekemään yhteistyötä myös silloin, kun päivittäinen istuminen samassa tilassa ei onnistu. Lisäksi covid 19 on nostanut tarpeen virtuaalisille Big Room – toiminnoille. (RIL 276-2021, s. 91-95). Myös avokonttorit ovat eräällä tapaa yhteisiä työskentelytiloja ja Lean - yrityksissä tapa lisätä vuorovaikutusta ja tiimityöskentelyä, tämä kuitenkin vaatii yhteiset pelisäännöt onnistuakseen, jotta työskentely on tehokasta ja jokaiselle annetaan oma rauha työn suorittamiseen. (Pentti 2022)

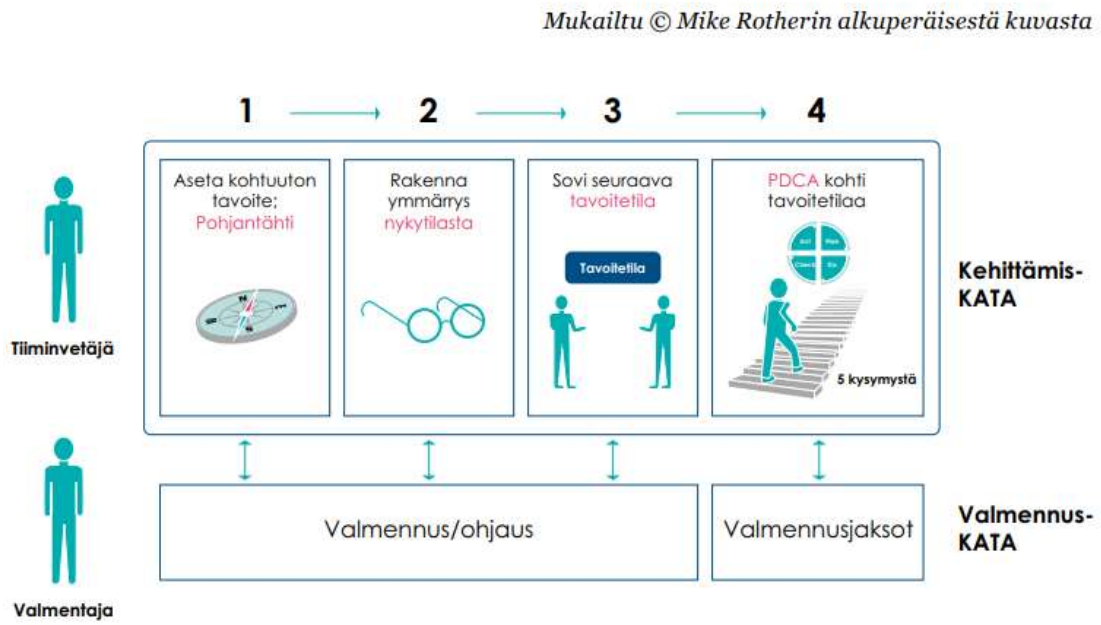
Puhuttaessa tiimeistä ja tiimityöskentelystä, tarkoittaa se yleensä rakennusprojekteissa sen johtamisesta vastaavaa ydintiimiä. Lean – toiminnan tarkoitus on aktivoida kaikki projektissa toimivat yhteisten Lean - periaatteiden mukaiseen toimintaan. Kun rakennushankkeessa puhutaan ”tiimiyttämisestä”, tarkoitetaan itse asiassa kaikkien projektissa toimivien saamista toimimaan kuin yhteen hitsattu ryhmä projektin yhteisten asioiden eteen. On huolehdittava, että projektin ytimessä olevat vastuuhenkilöt muodostavat kiinteän toisiaan tukevan tiimin, mutta samalla on huomioitava, että hankkeessa toimii myös useampia muita tiimejä. Näiden tiimien jäsenet voivat toimia useammissa tiimeissä projektin sisällä ja tiimin rakentamisella tarkoitetaan useiden tiimien muodostamaa limittäin menevää verkostoa, jonka halutaan noudattavan yhteisiä toimintatapoja ja toimivan hankkeen yhteisten tavoitteiden eteen. (RIL 276-2021 s. 205)

Lean – johtamisessa korostuu päivittäisjohtamisen rooli. RAIN2-hankkeen johtamisen osiossa korostui yhteisten, riittävän konkreettisten tavoitteiden merkitys, suunnittelun ja tuotannon yhteensovitus sekä johtamisen syklin muutos viikkotasolta päivätasolle. ”Olennaista on työntekijöiden osallistaminen ja aito kohtaaminen, jolla tuotetaan aidosti arvoa ja varmistetaan samaan suuntaan toimiminen. Perinteisessä hierarkkisesta johtamismallista käännetyn kolmion johtamiseen, kuva 3, vaatii kulttuurin ja asenteen muutosta projektin jokaiselta osapuolelta” (RAIN2 loppuraportti 2022 s.15).

Päivittäisjohtaminen ja päivittäispalaverien pitäminen on tärkeää kohtaamisen ja yhteisen tilannekuvan ylläpitämiseksi. Päivittäisjohtamisen palaverit voivat olla pienten ryhmien palavereja, joissa käsitellään 5 – 15 minuutissa tärkeimmät tuotantoon liittyvät asiat, työtehtävät, aikataulussa pysyminen, laatu ja turvallisuus sekä mahdolliset häiriöt. Jotta palaveri

palvelee tarkoitustaan, joka on varmistua päivän töistä ja mahdollisista muutoksista viikko-aikatauluun tai aiempaan tuotannon suunnitelmaan, asiat kannattaa käydään läpi hyödyntäen tilannekuvaa. Päivittäisjohtamisen palaverissa ei ole tarkoitus ratkoa ongelmia, vaan nämä käydään läpi erikseen palaverin jälkeen. Palaveri pidetään sovitun mittaisena ja sitä on hyvä kehittää kokemusten perusteella. (Mäenpää 2022)

Johtamisessa on mahdollista hyödyntää esimerkiksi Toyotan Kata – käyttäytymismallia, katso kuva 17. KATA on kaksitasoinen, joista ensimmäinen on tiiminvetäjälle tarkoitettu kehittämis-KATA ja toinen Valmennus-KATA, joka antaa esimiehelle kysymyksien avulla rungon, kuinka lähestyä keskustelua tiimin tavoitteista ja saavutetuista tuloksista sekä mahdollisista kehittämiskohteista, katso kuva 18 KATA – kysymyksistä. Kehittämisen-KATAn avulla voi käydä läpi esimerkiksi edellisen päivän toteumaa ja mitä esteitä tavoitteiden saavuttamisessa on ollut, jolloin toiminnasta ja sen kehittämisestä tulee päivittäistä. (Korte et al 2019 s. 58-59)



Kuva 17 Kehittämisen KATAn neljä vaihetta (Korte et al. 2020 s. 58)

Kuva 18 Valmennus-KATA kortti (Korte et al. 2020 s. 59)

Genchi Genbutsu on Japania ja tarkoittaa vapaasti ”mene ja näe” eli käyntiä itse työkohteessa datan tuijottamisen sijaan. Päätöksentekijä voi käydä kohteessa tutkimassa asiaa ja keskustelemassa työtekijöiden kanssa kehitysasian varmistamiseksi ja varsinaisen työn toteamiseksi. (Lean Enterprise Institute verkkosivusto). Gemba Walk, suomennettuna johdon työmaakävely, on tapa osoittaa työnteon arvostusta. Gemba tarkoittaa fyysistä paikkaa, jossa työ tuotetaan eli rakennushankkeessa työmaata ja sen arvoa tuottavia työntekijöitä. Tavoitteena on parantaa työnteon olosuhteita ja edellytyksiä, sekä auttaa havaittujen ongelmien ratkaisemisessa. Johdon työmaakävelyn voi suorittaa työnjohtaja, työmaan vastaava työnjohtaja tai vaikka yrityksen toimitusjohtaja, suorittajasta riippuen aihe voi olla erilainen, vaikka kävelyt ovat aina tavoitteellisia ja valmisteltuja sekä systemaattisesti toteutettuja. Kävely dokumentoida erilaisille suunnittelu- ja raportointipohjille, sekä voi sisältää erilaisia työntekijöille esitettäviä kysymyksiä, jotka yleisimmin alkavat mitä, miten ja miksi - sanoilla. (RIL276-2021 s.215, Lean Enterprise Institute)

Visuaalinen ohjaaminen on yksi Toyotan käyttämistä periaatteista, jolloin tehdään näkyväksi kaikki mitä tapahtuu, jotta ongelmat eivät jää piiloon. Tämä voi olla työmaalla materiaalien varastointia niin, että tiedetään missä mikäkin on ja se on helposti inventoitavissa. Tai toimistossa kansioiden järjestämistä ja tietokoneen tietojen säilyttämistä niin, että kaikki löytyy ilman etsimistä. Myös työkohteen siistinä pitämistä ja asioiden vakiointia niin, että jokainen tietää mitä mistäkin pitäisi löytyä. Visuaalista ohjaamista voidaan hyödyntää myös työmaan tilanteen hahmottamiseen, kuten suunnitelmien toteumatieto seinällä, aikataulu ja sen toteuman seuranta näkyvillä. (Liker J. 2010 s. 149-158) Tällä pyritään myös poikkeamien ja viiveiden näkymiseen visuaalisten ohjainten kautta esim. Key Performance Indicator (KPI) avulla tai täydennettävien listojen ja kaavioiden avulla. Tavoitteiden on oltava SMARTteja,

katso kuva 19, jolloin se on selkeästi rajattu ja määritelty, mitattavissa riittävän usein toisin sanoen päivittäin tai viikoittain, saavuteltavissa eli mahdollisuus parantamiseen on, relevantti ja merkityksellinen asiakkaan ja toiminnan kannalta sekä saavuttamiselle on määräaika. (Korte et al. 2020 s. 21)

SMART	
Specific	Selkeästi rajattu ja määritelty
Measurable	Mitattavissa riittävän usein
Achievable	Saavutettavissa ja vastuussa oleva ryhmä pystyy vaikuttamaan siihen
Relevant	Relevantti ja merkityksellinen asiakkaille ja toiminnan kannalta
Time bound	Sen saavuttamiselle on määräaika

Kuva 19 SMART - tavoitteet (Korte et al. 2020 s. 21)

Nykyään on olemassa myös IT-järjestelmiä sekä visuaalisia taulukoita, joita voidaan hyödyntää datan keräämisessä ja esittämisessä, mutta käsin täydennetyt kaaviot ja kirjoitetut luvut on todettu tehokkaammaksi keinoksi. (Jokiniemi 2022)

3 Kalliorakentaminen ja nykyiset toimintatavat

Tässä luvussa käydään läpi kalliorakentamisen erityispiirteitä ja kalliorakentamisen töitä sekä ympäristön vaikutusta kalliorakentamisen projektiin. Lisäksi käydään läpi kalliorakennushankkeiden aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen nykytilaa.

3.1 Kalliorakentamisen kehitys

Kalliorakentaminen on kehittynyt useissa vaiheissa alun perin ihmisen turvan hakemisesta maanalaisista tiloista sääoloja ja luontoa vastaan. Kallioon rakennettiin kaivosten ohella muun muassa linnoja ja suojausrakenteita. Teollistuvassa yhteiskunnassa kaupungistumisen myötä rakennettiin maanalaisia tiloja ja tunneleita yhdyskuntarakenteina. Kallioon rakennettiin viemäreitä, metrotunneleita ja teknisen huollon tiloja sekä puolustusrakenteita ja voimalaitostekniikkaa kehitettiin. Kolmantena vaiheena tuotiin ihmisten toimintoja maanalaisiin tiloihin ja rakennettiin tiloja muun muassa liikunta-, harrastus- ja kulttuuritiloiksi. Suurkaupunkien keskustoihin lisäksi rakennettiin jalankulkualueita, pysäköintiä ja huoltoliikennettä varten maanalaisia tiloja. (Rönkä K et al 1997 s. 11)

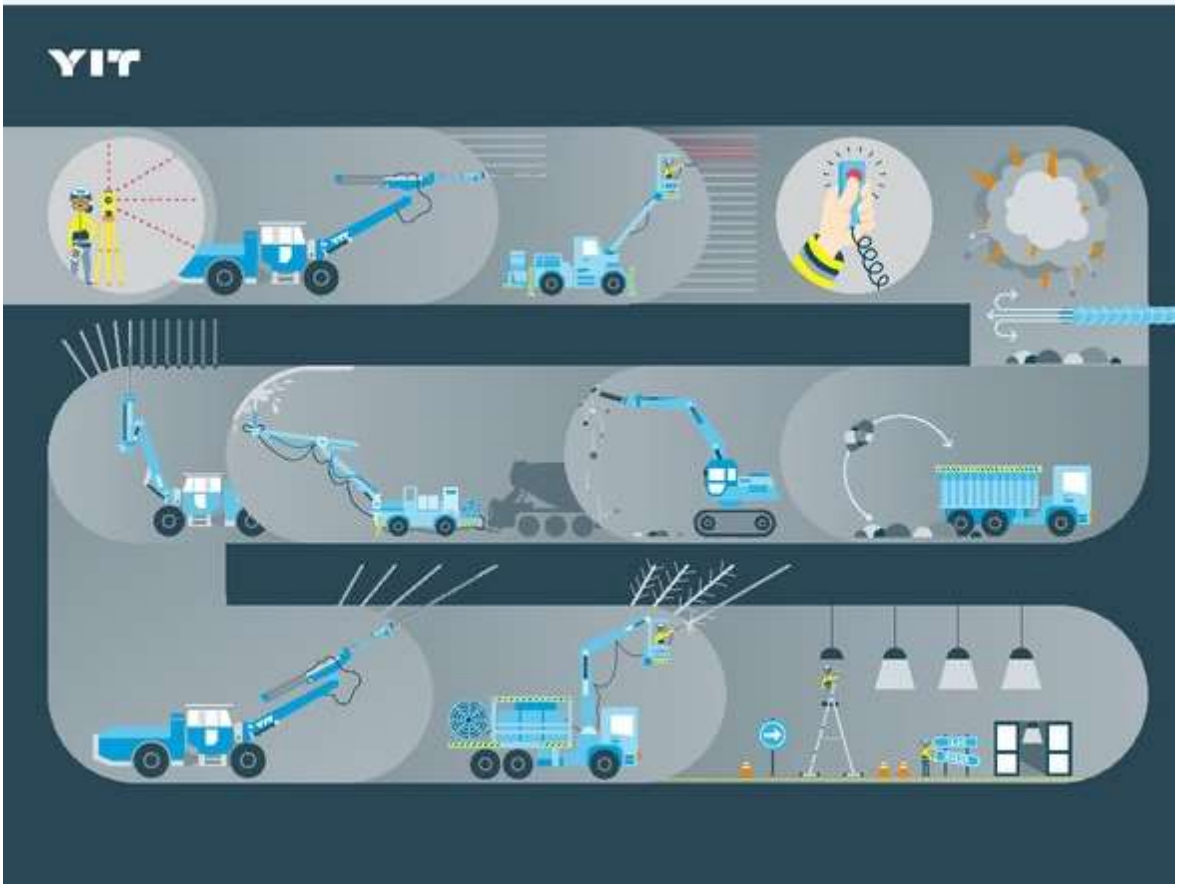
Ympäristöongelmat ja kasvanut ympäristötietoisuus ovat vaikuttaneet viimeisimpään kehitysvaiheeseen kalliorakentamisessa. Ympäristövaikutusten minimointi, luonnonsuojelu ja halu säilyttää vanhat kaupunkiympäristöt uudisrakentamiselta sekä tiukentuva lainsäädäntö ovat antaneet uuden sysäyksen maanalaisten tilojen käyttöön. (Rönkä K et al 1997 s. 11)

3.2 Kalliorakentamisen työvaiheet ja sisältö

Suomen kova graniittinen kallioperä mahdollistaa jänneväleiltään suurten ja avarien tilojen rakentamisen kallioon. Louhintatekniikan kehittyminen on tehnyt kalliorakentamisesta kilpailukykyisen vaihtoehdon maanpäälliselle rakentamiselle.

Kalliorakentaminen on kallioon rakennettavien tilojen louhintaa, lujitusta ja muita tilojen tekemiseen tarvittavia toimenpiteitä, kuten kallion tiivistämistä injektoinnilla tai

rakennustyötä. Louhintatyö on räjäytystyön yhteydessä tapahtuvaa kallion irrotusta ja siihen välittömästi liittyviä valmistavia töitä kuten porausta, louheen kuormausta ja kuljetusta, rusnausta sekä työnaikaista kallion lujitusta, katso kuva 20. Rusnaus on irtonaisten kalliolohkareiden karistamista kalliotilan katosta tai seinistä sekä kallionpinnan puhdistamista louhinnan rikkomasta kiviaineksesta. (RIL 169-1987 s.11-12)

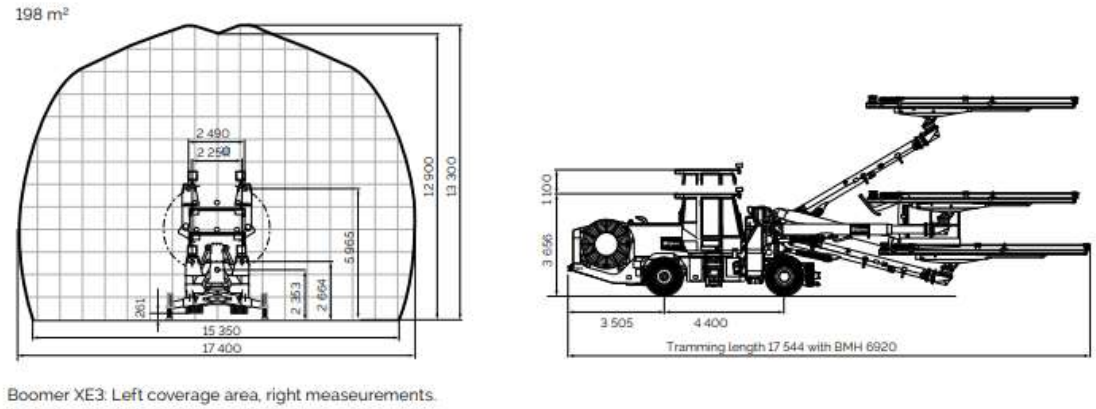


Kuva 20 Kalliorakentaminen (YIT / FEM messut 2017)

Räjäytystyötä on työt, joissa käsitellään räjähteitä mm. räjäytysten valmistelu, panostaminen ja räjäytyskenttien peittäminen sekä muut räjähteiden käyttöpaikalla tehtävät työt. Suomalaisessa kalliorakentamisessa poraus-räjäytys -menetelmä on kilpailukykyisin tapa louhia kovan kiven kallioperää. Tärinälle herkissä kohteissa voidaan käyttää vaijerisahausta, irtiporausta tai kiilausta kallionirrotukseen. Nämä menetelmät ovat kuitenkin huomattavasti hitaampia eivätkä sovellu isoihin määriin korkean hintansa vuoksi.

Tunnelilouhintaa kutsutaan kaivostoiminnassa peränajoksi ja yhdellä kertaa räjäytettävä tunnelin osa on katko. Louhintaa voidaan tehdä kerrallaan yhdensuuntais-porauksella noin 5 – 6 metrin pituinen katko, koska yleisimmin käytetty porakaluston pituus on 18 – 21 jalkaa (5,4 – 6,3 metriä). Yhdessä osassa louhitaan yleensä alle 10 metriä korkeat ja noin 8 metriä

leveät profiilit. Tämän kokoinen katko on ajoituksellisesti mahdollista louhia yhdessä osassa, jolloin poraus ja panostus on mahdollista tehdä yhden tai kahden työvuoron aikana. Tätä korkeammat tai leveämmät profiilit yleensä louhitaan 2 tai useammassa osassa riippuen tilan koosta. Yleisimmin käytetty porajumbo pystyy kyllä tekemään yhdeltä sijainnilta myös isomman profiilin, katso kuva 21 alla, mutta tämä on yleensä töiden rytmittämisen vuoksi huono vaihtoehto. Poraus on nykypäivänä melko pitkälle automaattiohjattua ja operaattori on koneessa valvomassa työtä ja tarvittaessa keskeyttämässä koneen toiminnan ongelmatilanteissa.

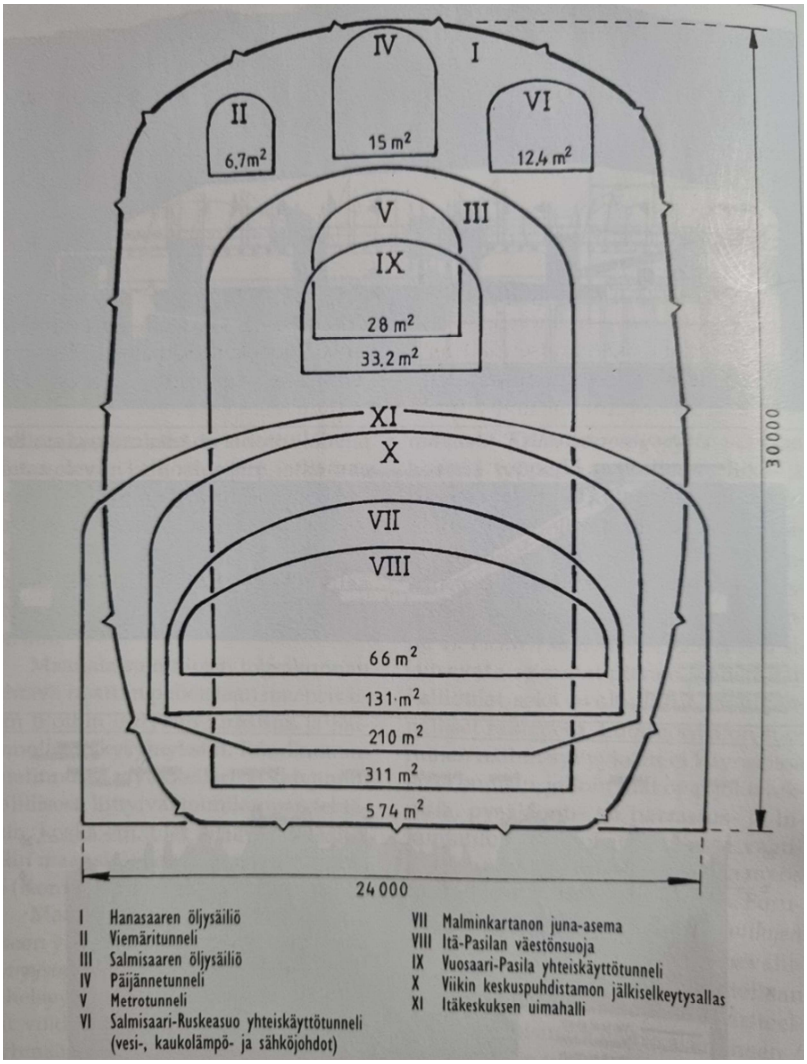


Kuva 21 Boomer XE3 porajumbon koko ja ulottumat (www.epiroc.com)

Myös kalliotunnelin ollessa leveä ja kalliolaadun huono, louhitaan ensin kapeampi pilottitunneli. Pilotti tunneli lujitetaan, minkä jälkeen tunneli levitetään ja syvennetään yhdessä tai useammassa osassa lopulliseen kokoonsa. (Paalumäki et al 2015 s. 73)

Porattujen reikien panostamiseen käytetään nykyään enemmän suoraan reikään pumpattavaa räjähdysainetta ns. emulsioräjähdysainetta, jolloin reikien panostaminen onnistuu myös yhdeltä hengeltä, mutta yleensä työryhmään kuuluu 2 henkilöä. Aiemmin suosittu patrunoitujen räjähdysaineiden käyttö on vähentynyt emulsiopanostusalustojen kehittymisen myötä ja emulsioräjähdysaineen kilpailukyvyn kehittyessä. Panostusalustoina voidaan käyttää henkilökorillista nostimellista kuorma-autoa tai tunneliin suunnitellulle henkilönostimelle rakennettua kalustoa. Jälkimmäisten ulottuma on yleensä hieman matalampi ja kapeampi kuin porajumbojen, jolloin panostusalusta voi määrittää osaltaan louhinnan vaiheistusta. Kohteissa, joissa poraus ei ole kriittinen työvaihe, voidaan porajumbon koria käyttää myös panostamiseen porauksen jälkeen hyödyntäen irrallista panostusyksikköä.

Kalliotilat ja tunnelit tehdään aina, jos mahdollista, moniperälouhintana, jolloin louhinnan eri työvaiheita voidaan tehdä samanaikaisesti eri tunneleissa. Louhinnan turvallisuus ja ympäristövaikutusten hallinta sekä tehokkuus ja kilpailukyky onkin kehitetty työvaiheiden rytmityksen, mekanisoinnin ja automatisoinnin ansiosta erittäin pitkälle. (Rönkä et al 1997, s. 112). Kuvassa 22 on Helsingin alueelle louhittujen tunneleiden profiileja. Isoimmat profiilit ovat alueen öljysäiliöissä käytettyjä ja muutoinkin harvinaisia projekteja. Yhteiskäyttötunneleiden sekä väestönsuojissa ja metrossa sekä juna-asemissa käytetyt profiilit ovat yleisimmin käytettyjä kooltaan, mutta myös isompia tai pienempiä tunneleita tehdään käyttökohteista riippuen.



Kuva 22 Helsingissä käytettyjä tunneliprofiileja (Ränkä et al 1997/2)

Kallion lujituksen tehtävänä on estää kallion pinnassa olevien lohkareiden irtoaminen ja auttaa kalliota kestämään sille tulevia kuormituksia. Kallion lujitusta voidaan tehdä pulttaamalla, ruiskubetonoinnilla tai verkottamalla. (RIL 169-1987 s.11-12.) Hyvissä

kalliomekaanisissa olosuhteissa kallio voidaan lujittaa louhinnan jälkeen erillisenä työvaiheena. Huonoissa olosuhteissa lujitus seuraa louhintaa ja katkon pituutta on tarvittaessa lyhennettävä. (Paalumäki et al 2015 s. 73)

Kalliorakenteen lujittamiseen vaikuttaa louhittavan tilan koko, kallion laatu ja rakoilu sekä syvyys maanpinnasta. Kalliotutkimuksia tehdään ennen kalliotilojen suunnittelua, joista timanttikairaus on kattavin näytteenottomenetelmä. Kairasydän näytteitä tutkimalla voidaan määrittää useita tekijöitä, kuten kivilaji, kalliomekaanisia tekijöitä ja suureita sekä geofysikaalisia parametrejä. Lisäksi porarei'istä voidaan tehdä muita mittauksia, kuten vesimenekkimittauksia, jännitystilamittauksia tai digitaalista kuvantamista. Geologisista tiedoista mallintamalla ja myös olemassa olevien kalliotilojen ja kalliopintojen perusteella on mahdollista löytää mahdolliset ruhjevyöhykkeet ja vesivuodot. (Paalumäki et al 2015 s. 41-45). Vaikka kalliotutkimuksia tehdään ennen hankkeen suunnittelua, on kalliotutkimusten väli usein harva ja näin yllätyksiä kalliolaadun osalta yleensä tulee.

Kalliossa voi olla rakoja, jotka johtavat vettä. Injektoinnilla tiivistetään kallion rakoja ja sitä voidaan tehdä joko esi-injektointina tai jälki-injektointina. Esi-injektointi tehdään nimensä mukaisesti louhinnan edellä, jolloin injektointiaineen virtaaminen louhittavaan tilaan on vähäisempää kuin jälki-injektoinnissa. Jälki-injektoinnissa myös vesivuotojen siirtyminen toiseen paikkaan on todennäköisempää. Pyrittäessä tiiviisiin kalliotiloihin on esi-injektointi tehtävä huolellisesti. Huonon esi-injektoinnin paikkaaminen jälki-injektoimalla on aikaa kuluttavaa, hankalaa ja kallista. Kallion rakovyöhykkeitä pyritään löytämään tunnusteluporauksen avulla ja mikäli raja-arvot vesimenekkimittauksissa täyttyvät, tehdään esi-injektointia. Injektoinnissa pumpataan sementtiseosta tai kemiallisia seosaineita porattuihin reikiin, jolloin seos tunkeutuu rakoihin ja kovettuessaan tukkii vesivuotoja. Systemaattista injektointia tehdään myös usein, jolloin esimerkiksi 20 metrin välein porataan suoraan 25 metrin injektointireiät ja injektoidaan profiili. Systemaattinen injektointi on helpompi suunnitella ennalta, koska porausta tehdään yleensä vakiomäärä, vaikka itse injektointiaikaa ei voi ennalta arvioida aivan yhtä helposti kallioon pumpattavan massamäärän vaihtelun vuoksi. Injektoinnin jälkeen on lisäksi odotettava, että massa sitoutuu eikä huuhtoudu porausveden mukana pois. (Suomen betoniyhdistys ry BY53 Kalliotilojen injektointi 2006)

Kalliota lujitetaan pulttaamalla, pultitus vahvistaa rikkonaista kalliota puristamalla murtumapinnat tiiviisti yhteen, mikä lisää murtumapintojen välistä kitkaa. Pultteina käytetään yleisimmin, joko harjateräspultteja tai kiila-ankkuripultteja, jotka juotetaan sementtimassalla.

Myös muunlaisia pultteja käytetään tarvittaessa, mutta nämä ovat riippuvaisia kalliolaadusta ja suunnittelusta. Pultitusta tehdään sekä työnaikana turvallisuuden varmistamiseksi, että räjäytystyön jälkeen. Yleisimmät pulttipituudet ovat 3 – 5 metriä ja pultitus pyritään tekemään kohtisuoraan kalliota vasten tai kallion rakoilua vasten. Lisäksi voidaan käyttää verkkoa pahimmin ruhjeisissa paikoissa. (Paalumäki et al 2015 s.244)

Lisäksi kalliopinta ruiskubetonoidaan katon ja seinien osalta, mikäli ihmisiä liikkuu valmiissa tilassa. Ruiskubetonoinnissa betoniaseman toimittamaa valmisbetonia ruiskutetaan paineilman ja kiihdytinlisäaineen kera tunnelin kattoon ja seiniin ja näin estetään kallion sortuminen. Valmisbetoniin voidaan lisätä myös teräskuitua lujittamaan rakennetta. Sitoutumattomalle betonille ja varhaislujuuden kehityksen aikana on ruiskubetonilla tarkat tärinärajat, mutta kovettuvalle rakenteelle tärinän raja-arvot ovat normaalin rakenteen raja-arvoja, joten tämä vaikuttaa lopullisen ruiskubetonoinnin suunnitteluun. (BY63, s. 9,11,58)

Pienet vesivuodot, joita ei tarvitse injektoida salaojitetaan kalliokatosta ja seiniltä ruiskubetonisalaojilla pohjan salaojakerroksiin. Ruiskubetonisalaoja tulee kallion ja lujittavan ruiskubetonin väliin.

Suurin osa työstä tehdään raskailla työkoneilla henkilöohjauksella ja vain työvaiheita kallion lujittamiseksi tehdään vielä nykyään käsityönä henkilönostimista käsin. Automaatiota on mahdollista hyödyntää varsinkin porauksessa, mutta kaivoskohteissa on myös lastauskoneita, jotka tekevät työn automaattisesti henkilövalvottuna. Panostamista ja lujitustöitä ei vielä olla automatisoitu aivan yhtä pitkälle kuin porausta ja yleisimmin infrarakennuskohteissa pultitustakaan ei olla hyväksytty tehtäväksi konetyönä kuten kaivoksissa.

Sementtipohjaisia tiivistyksiä ja lujituksia tehdään jatkuvasti kalliorakentamisessa ja näille ominaista on tietyt sitoutumisajat ja tärinän raja-arvot, jotka vaikuttavat töiden jatkamiseen työkohteessa. Sitoutumisvaiheessa oleva betoni voi vaurioitua tärinästä sitoutumisen ja kovettumisen alkuvaiheessa. Tuoreen ruiskubetonin on saavutettava vähintään 0,7 MPa lujuus, jotta alueen alapuolella saa kävellä eikä vaaraa tuoreen ruiskubetonin putoamiselle ole. (BY 63 s. 58-61)

Ruiskubetonoinnilla pidetään tällä hetkellä etäisyytenä louhintaan noin 50 metriä ellei kyseessä ole sovittu louhinnanaikainen ruiskubetonointi tai turvallisuusruiskubetonointi, jotka tehdään lähempänä räjäytettävää kohdetta. Kovettuvalle betonille on annettu RIL253-2010

Rakentamisen aiheuttamat tärinät - julkaisussa sivulla 27 ohjearvoksi seuraavassa taulukossa 2 esitetyt raja-arvot.

Taulukko 2 Kalliolujituksien kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän ohjearvo (osa taulukosta RIL253-2010 s.27)

Betonirakenne	Kovettuvaan betoniin kohdistuvan tärinän ohjearvo		
	Ennen tärytysrajan alkua	Kovettumisvaiheen alkuosa	Kovettumisvaihe
Ruiskubetoni	10 mm/s, kun betoni voi irrota pinnasta, muuten ei rajoituksia	2…10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti	Tärinäraja kasvaa alkuarvosta suoraviivaisesti lujuuden funktiona kunnes saavuttaa ohjearvon 70 mm/s 80%:n lujuudessa
Betonijuotetut pultit	10 mm/s, kun pultti voi pudota, muuten ei rajoituksia	2…10 mm/s puristuslujuuteen 5 MPa asti	Ei rajoituksia

BY63 Ruiskubetonointi julkaisussa taas on mahdollista hyödyntää kallio- ja maaperälujituksille rakenteen ohjearvoa kovettumisvaiheessa tärinän raja-arvoa määrittämään. Tällöin suunnittelija voi tapauskohtaisesti huomioida RIL – julkaisua suuremman raja-arvon. (BY63 s. 58-59)

Myös injektoinnissa täytyy huomioida sementtipohjaisten tiivistysmateriaalien sitoutuminen riittävästi, jotta porauksen huuhteluvesi ei avaa vesivuotoja. Kuppikokeen perusteella porauksen saa aloittaa, kun sitoutumiskokeessa massa ei tule kaatamalla pois kupista ja räjäyttää saa, kun kynä ei painu massaan omalla painollaan.

3.3 Ympäristön vaikutus kalliorakentamiseen

Ympäristö on huomioitava kalliorakennushankkeen suunnittelussa, jossa on otettava huomioon kallioperän rakennettavuus, pohjaveden liikkuvuus ja ympäristövaikutukset, jotka selvitetään mahdollisimman tarkkaan ennen louhinnan aloittamista. Kalliorakentaminen on

ainutkertaista, tilaa voidaan laajentaa ja korjata, mutta sitä ei voida saattaa entiselleen. (Rönkä et al 1997 s. 17-18)

Louhinnasta saattaa aiheutua ympäristöön häiritsevää melua, pölyä ja tärinää. Louhintaympäristöstä laaditaan riskianalyysi, jonka perusteella määritellään toimenpiteet, joilla minimoidaan häiriö- ja riskitekijät ja estetään vahinkojen syntyminen. Rakennetussa ympäristössä tärinäherkät laitteet, kuten sairaalalaitteet ja tietokoneet, eristetään tai vaimennetaan. Louhintatyön aikana tärinämittauksilla varmistetaan, että ennakolta määriteltyjä tärinän ohjearvoja ei ylitetä. (Rönkä et al 1997, s. 66). Tärinöihin vaikutetaan poraus- ja panostussuunnittelulla ja louhinnan katkopituutta lyhentämällä. Tärinälle todella herkissä kohteissa käytetään myös muita kallion irrotusmenetelmiä, ellei louhinta ole vaihtoehto.

Louhinta ja räjäytystöitä tehdään asutulla alueella, kun räjäytystyö tapahtuu 200 metrin etäisyydellä asutusta rakennuksesta tai paikasta, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee. ”Maanalainen louhintakohde on asutulla alueella, mikäli louhintaa tehdään alle 100 metrin etäisyydellä sinne johtavan tunnelin suuaukosta, jos suuaukko on asutulla alueella tai mikäli etäisyys asuttuun rakennukseen tai paikkaan, jossa ihmisiä tavallisesti oleskelee, on pienempi kuin 50 metriä.” (2§ 16.6.2011/644 www.finlex.fi)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 melun keskiäänitason toimenpiderajat asuinhuoneissa ja oleskelutiloissa päiväaikaan klo 7–22 on 35 dB ja yöaikaan 30 dB (545/2015 www.finlex.fi). Kaupungit ja kunnat soveltavat tämän asetuksen raja-arvoja töiden melulupaan ja mikäli toimitaan taajama-alueella rajoitukset töiden tekemiselle ovat mahdollisia. Varsinkin melua aiheuttavien työvaiheiden, kuten poraus, lastaus, louheen ajo ja rusnaus voivat ylittää melurajan ja näin ollen melulupa rajoittaa meluavat työt yleensä klo 7–18 välille ellei melumittauksin voida toisin todistaa. Räjäyttää saa usein klo 7–21 välillä myös taajama-alueella, mutta myös muut aikarajoitukset ovat mahdollisia riippuen alueen asutuksesta ja muusta taustamelusta. Melua ja tärinää aiheuttavista töistä on tehtävä meluilmoitus 30 päivää ennen töiden aloittamista.

Kalliorakentamista tehdään yleensä keskeytyvänä kaksi- tai kolmivuorotyönä, mikäli kohde on infrarakentamista tai kaupunkialueella tapahtuvaa työtä. Kaivoksissa ja kohteissa, joissa halutaan edetä mahdollisimman tehokkaasti eikä hankkeella ole ympäristön aiheuttamia rajoituksia, voidaan töitä tehdä keskeytymättömänä vuorotyönä. Louheenajoa pyritään

tekemään mahdollisuuksien mukaan yöaikaan, kun muuta liikennettä on vähemmän. Viikonloppuja hyödynnetään myös lujituksien tekemiseen tai varusteluun.

3.4 Kalliorakentamisen aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen nykytila yrityksessä

Kalliorakentamisen aikataulusuunnittelu perustuu sopimusaikatauluun ja sopimuksen työmääriin sekä toteutusresursseihin. Sopimuksen perusteella luodaan työmaalle karkea yleisaikataulu, johon sijoitetaan sopimuksen mukaiset määrät töitä. Yleisaikataulusuunnittelusta on vastuussa työpäällikkö. Yleisaikataulu tehdään ensimmäisen kerran jo laskentavaiheessa ja päivitetään urakan sopimukseen. Yleisaikataulusuunnitelma tehdään yleensä jana-aikatauluna, jossa mahdolliset sidonnaisuudet näytetään hyvin yleisellä tasolla. Yleisaikataulussa pyritään huomioimaan kalliolaadun vaikutuksia sekä mahdollisia työaikarajoitteita sekä huomioimaan nämä mahdollisina riskivarauksina ja puskureina aikatauluun.

Työmaan rakentamisaikataulu saattaa erota sopimuksen mukaisesta yleisaikataulusta. Rakentamisaikataulusta vastaa työpäällikkö ja projektin työmaapäällikkö. Rakentamisaikataulusta pyritään poistamaan mahdollisimman paljon puskureita ja limittämään työt mahdollisimman sujuvaksi kokonaisuudeksi. Rakentamisaikataulussa otetaan tarkemmin huomioon sidonnaisuudet muihin töihin sekä kalliolaadun ja ympäristön aiheuttamat rajoitukset. Rakentamisaikataulua voidaan tarkentaa töiden edistymisen aikana, kun toteutuvat työmäärät ja käytettävät resurssit tarkentuvat.

Työmaalla tehdään lisäksi tarkempaa tuotannon suunnittelua varten 3-viikkoisaikataulusuunnitelmat, joihin huomioidaan tarkemmin tehtävät työt ja mahdolliset sidonnaisuudet muihin urakoihin sekä aliurakoitsijoiden työt. Viikkosuunnittelusta vastaa työmaapäällikkö, mutta usein itse työn tekee työmaainsinööri tai tuotantoinsinööri. Näistä suunnitelmista ensimmäinen viikko tehdään yksityiskohtaisemmin ja jälkimmäiset kaksi viikkoa yleisemmällä tasolla mistä louhitaan ja kuinka paljon sekä mahdolliset lujitustyöt näiden lisäksi. Viikkosuunnittelussa on joillakin hankkeilla hyödynnetty myös Last Planneria, mutta tapa ei ole vakiona yksikössä.

Työmaan kalliolaatu ja käytettävissä oleva työaika sekä käytettävissä olevat resurssit vaikuttavat tuotannon suunnitteluun. Mikäli kalliolaatu vaatii louhinnan keskeyttävien lujituksien tekemistä tai kallion tiivistämistä injektoimalla vaikuttaa tämä suunnitelmiin eniten ja

häiritsee normaalia louhinnan kiertoa. Injektointiporaus yleensä sitoo yhden porajumbon vähintään vuoron ajaksi ja injektointityöryhmän toisen vuoron ajaksi. Mikäli louhinnan keskeyttäväksi lujitukseksi riittää pultitus, on tämä yleensä nopeampi tehdä kuin jos kalliota ruiskubetonoidaan. Ruiskubetonoinnissa massan saatavuus betoniasemalta sekä sitoutumisaika ruiskubetonoinnin jälkeen vaikuttavat aikatauluun. Varsinkin jos louhittavia periä on 1 – 3 on näillä vaikutusta viikon työsuoritteisiin. Useamman perän louhinnassa louhinnan keskeyttävien lujitusten vaikutus on vähäisempi, ellei työt tapahdu aikataulun kriittisen polun perässä. Myös tärinärajoituksilla on vaikutusta työn toteuttamiselle. Ellei tärinöiden hallintaa pystytä toteuttamaan pora- ja panostuskaavioiden suunnittelulla ja nallituksella eli räjähteiden syttymisjärjestyksellä, on katkoa lyhennettävä. Tällöin yhdellä räjäytyksellä saadaan louhittua merkittävästi lyhyempi matka tunnelia ja työnkierto lisääntyy.

Aliurakoitsijoiden sopimuksissa on sovittu tietyistä tehoista esimerkiksi louheen kuormaukseen ja -ajoon sekä lujitusurakoitsijoilla pulttien juottoon. Myös materiaalitoimittajille on sovittu tietty toimitusaika ja -tahti, varsinkin valmisbetonitoimituksille on tärkeää oikea rytmi ruiskubetonoinnin aikana. Betonitehtaiden työaika on yleensä arkisin klo 7 – 16, jolloin ilta- ja yöaikaan tehtävistä töistä maksetaan ylityölisää.

Päivittäinen tuotannonohjaus on vuorotyönjohtajien työtä ja päivittäin käydään läpi työntekijöiden kanssa vuoron työsuunnitelma. Työmaalla voi olla myös tuotantoinsinööri, joka tekee varsinaisen suunnittelun. Vuorotyönjohtajat suunnittelevat työn yleensä itsenäisesti viikkoaikataulun ja edellisen työvuoron saavutusten mukaan. Työnjohtajat käyvät läpi työpäivän tapahtumat vuoronvaihdossa, varsinaista pohjaa ei vuoronvaihtopalavereille ole ja jokainen vuorotyönjohtaja toimii oman ammattitaitonsa perusteella. Vuoron alettua vuoron työjärjestykseen saattaa tulla muutoksia joko kallio-olosuhteiden, konerikkojen tai muiden häiriöiden ilmettyä. Nämä häiriöt kirjataan työmaan työpäiväkirjaan, johon häiriöiden kesto ja mahdollinen ratkaisu kirjataan myös.

Joillakin työmaapäälliköillä on tapana tulla työmaalle samaan aikaan, kun aamuvuoro aloittaa työt eli kello kuuden aikaan aamulla ja näin ovat mukana vaikuttamassa päivän tuotannonsuunnitteluun yhdessä työnjohtajan kanssa. Myös aamuvuoron ja iltavuoron työnjohtajien vuoronvaihto on ajankohta, jossa työmaapäällikkö tai tuotantoinsinööri pystyy vaikuttamaan vuoron suunnitteluun ja seuraavan päivän töiden suunnitteluun. Yleensä edellisen vuoron työnjohtaja tekee seuraavalle työvuorolle töiden suunnittelun sen mukaan, mitä omassa vuorossa on jäänyt kesken tai valmistunut.

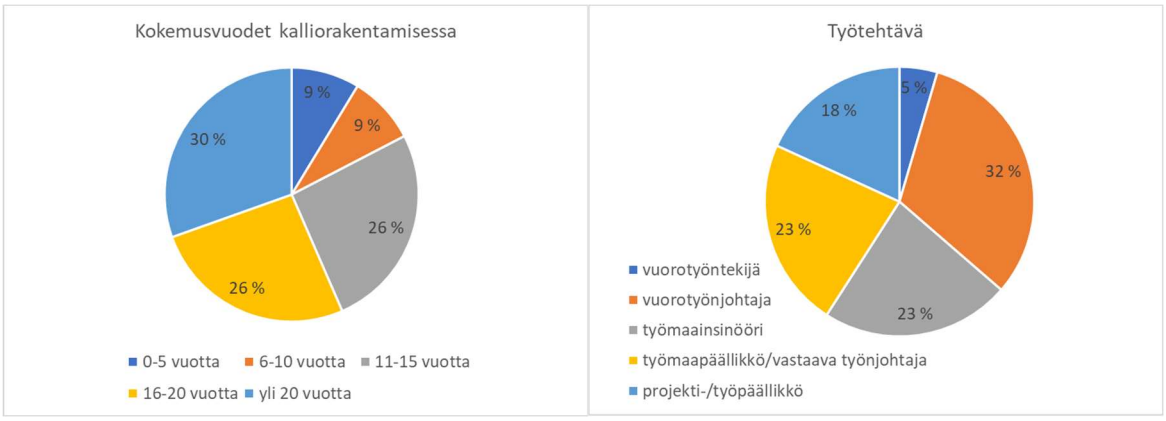
Työmaalla pidetään viikoittain työnjohtopalaveri, jossa käydään läpi työhön varatut resurssit, kaluston kunto, työturvallisuuteen liittyvät asiat sekä seuraavan 3 – viikkoissuunnitelman sisältö. Lisäksi palaverissa käsitellään laatuun ja työntoteutukseen sekä talouteen liittyviä asioita. Aliurakoitsijoiden kanssa pidetään palaverit erikseen, joten kaikki tuotantoon liittyvät asiat eivät välttämättä siirry tiedoksi aliurakoitsijalle.

4 Teollisen rakentamisen tunnettuus kalliorakennusyksikössä ja tuotannon ongelmien kartoitus

Kalliorakennusyksikön henkilöstölle teetettiin keväällä 2022 kysely, jossa selvitettiin teollisen rakentamisen sekä Lean käsitteiden ja työkalujen tunnettuutta yksikössä. Kyselyssä kysyttiin yleisten Lean käsitteiden, kuten arvontuottaminen, hukan vähentäminen, virtautettu tuotanto sekä jatkuva parantaminen, tietoisuutta, jotka kaikki liittyvät Lean filosofian periaatteisiin. Näillä kysymyksillä pyrittiin selvittämään tarvetta lisätä tietoisuutta mitä näillä periaatteilla tarkoitetaan ja kuinka näillä periaatteilla voidaan lisätä työmaan tuottavuutta selkeyttämällä tavoitetta ja vähentämällä turhantyön tekemistä sekä parantamalla toimintaa.

Lean työkaluista kyselyssä selvitettiin Last Plannerin, estelokin, Big Roomin, 5xmiksi, PDCA – syklin ja tahtituotannon sekä JIT ja yhteistoiminnalliset urakkamuodot tunnettuutta. Näin saatiin pohjatietoa siitä, millaista työkalujen käyttöön liittyvää koulutusta tarvitaan, jotta tahtituotantoa pystytään ottamaan käyttöön. Last Plannerin ja jatkuvan parantamisen työkaluja käyttämällä tahtituotannosta saadaan paras hyöty, kun käyttämällä visuaalisia työkaluja nähdään nopeasti mikä tilanne työmaalla on sekä juurisyyanalyysejä käyttämällä selvittämään häiriöiden ja esteiden takana olevat syyt ja kuinka näihin päästään vaikuttamaan.

Kyselyssä lisäksi etsittiin vastausten kautta yleisimpiä kalliorakentamisen tuotannon häiriötekijöitä ja keinoja on näiden välttämiseen. Kyselyyn osallistui 50 kutsutusta vastaajasta 23 henkeä, jolloin vastausprosentti oli 46 prosenttia kyselykutsun saaneista. Alla kuvassa 23 vastaajien kokemusvuodet kalliorakentamisesta sekä työtehtävä, jossa vastaajat toimivat projektiorganisaatiossa.

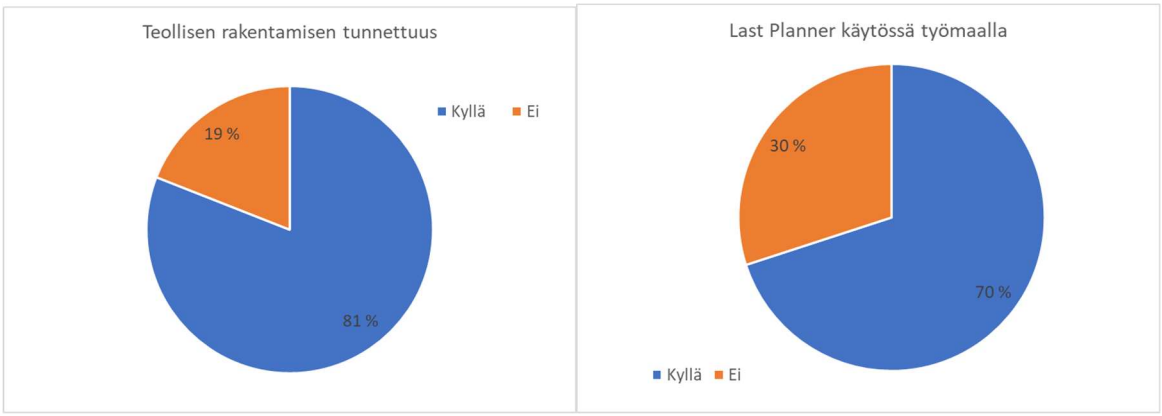


Kuva 23 Vastaajien kokemusvuodet (kysymys 1) ja työtehtävät kalliorakentamisen projekteissa (kysymys 2)

Vastaajista 78 prosenttia työskentelee työmaalla ja joko suunnittelee tai toteuttaa työmaan aikatauluohjausta, näin ollen vastaukset heijastavat hyvin työmaan aikataulusuunnittelun ja -ohjauksen nykytilaa ja kehityskohteita. Vastaajilla oli hyvä kokemus kalliorakentamisesta ja työmaista, sillä yli 80 prosenttia oli työskennellyt kalliorakentamisen parissa yli 11 vuotta.

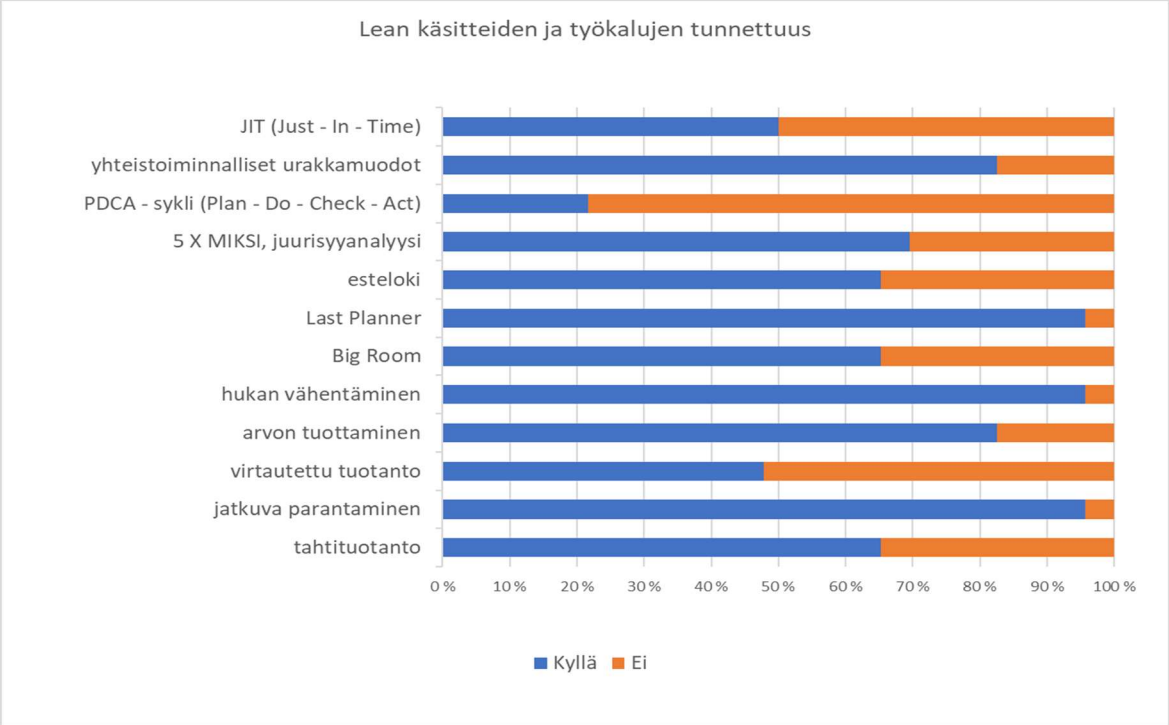
4.1 Lean rakentamisen ja työkalujen tuntemus

Teollisen rakentamisen käsite oli tuttu yhteensä 81 prosentille vastaajista katso kuva 24 alla. Last Planner oli ollut käytössä 70 prosentilla vastaajien työmaista.



Kuva 24 Teollisen rakentamisen tunnettuus (kysymys 3) ja Last Plannerin käyttö työmailla (kysymys 5).

Lean käsitteistä tutuimpia olivat vastaajille jatkuvan parantamisen, arvontuottamisen ja hukan vähentämisen käsitteet. Työkaluista tutuimpia olivat taas Last Planner ja yhteistoiminnalliset urakkamuodot (kuva 25).



Kuva 25 Kysymys 4: Lean käsitteiden ja työkalujen tunnettuus kalliorakennusyksikössä

Vastausten perusteella todettiin, että ainakin teollinen rakentaminen käsitteenä ja Last Planner – työkalu on suurimmalle osalle yksikön henkilöstöstä tuttu. Last Plannerin tunnettuus johtunee siitä, että se on ollut käytössä monella työmaalla. Siksi Last Planner aikataulutuksen käytön vakioiminen on mahdollista ilman erillistä kouluttamista.

Tahtituotanto ja virtautettu tuotanto - käsite sekä jatkuvan parantamisen työkalut, kuten PDCA – sykli, eivät olleet vastaajille aivan yhtä tuttuja.

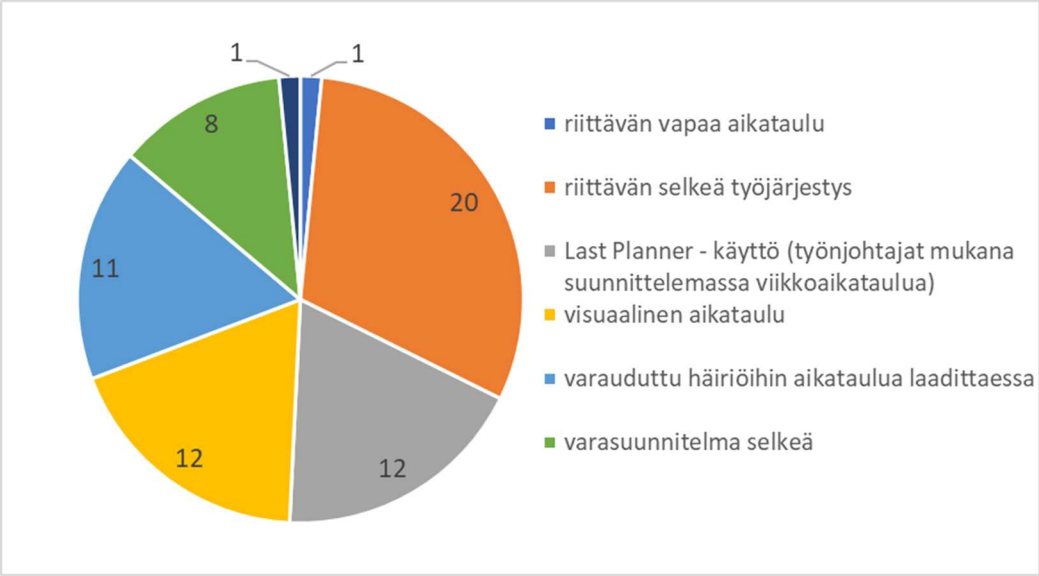
Näin ollen tahtituotannon käyttöönottamiseksi tulee jatkossa pitää joko infoja tai koulutusta myös yleisemmin Lean rakentamisen käsitteistä ja filosofiasta. Näin ymmärrys, miksi työtä pilkotaan pienemmiksi kokonaisuuksiksi ja yleensä louhinnan jälkeen tehtäviä töitä tehdään louhinnan etenemisen kanssa samaan aikaan, lisääntyy. Tietoisuuden lisääntymisen myötä mahdollinen muutoksen aiheuttama vastustus vähenee.

Jotta tahtituotannosta ja Last Plannerista saadaan paras hyöty, on jatkuva parantaminen hyvä keino ymmärtää ja torjua esteiden ja häiriöiden takana olevaa syytä ja puuttua oikeisiin asioihin. Jatkuvan parantamisen työkaluja ei tällä hetkellä ole työmailla yleisesti käytössä, joten näitä työkaluja käyttäville henkilöille on järjestettävä myös mahdollisuus nähdä, miten näitä työkaluja käytetään ja näistä saatava hyöty. Tähän on olemassa monia erilaisia

simulaatioharjoituksia, jotka tekemisen kautta opettavat osallistujille käytännön soveltamisen taitoja ja tahtituotannon hyötyjä.

4.2 Aikataulussa pysymiseen vaikuttaminen ja tuotannon häiriöt

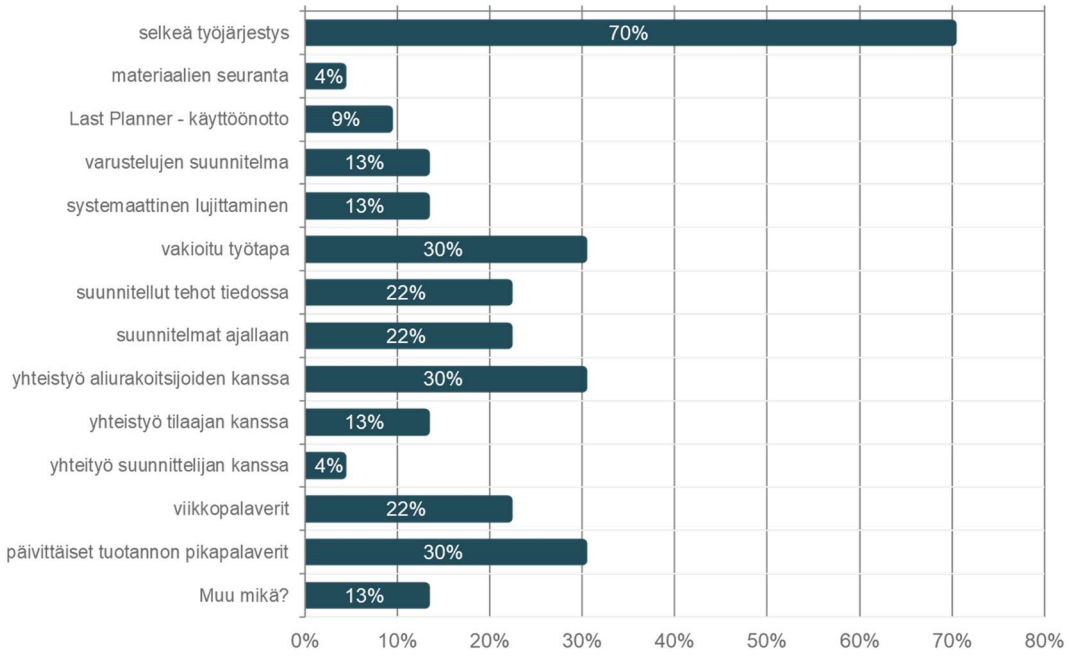
Kyselyssä selvitettiin myös asiat, jotka nähdään tärkeimpinä aikataulussa pysymiseen vaikuttavina asioina sekä mitä asioita täytyisi kehittää, jotta aikataulussa pysyttäisiin. Kysymyksessä 6 selvitettiin viikkoaikataulussa pysymiseen liittyen, mitkä asiat viikkoaikataulussa ja sen suunnittelussa ovat tärkeimpiä. Kyselyn 23 vastaajasta 20 koki tärkeäksi asiaksi riittävän selkeän työjärjestyksen, jotta viikkoaikatauluissa pysytään, kuva 26. Selkeä työjärjestys auttaa hahmottamaan työmaan töiden tärkeysjärjestyksen ja lisäksi helpottaa yhteistyötä aliurakoitsijoiden ja muiden sidosryhmien välillä. Myös Last Plannerin ja visuaalisen aikataulun käytön koki tärkeäksi 12 henkilöä. Molemmat mainitut asiat ovat myös keinoja, jotka auttavat omalta osaltaan hahmottamaan töiden työjärjestystä. Kyselyn vastaukset viittaavat siihen, että yhteensovittamista halutaan hyödynnettäväksi työmaan aikataulun hallintaan ja vapaata aikataulua ei haluta käyttää.



Kuva 26 Kysymys 6: 1-3 asiaa, jotka vaikuttavat viikkoaikataulussa pysymiseen?

Kysymyksellä 8 selvitettiin yhteistoimintaan ja aikataulusuunnitteluun liittyviä asioita, jotka auttaisivat pysymään aikataulussa, kuva 27. Vastauksissa tärkeimmäksi asiaksi nousi myös tässä selkeä työjärjestys. Lisäksi vakioitu työtapa, yhteistyö aliurakoitsijoiden kanssa ja

päivittäiset tuotannon pikapalaverit nousivat asioiksi, joilla kyselyyn vastanneiden mielestä on eniten vaikutusta aikataulussa pysymiseen. Vakioitu työtapa on yksi tahtituotannon tärkeimmistä asioista, jolloin myös työvaiheen työtavan, materiaalien ja laadun kehittäminen onnistuu.



Kuva 27 Kysymys 8: Mitkä ovat 3 tärkeintä asiaa, jotka auttaisivat pysymään aikataulussa? Vastauksia 68 kpl.

Kyselyssä selvitettiin lisäksi syitä aikataulun ongelmiin ja viivästyksiin. Kysymyksessä 7 pyydettiin valitsemaan 3-7 asiaa, jotka aiheuttavat vastaajien mielestä eniten ongelmia aikatauluun, tulokset kuvassa 28. Näin joukosta saatiin erottautumaan todennäköisimmät aikatauluun negatiivisesti vaikuttavat syyt. Todennäköisimmin viivästyksiä aiheuttavaksi syyksi nousi yllättävät konerikot, jonka 15 vastaajaa 23 valitsi, sekä ennakoimattomat lujitustyöt 12 vastaajaa. Myös väärä työjärjestys sekä louheen ajon tehot vaikuttivat vastausten perusteella aikatauluun, tämän valitsi 10 vastaajaa.

Kuva 28 Kysymys 7: Asiat, jotka aiheuttavat eniten ongelmia aikatauluun. Valittu 3-7 vaikuttavinta..

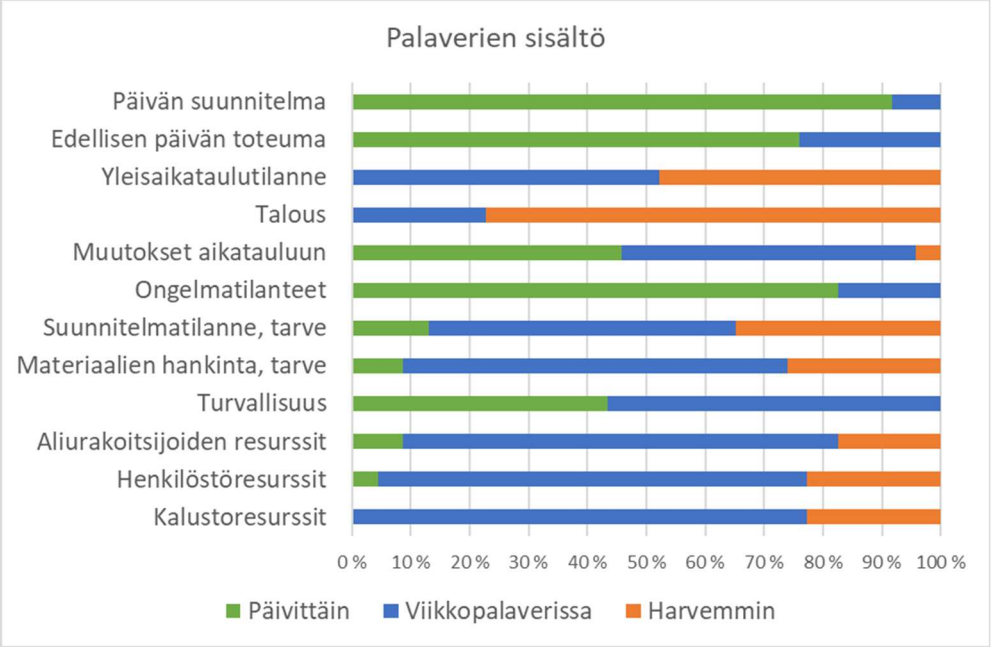
Kommunikaatio ja tiimityö ovat tärkeimpiä Lean periaatteista. Näiden parantaminen aliurakoitsijoiden sekä oman henkilöstön kanssa helpottavat työjärjestyksessä pysymisessä ja tähän tuotannon pikapalaverit säännöllisesti auttavat, varsinkin jos näihin pystytään sitouttamaan kaikki työmaalla työskentelevät. Myös visuaalisen ohjauksen käyttäminen ja aikataulun tuominen selkeässä muodossa esille auttavat. Työtavan vakiointi on yksi tahtituotannon tavoitteista, joten tähän voidaan vaikuttaa ottamalla tuotantotapa käyttöön.

Koska kalliorakentaminen on konepainotteista, on koneiden ja kaluston kunnossapito erittäin tärkeää toiminnan sujuvuuden kannalta. Näin ollen isoimmat ongelmat työvaiheille ja aikatauluun aiheutuu koneiden yllättävistä rikkoutumisista, varsinkin jos varaosia ei ole työmaalla tai maahantuojalla. Kaluston kunnossapito ja huoltaminen on työmaalla tärkeää rikkoutumisten välttämiseksi ja viikoittaiseen kunnonseurantaan on kiinnitettävä huomiota. Säännöllisillä kalustotarkastuksilla voidaan havaita kuluminen ja öljyvuodot.

Ennakoimattomat lujitustyöt liittyvät melko pitkälti kallion rikkonaisuuteen ja työturvallisuuden vaatimaan lujittamiseen eikä näitä voida täysin välttää. Koska turvallisuuslujitusta vaativissa tapauksissa usein konsultoidaan tilaajan valvojaa tai suunnittelijaa ja odotetaan heidän vastauksiaan, voi aikataulu venyä, ellei työmaalla ole sovittu käytäntöjä tilanteen varalta. Mikäli työmaalla on selkeä toimintaohje turvallisuuslujituksia varten, voidaan välttää turhaa odottamista.

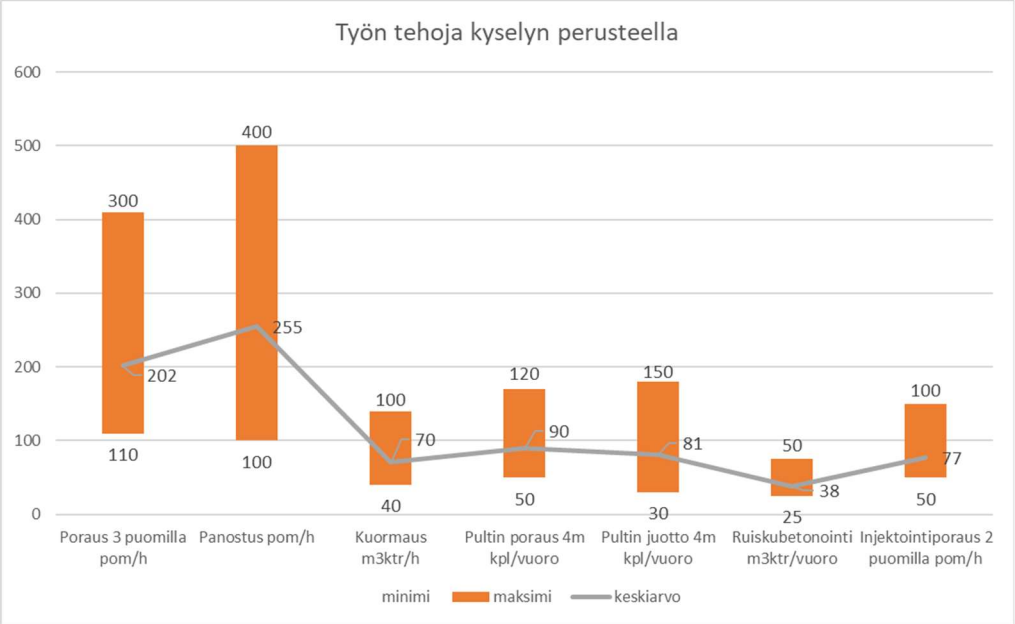
Väärä työjärjestys aiheuttaa ongelmia töiden yhteensovittamisessa ja saattaa sotkea aikataulua useamman vuoron osalta. Päivittäisistä tuotannon pikapalavereista tahtituotannon ohjauksen ja kommunikaation lisäämisestä on hyötyä väärän työjärjestyksen välttämisessä. Myös visuaalisen ohjaamisen lisääminen ja selkeät kohteiden priorisoinnit auttavat tähän.

Kyselyssä haluttiin selvittää myös tarvittavien tietojen käsittelyä kokoussisällön kautta. Kysymyksessä 9 kysyttiin asioita, joita halutaan käsiteltävän viikkopalaverissa tai päivittäin työmaalla, vastaukset kuvassa 29. Tärkeimmiksi päivittäin käsiteltäväksi asiaksi nousi päivän suunnitelman läpikäynti sekä ongelmatilanteiden käsittely ja edellisen päivän toteuma. Myös aikataulun muutosten ja turvallisuuden käsittelyä haluttaisiin päivittäin. Monia näistä asioista kyllä käsitellään työmaalla muun työn ohessa, mutta käytäntöä päivittäisestä läpikäynnistä ei ole.



Kuva 29 Kysymys 9: Asioita, joita haluttaisiin käsiteltävän työmaalla päivittäin tai viikkopalavereissa.

Kyselyssä lisäksi kysyttiin louhinnan ja lujituksen työvaiheiden suunnittelutehoja ja näihin saatiin jonkin verran vastauksia, kuva 30. Vastausten suuri haarukka kertoo paljon erilaisten koneiden, työryhmien sekä kallio-olosuhteiden vaikutuksesta työn tehokkuuteen.



Kuva 30 Työnsuunnittelussa käytettäviä tehoja kyselyn mukaan (Kysymys 10).

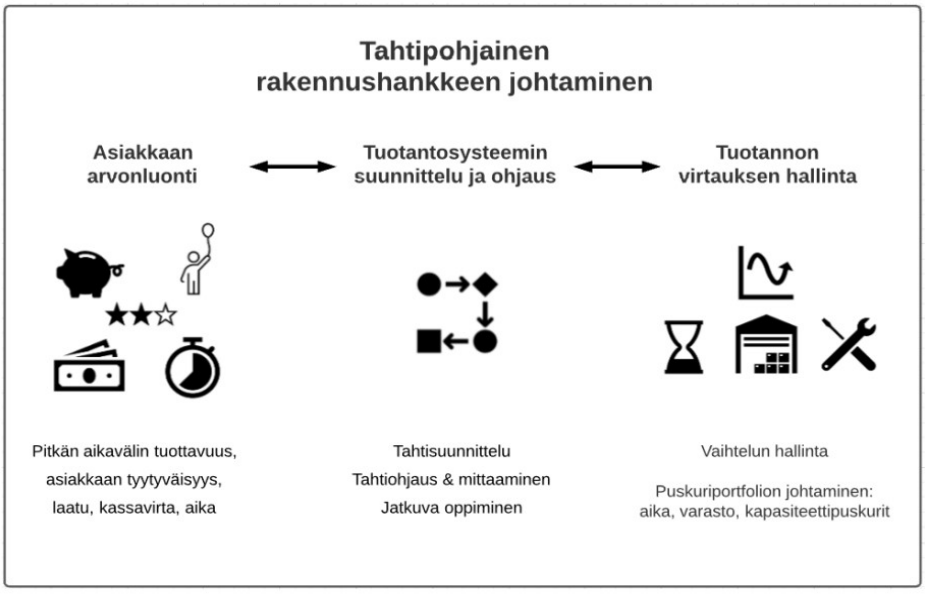
Kyselyssä saatuja tehoja ei tällaisenaan pysty hyödyntämään, vaan näiden takana olevia syitä on tarpeen selvittää tarkemmin. Varsinkin porauksen ja panostuksen tehoissa on suurimmat hajonnat, joten seuranta toteutuneista tehoista ja kalliolaadun vaikutuksesta olisi hyvä tutkimusaihe. Myös tahtituotannon käyttöönotto ja tarkempi seuranta tämän kautta voi auttaa tehojen ja näiden takana olevien häiriöiden ja vaihtelun selvittämisessä.

Kysymyksessä 11 pyydettiin vastaajia kertomaan mitä muuta he haluavat huomioitavan aikataulua suunniteltaessa ja ohjattaessa. Vastauksista esiin nousi yhteisten käytäntöjen sopiminen, vakiosaavutustavoitteista sopiminen ja näiden seuranta. Visuaalisuuden lisääminen tavoitteen ja toteuman sekä aikataulusuunnitelman osalta oli myös useammassa vastauksessa. Aikatauluun vaikuttavana tekijänä myös työntekijöiden henkilökohtaisten vahvuuksien ja heikkouksien tunnistaminen ja hyödyntäminen nousi esiin. Päivittäinen tuotannonsuunnitelman läpikäynti myös erityisenä nostona.

5 Kalliorakentamisen tahtituotannon ohjauksen toimintamalli

Toimintamallia on kehitetty tarpeesta tahtituotannon käyttöönottamiseksi tarvittavien yhteisten toimintatapojen varmistamiseksi niin, että tahtituotanto hyödyttää työmaita ja helpottaa niiden ohjausta. Toimintamalli on rakennettu yksikön henkilöstölle tehdyn kyselyn sekä diplomityön projektiryhmän ja kokeilu työmaan työmaapäällikön kanssa yhteistyössä. Toimintamallia varten on tutustuttu Leanin johtamisjärjestelmän osioihin ja Building 2030 sekä RAIN2 – hankkeen tuloksiin, joista nähdään olevan hyötyä tahtituotannon käyttöönottamiseksi sekä Lean asiantuntijoiden kokemuksiin päivittäisjohtamisen käytännöistä Lean yrityksistä.

Alla oleva kuva 31 havainnollistaa tahtituotannon roolia myös asiakasnäkökulman kannalta, tehokas tuotantosysteemin suunnittelu ja ohjaus auttaa luomaan sillan asiakkaan arvonluonnin sekä tuotannon virtaustehokkuuden välille. Tämä tarkoittaa sitä, että tahtituotannon parametrejä (esim. tahtiaika, tahtialueet, tahtivaunut) määritettäessä tulisi löytää tasapaino luotavan arvon ja virtaustehokkuuden välille. Kovin pienen eräkoon suosiminen edesauttaa virtausta, mutta samalla vaatii tarkempaa tuotannonohjausta ja myös enemmän resursseja, joten on hyvin tilannekohtaista millainen eräkoko tuottaa parhaimman arvon asiakkaalle.



Kuva 31 Tahtipohjainen rakennushankkeen johtaminen (Peltokorpi et al 2022 s.15)

Näin ollen tahtituotannon suunnittelu ja ohjaaminen on olennaisessa osassa asiakasarvon luomisessa. Tämän työn osalta keskitytään päivittäisjohtamisen ja viikkoaikataulun suunnitteluun, koska käytettävä tahtituotannon malli on kehitetty tämän työn ulkopuolella.

5.1 Tuotannon suunnittelun lähtötiedot

Optimaalinen tuotannonsuunnittelu pohjautuu tietoon toimitusketjun tilasta, kapasiteetista sekä materiaalien virrasta. Rakentamisessa myös ympäristö olosuhteet, kalliolaatu ja tilarajoitukset ohjaavat toimintaa. Kyselyssä esille tulleet työnsuunnittelun tehojen suuri vaihteluväli sekä toive selkeästä aikatauluttamisesta kertoo paljon siitä, että yhteisille suunnittelun perusteille ja päivittäisjohtamisen korostamiselle on tarvetta.

Kalliorakentamisen toimitusketjuun kuuluu olennaisesti louheen ajon ja lujittamisen aliurakoitsijoita, kalustonhuollon ja -varaosien toimittajia, työntekemiseen liittyvien materiaalien mm. räjähteiden, porakaluston, pulttien ja sementtien sekä ruiskubetonoinnin materiaalitoimittajia. Toimitusketjun hallintaa ei ole otettu mukaan tähän toimintamalliin ja sitä on käsitelty vain päivittäisjohtamiseen liittyvien asioiden osalta.

Monet työvaiheista tehdään henkilöohjatuilla osin automaatiota hyödyntävillä työkoneilla, mutta edelleen on paljon käsityönä tehtävää työtä varsinkin kallionlujittamisessa. Koska tavallisesti kallionlujittaminen on jätetty siihen, että suurin osa tunneleista on louhittu, kasaantuu käsityönä tehtävät työt, joka voi vaikuttaa tehoihin, koska raskas nostelu ja ylöspäin kurottelu vaatii työryhmältä hyvää fyysistä kuntoa. Tahtituotannossa pyritään keskeneräisen työn määrää vähentämään ja tasaamaan, jolloin raskas käsityönä tehtävä työ myös jakautuu.

Jotta pystytään suunnittelemaan työtä, on tuotannon suunnittelun lähtötietojen oltava yhdenmukaisia, kuten myös mahdollisten häiriöiden huomioiminen ja varasuunnittelu. Näiden säännönmukaisuuksien tunnistaminen ja poikkeamissäännöt alkuperäisen suunnitelman muuttamiseksi on oltava riittävän selkeitä työmaalla, jotta tahtituotannon käyttäminen on tehokasta. Koska kapasiteetti on tällä hetkellä tuntematon tieto eikä tätä säännönmukaisesti seurata, on tämän osalta lisättävä seurantaa niin, että pystytään skaalaamaan työtä myös tahtituotantoon paremmin.

Tuotannon pullonkaulojen ja hukan tunnistaminen sekä tarpeettomien pysähdyksien välttäminen on tärkeää tuotannon virtauksen varmistamiseksi. Yksi tapa selvittää pysähdyksiä ja esteitä tuotannossa on kerätä tuotannon ongelmat yhteen ja ratkaista näitä niin, että näistä saadaan kerättyä tietoa. Ongelmien ja pysähdysten aiheuttajia löydettiin kyselyn kautta ja vastauksista löytyi kommunikaation ja tiedon kulun ongelma sekä kalustoon liittyviä ongelmia, joita työmailla on kehitettävä. Tähän voidaan hyödyntää päivittäispalaverien pitoa sekä jatkuvan parantamisen työkaluja.

Tuotannon puskureita ovat varasto, aika ja kapasiteetti. Työmaalla yksittäiset tuotannon puskurit poistetaan ja lisätään puskuri yhteisesti käytettäväksi työn loppuun. Rakentamisessa varasto puskurina voi olla keskeneräinen tila työvaiheiden välillä ns. tilapuskuri. Tilapuskuria joudutaan louhinnassa käyttämään louhinnan ja lopullisten lujitusten välissä sekä lopullisten pohjatöiden osalta. Myös rakennusteknisten töiden tekeminen louhinnan aikana vaatii yhteensovittamista, joten riippuen kohteesta voidaan töitä suunnitella louhinnan aikana tehtäväksi. Kalliorakentamisessa materiaalipuskurilla (varasto) varaudutaan esimerkiksi työnaikaisiin tiivistyksiin ja lujituksiin sekä konerikkojen tapauksiin. Lujitusmateriaaleja pidetään työmaalla kalliolaadun aiheuttaman turvallisuuslujitusten tekemiseksi. Kaluston osalta pidetään työmaalla yleisimpien kuluvien osien varaosia, jolloin korjaus voidaan tehdä ilman viivästyksiä varaosan odottelulle.

Varastopuskurina voidaan kalliorakentamisessa pitää myös louheen välivarastoa. Louheen välivarasto on myös osaltaan kapasiteetti puskuri, koska tätä käytetään yleensä, mikäli louheen kuljetuskalustosta on pulaa. Louheen kuljetuksesta voi tulla työmaalle pullonkaula. Louheen välivarastoa on harkittava vain, mikäli muita vaihtoehtoja ei ole tasoittaa ja lisätä kuljetuskapasiteettia, koska louhe on joka tapauksessa kuljetettava jossakin vaiheessa pois ja aiheuttaa lisäkustannuksia kuormauksen osalta.

Aikapuskuria käytetään varsinkin urakan yleisaikataulussa, kun määritellään aikataulua yksikköhintaisten työvaiheiden osalta. Aikatauluun varataan tietty määrä työnaikaisille lujituksille ja tälle määritetään tarvittava aikamäärä, vaikka kaikki työt eivät toteutuisikaan. Myös tietty aikataulun riskivaraus on aikapuskureiden käyttöä. Varsinkin pultituksen ja injektoinnin työmäärät selviävät vasta töiden tekemisen myötä sekä tärinöiden vaikutus katkopituuteen selviää varmasti vasta louhinnan lähestyessä tärinäherkkiä kohteita. Mikäli määrät muuttuvat on mahdollista keskustella myös lisäajasta sopimuksen puitteissa. Myös

viikonloppujen hyödyntäminen varsinkin lujitustöissä on yksi aikapuskurin hyödyntämisen tavoista. Aikapuskurista pyritään mahdollisimman paljon eroon tahtituotannossa.

Kalliorakentamisessa koneiden kapasiteetti lasketaan urakan läpi keskiarvona eikä koneita yleensä urakan aikana lisätä, ellei ole aivan pakottavaa tarvetta. Henkilöresursseja voidaan helpommin muuttaa, mutta resurssien lisääminen ei välttämättä auta yksistään. Resurssien lisäämistä harkitaan, mikäli työmaa alkaa jäädä jälkeen alkuperäisestä aikataulusta eikä viikonloppujen hyödyntäminen auta. Ennen resurssien lisäämistä olisi hyvä tutkia työmaan ongelmatilanteita ja viivästyksen syitä aiemmin ja hyödyntää esteiden syiden poistamisessa jatkuvan parantamisen työkaluja.

Tuotannon puskureiden määrittäminen tehdään tahtituotannossa työpakettien kautta, jolloin tuotannon edellytysten varmistaminen ja ohjaus ovat työmaan vastuulla. Viikkoaikataulun suunnittelu ja – ohjaus tehdään myös työpakettien kautta. Työpaketilla saadaan myös kerättyä tieto suorituksesta ja suorituskyvykkyyksistä sekä näihin vaikuttavista häiriöistä ja ongelmista ja näin vakioida toimenpiteet käytettäväksi yli projektirajojen.

5.1.1 Tahtituotannon suunnittelussa käytettyjä periaatteita ja puskurit

Kalliorakentamisessa on sovittu tahtituotannon tahtina käytettävän viikon tahtiaikaa, jolloin tahtiaika. Tahtialueina käytetään tunnustelu- tai injektointiporausväliä, joka yleisimmin on 20 metriä, mutta voi olla kaarteissa lyhyempikin.

Tahtituotannon aloittava työvaihe on ennakkolujittaminen, mikäli näitä on suunniteltu. Tahtialueen työt alkavat tunnustelu- tai injektointiporauksesta ja injektoinnista. Tähän menee noin 1 – 3 päivää riippuen työkohteesta ja injektoitavien reikien määrästä.

Työkohteesta riippuen louhintaa tulee noin 1 – 3 viikkoa yhtä tahtialuetta kohden. Louhinnan pituus riippuu louhittavan poikkileikkauksen koosta sekä tärinöiden sallimista katkon pituuksista. Viikkoa kohden louhintaa tulee noin 4 katkoa yhden peränlouhinnassa ja 3 – 4 katkoa useamman perän louhinnassa toki riippuen louhittavan tilan koosta ja sijainnista.

Lujituksien tekeminen heti louhinnan perässä ei onnistu aiemmin kerrottujen tärinärajoitusten ja louhinnan kivien sinkoutumisen vuoksi. Näin ollen on lujituksien tekemiselle jätettävä noin 2 – 3 tahtialueen verran tilapuskuria, jotta tehtävät lujituksen eivät vaurioidu.

Pohjatöiden tekeminen ajoitetaan kohteesta riippuen joko lujituksien jälkeen tai myöhemmin tehtäväksi. Tätä ei ole vielä suunniteltu lopulliseen muotoon, mutta tavoitteena on löytää sopiva tilapuskuri tähänkin työhön.6

5.2 Tuotannon viikkosuunnittelu ja -ohjaus

Tahtituotannon suunnittelu, jossa määritellään työmaan tahtialueet ja työjonot sekä tahtialueiden järjestys on karkeaa tuotannon suunnittelua ja tehdään työmaan alussa yleisaikataulun ja rakentamisaikataulun perusteella ilman puskureita tai riskivarauksia. Nämä sijoitetaan aikataulun perään, jotta tiedostetaan, kuinka paljon puskuria on käytettävissä tarvittaessa. Taulukossa 3, on kerrottu suunnittelun tasot ja vastuuhenkilöt sekä päätehtävät ja toimenpiteet tahtituotannon onnistumisessa.

Taulukko 3 Aikataulusuunnittelun tasot

Aikatauluvaihe	Päätehtävä	Seuranta	Toimenpiteet	Vastuuhenkilö
Yleisaikataulu sopimusaikataulu	• Sopimuksen mukaisen aikataulun esittäminen • Merkittävimmät työvaiheet ja työjärjestys	Työmaakokouksissa 1krt/kk	• Lisäajoista sopiminen lisä- ja muutostöiden tai olosuhteiden muutosten vuoksi	työpäällikkö
Tahtituotannon aikataulu	• Rakentamisvaiheen aikataulu • Työvaiheet ja työjärjestys • Puskurit ja riskit kaikkien työvaiheiden perässä • Päivitetään tarvittaessa ja päätetään puskureiden käytöstä	Viikkopalaverit	• Henkilö- ja kalustoresurssien muutokset • Tehon ja kapasiteetin muutokset • Logistiikan hyödyntäminen • Aliurakoiden hallinta • Materiaalien varmistaminen	vastaava työnjohtaja Osallistuu: työpäällikkö, työnjohtajat
Viikkoaikataulu	• Työkohteiden järjestys • Priorisointi • Puskureiden käyttö	Päivittäin, tuotannon pikapalaverit tarvittaessa	• Häiriöiden poisto • Työjärjestyksen muuttaminen	tuotantoinsinööri Osallistuu: vastaava tj., työnjohtajat
Vuoron tuotannonohjaus	• Työvaiheiden järjestys • Työkohteiden valmiuden varmistus • Toteuman kirjaaminen • Laadunvarmistus, -seuranta	Jatkuva oman vuoron töiden seuranta Vuoronvaihto	• Työkohteiden valmiuden varmistaminen • Laadunvarmistuksen toimenpiteet • Häiriöiden poisto, toimenpiteet	työnjohtaja Osallistuu: vastaava tj., tuotantoinsinööri
Työvaiheen kehittäminen, seuranta	• Kerätä työpaketin kehitysehdotukset • Tehotietojen seuranta		• Kehitysehdotukset • Poikkeamaraporttien toimenpiteiden kirjaus • Ongelmien ja häiriöiden välttäminen	työpaketin haltija Osallistuu: vastaava tj., tuotantoinsinööri

3-viikkoissuunnittelussa seurataan tahtituotannon toteutumista, aikataulussa pysymistä ja tarvittaessa käytetään olemassa olevaa puskuria aikataulun päivittämiseksi. Lisäksi aikataulutetaan ja tehdään työkohteiden priorisointia ja järjestyksen muokkausta tarvittaessa. Myös materiaalien hankintaa ja käytettävien resurssien sekä laadunvarmistuksen toteutumista

seurataan 3-viikkoissuunnitelman päivityksen yhteydessä. 3-viikkoissuunnittelu lähtee liikkeelle tahtituotannon aikataulusta ja sille jaksolle varatuista töistä.

Viikon työsuunnittelu tehdään tuotantoinsinöörin toimesta yhteistyössä työmaapäällikön kanssa. Tavoitteena on viikkotavoitteen varmistaminen ja tahdissa pysyminen. Viikkosuunnittelua tehdään mahdollisimman visuaalisesti, esimerkiksi Last Planneria hyödyntäen. Tuotannon suunnittelussa viikolle suunnitellut työpakettien työt järjestellään työkohteiden mukaan sekä tehdään töiden yhteensovittamista. Viikkosuunnitelmaa päivitetään tarvittaessa viikon aikana ja seurataan päivittäin. Viikkosuunnitelman toteuttaminen vaatii päivittäistä yhteensovittamista ja ongelmien ratkaisua. Ongelmien ilmaantuessa ensisijaisesti tavoitteena on esteen poistaminen ja töiden jatkaminen suunnitelman mukana, mutta tarvittaessa konerikkotapauksessa voidaan hyödyntää varakohdetta tai siirtyä seuraavaan työkohteeseen. Vuoron tuotannonohjauksessa tavoitteena on noudattaa mahdollisimman tarkasti viikkosuunnitelmaa.

5.2.1 Päivittäisjohtaminen ja seuranta

Tahtituotannossa täytyy elää päivittäisjohtamisen maailmassa, koska tuotantojuna ei kestä yhdenkään päivän jäämistä aikataulusta. (RIL276-2021 s. 147)

Päivittäisjohtamista on työn ohjaaminen, virtauksen ja resurssien tekeminen näkyväksi, kuluvan päivän töiden suunnittelu. Sekä poikkeamien hallinta sekä standardityön toteuman visualisointi. Päivittäisjohtamista on myös asiakaslähtöinen mittaaminen, tavoitteen ja tuloksen eroihin reagointi, uusien asioiden kokeileminen ja oppiminen sekä kehittämiskyvykkyyksien kasvattaminen ja valmennus. (Jokiniemi 2022)

Päivittäisjohtamisen työt jakaantuvat työmailla jotakuinkin seuraavasti. Työnjohtajien työ on pitkälti päivittäisen työn ohjaamista, työn virtauksen ja resurssien näkyville tuontia. Lisäksi työaikaa kuluu päivän suunnitteluun ja poikkeamien hallintaan. Näin ollen työmaan vastaavalle työnjohtajalle tai työmaapäällikölle jää päivittäisjohtamisen kehittämisen osuus, jossa mitataan tulosta asiakaslähtöisesti, reagoidaan tavoitteen ja tuloksen eroihin sekä valmentavalla otteella tukea ongelmien ratkaisua ja oppimista.

Työpäällikkö taas toimii tässä kuviossa työmaapäällikön ”valmentajana” auttaen häntä työmaan ongelmien ratkaisussa ja tukemalla onnistumisessa.

Tehdyssä kyselytutkimuksessa selvitettiin, mitä asioita työmaahenkilöstön mielestä olisi käytävä läpi päivittäin, viikkopalavereissa tai harvemmin. Työmaalla päivittäin käsiteltäväksi haluttiin päivän suunnitelman, edellisen päivän toteuman sekä ongelmatilanteiden ja aikataulumuutosten käsittely sekä turvallisuusasioiden läpikäynti. Päivittäistä tuotannonohjausta tehdään työnjohtajien toimesta ja tuotannon pikapalaverilla voidaan tukea työnjohtajan työn onnistumista. Kun työnjohtajalla on selkeä kuva päivän töistä sekä mahdollinen varautumissuunnitelma ongelmien varalta, pystyy hän keskittymään töiden järjestelyyn eikä hänen tarvitse erikseen suunnitella päivän kulkua. Päivittäisjohtamisen palaveria voisi kokeilla myös työmailla, joissa tahtituotantoa ei ole tarkoitus ottaa käyttöön ja näin lisätä tiedonkulkua.

Päivittäispalavereja varten on hyvä pitää yllä tilannekuvaa työmaan tilanteesta esimerkiksi huonetaulujen avulla tai päivittyvän pohjapiirroksen kautta. Alla kuvassa 32 yksi ehdotus tilannetaulun sisällöstä. Tämä voidaan luoda esimerkiksi isolle valkotaululle, johon voidaan tuoda toteumatietoa tai kuvia sekä kirjoittaa tekstiä, joka kertoo tilanteesta.

Kuva 32 Päivittäisjohtamisen tilannekuva esimerkki

Tahtituotannon viikkosaavutuksen toteutumista seurataan esimerkiksi värikartalta, johon merkitään päivittäin tehdyt työt ja louhinnan eteneminen. Lisäksi tilannekuvan avulla

seurataan laatuaineiston ja laadunvarmistuksen toteutumista. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi tussitaulua. johon kirjataan jokaisen työkohteen tilanne ja tarvittavat tiedot tuotannon toteuttamiseksi.

Esteistä ja ongelmista voidaan pitää erillistä listaa, jolloin ongelmat eivät hautaudu työpäiväkirjan sivuille vaan tuodaan näkyväksi tilannetaululle. Näiden ongelmien syitä ja ehdotuksia niiden korjaamiseksi voidaan myös kerätä suoraan taulukkoon ja näille voidaan määrittää korjausajankohta sekä kuitata korjattu kohta, jotta nähdään, mitä on kokeiltu parantaa ja mitä asioita vielä on listalla hoidettavana.

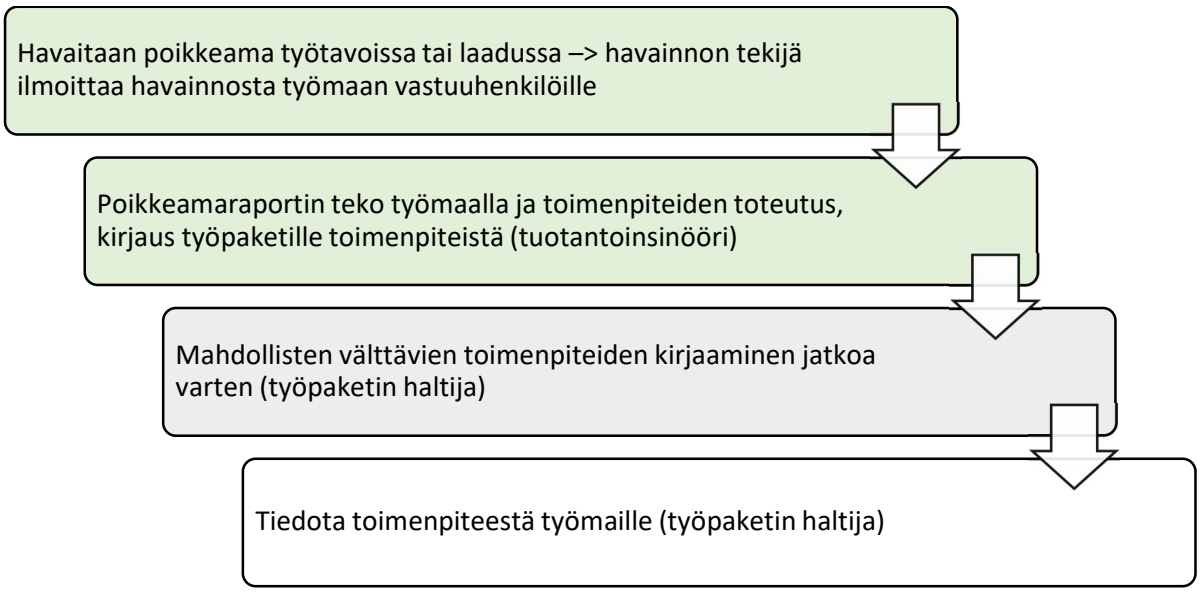
5.2.2 Tahtituotannon ohjaus työpakettien kautta

Työpaketit sisältävät suoritettavien töiden tai työvaiheiden lisäksi käytettävien materiaalien sekä kaluston ja resurssien tarpeen. Työpaketti sisältää kaikki työvaiheen suorittamista varten tarvittavat tiedot ja näin auttaa vakioimaan tehtävien töiden sisältöä itse työkohteiden erilaisuudesta huolimatta. Jatkuvan parantamisen työkaluja ja käytäntöjä hyödynnetään työpakettien sisällön kehittämisessä ja oppien jalkauttamisessa käytäntöön.

Työpakettien sisällöllä haetaan vakiointia työtapoihin, työjärjestykseen, materiaalien käyttöön sekä kone- ja henkilöresurssien käyttöön ja näin pyritään vaikuttamaan työmaan työn virtaukseen ja hyödyntämään opittuja hyviä käytäntöjä ja välttämään virheitä. Kaikki uudet hyvät käytännöt ja poikkeamista ja viivästyksistä löydetyt opit viedään työpaketeille työpaketin haltijan toimesta. Näin seuraavalla työmaalla pystytään kehittämään toimintaa ja tarvittaessa löydetään uusia hyviä käytäntöjä ja oppeja.

Jotta kaikki laatupoikkeamat tai työtapojen poikkeamat saataisiin vietyä työpaketeille, on työmaiden kirjattava poikkeamien ratkaisut ja syyt työpaketille, josta työpaketin haltija pystyy tarvittaessa kehittämään jatkoa varten toimintaa niin, että kyseinen laatuvirhe tai toiminta pystytään välttämään tulevilla työmailla tai kyseisellä työmaalla. Taulukossa 4 on yksinkertaistettu toimintaohje työmaille poikkeamien käsittelyyn työpaketin näkökulmasta. Lisäksi toimittava yrityksen laatujärjestelmän mukaisesti itse poikkeaman käsittelyssä.

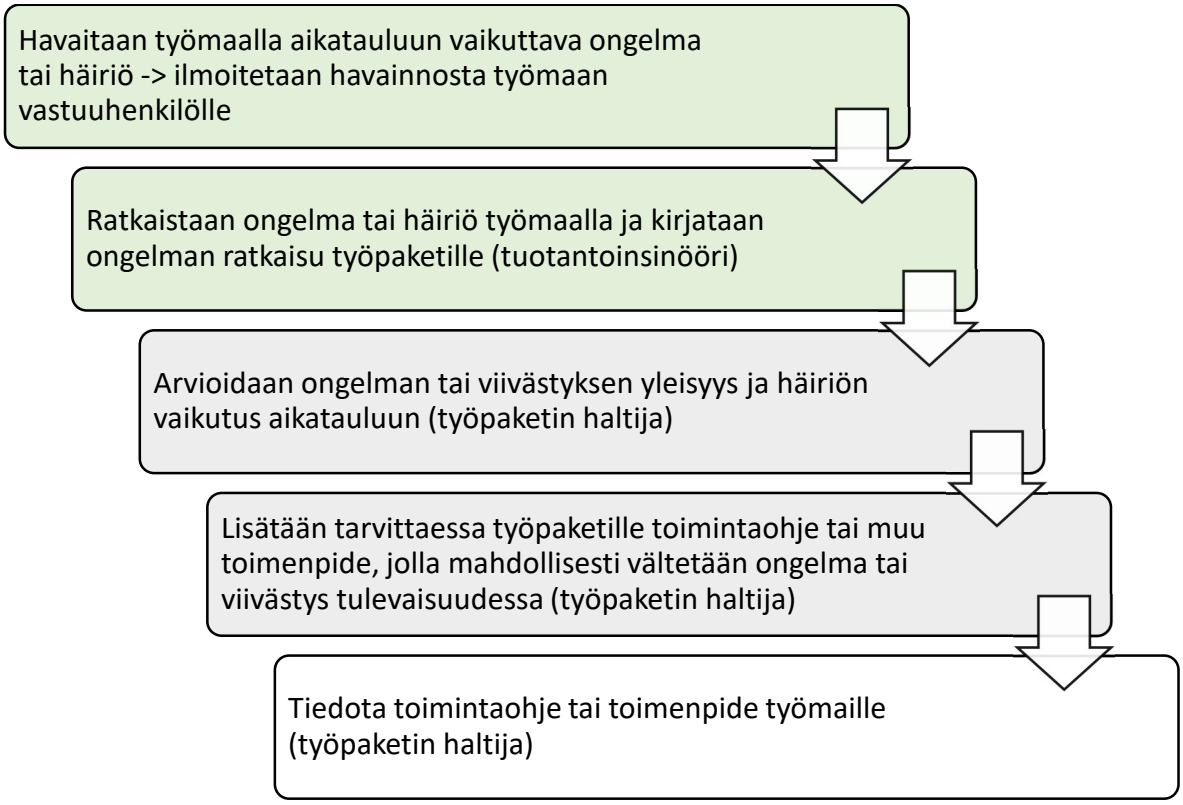
Taulukko 4 Poikkeaman käsittely työpaketin kautta



Kun työmaalla havaitaan työtapoihin tai laatuun liittyvä poikkeama, havainnosta ilmoitetaan työmaan työnjohtajalle tai muulle työmaan vastuuhenkilölle. Tämän jälkeen toimitaan yrityksen oman toimintajärjestelmän mukaisesti poikkeaman käsittelyssä ja poikkeamasta kirjataan työpaketille havainto sekä sovittu ratkaisuehdotus. Tämän jälkeen työpaketin haltija tarvittaessa kirjaa välttävän toimenpiteen tai toimintaohjeen työpaketille. Jotta toimenpiteet tulisivat käyttöön jatkossa työmailla, on työpaketille tehdyistä toimintaohjeista tiedotettava työmaita ja tarvittaessa autettava toimenpiteen käyttöönotossa.

Aikatauluun vaikuttavien ongelmien ja häiriöiden kohdalla toimitaan alla olevan taulukon 5 mukaan. Aikatauluongelma ratkaistaan työmaalla työmaan käytänteiden mukaisesti, jotta työmaan toiminta jatkuu mahdollisimman pian. Ongelmasta ja sen ratkaisusta tehdään kirjaus työpaketille. Työpaketin haltija arvioi ongelman yleisyyttä ja häiriön vaikutus aikatauluun ja tarvittaessa kirjaa toimenpiteen tai toimintaohjeen häiriön välttämiseksi tulevaisuudessa. Mahdollisista toimenpiteistä ja toimintaohjeista tiedotetaan työmaita tarvittaessa.

Taulukko 5 Aikatauluun vaikuttavien ongelmien ja viivästysten ratkaiseminen



Työmailla havaitut työtapojen kehittämiseen liittyvät kehittämisideat ja muihin työpaketteihin vaikuttavat kehitysideat kirjataan myös työpaketille kuten ongelmien kohdalle tai ilmoitetaan työpaketin haltijalle kehitysidean arviointia ja kirjaamista varten.

5.3 Tahtituotannon käyttöönottamisen aiheuttamat muutokset

Alkavat työmaat tullaan ottamaan osaksi tahtituotantoa. Tähän on yrityksellä olemassa koulutusta, jossa perehdytään tahtituotannon perusteisiin ja käytäntöön. Koulutusta käsitteisiin ja työkaluihin järjestetään työmaan toimihenkilöille tarpeen mukaan.

Tahtituotanto tulee muuttamaan nykyistä toimintaa siten, että lujitustöitä tehdään louhinnan etenemisen mukana, jolloin lujituksia tehdään pienemmissä erissä. Tämä vaatii työnjohdolta ja aliurakoitsijoilta suurempaa yhteistoimintaa ja vaatii varmasti alkuun paljon enemmän töiden järjestelyä kuin normaali tapa louhia ensin ja lujittaa vasta, kun louhinnat valmistumassa. Töiden yhteensovittamisessa voidaan hyödyntää päivittäisjohtamisen palavereja ja sitä, että seurataan tahdin toteutumista nykyistä säännöllisemmin.

Päivittäispalaverien pitäminen voi vaatia alkuun opettelemista ja uuden tavan omaksumista. Tällä lisätään kommunikaatiota työmaalla työskenteleville ja työnjohtajalle työn ohjaamisen helpotukseksi. Päivittäispalaverin pitäminen niin, että se sujuu nopeasti ja asiat tulevat käsitellyiksi vaatii harjoittelua. Tässä voidaan hyödyntää työmaan tilannekuva tauluja, johon kerätään tarvittavat tiedot edellisen päivän toteumasta, käynnissä olevista työvaiheista ja laadunvarmistuksesta. Työmaalla olisi hyvä olla tavoitteet selkeästi näkyvillä. Tahtituotannon aikataulu on hyvä mitattava tavoite, eli ollaanko tahtiajassa. Nykyinen tapa mitata louhittuja kuutioita ei ole täysin todenmukainen siihen nähden mitä kaikkea työmaalla päivän aikana tehdään.

Jatkuvan parantamisen käytäntöjen käyttöönottaminen tahtituotannon ongelmien ja häiriöiden ratkaisemiseksi on myös tarpeellinen. Häiriöiden havaitseminen ja ongelmien ratkaiseminen pitkäjänteisesti vaatii tiedonkulkua ja osallistamista myös työntekijöiltä. Avoimen ilmapiirin ja luottamuksen rakentaminen niin, että kaikki uskaltavat tuoda kehitettävät asiat esille suoraan, vaatii johtamiselta erilaista otetta. On opeteltava kysymään avoimia kysymyksiä ja kuuntelemaan mitkä asiat vaativat kehittämistä läpi organisaation. Jatkuvan parantamisen aloittamisessa voidaan hyödyntää kehittämisen-KATA – menetelmää.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Lean rakentamisen kuusi periaatetta ovat Suomen Lean Construction Instituten mukaan ”*optimoimalla* kokonaisuus, *ottamalla toisemme* paremmin *huomioon* ammattilaisina ja ihmisinä sekä jatkuvasti *parantamalla* vähennämme *hukkaa* ja parannamme *virtausta* – luoden asiakkaillemme *arvoa*.” (Lean Construction Institute Finland 2022)

Diplomityössä selvitettiin kalliorakentamisen yksikön Lean tuntemusta, työmaiden häiriöiden ja aikataulusuunnittelun sekä -ohjauksen nykytilaa ja kehittämistarpeita. Tehdyssä kyselyssä nousi esille aikataulusuunnittelun selkeyden ja tehtävien tärkeysjärjestyksen merkitys sekä visuaalisuuden ja kommunikaation lisäämisen tarve. Työmaiden ongelmista nousi esiin koneiden rikkoutumiset, ennakoimattomat lujitustyöt, väärä työjärjestys sekä louheen ajon tehot eniten vaikuttavina ongelmina. Aikataulua edesauttaviksi asioiksi nähtiin selkeä työjärjestys, vakioitu työtapa, päivittäisen tuotannon pikapalaverit sekä yhteistoiminta aliurakoitsijoiden kanssa. Kyselyssä kysyttiin myös tehotietoja, joilla töitä suunnitellaan ja voidaan sanoa, että työnsuunnittelun lähtötietojen skaala on suuri ja jokainen pohjaa tietonsa omaan kokemukseensa.

Kyselyyn saadut vastaukset ja ongelmat vastasivat melko pitkälti sitä, mitä aiemmin haastatteluilla ja kokemuksilla on oletettu. Näihin haasteisiin pystytään vastaamaan ainakin osittain tahtituotannon käyttöönottamisella, kun työtavat vakioidaan mahdollisimman pitkälle ja esitetään selkeästi työjärjestys. Tahtituotannossa tavoitteena on keskeneräisen työn vähentäminen ja tätä kautta nopeuttaa tuotantoa. Tuotantoa tasoitetaan mahdollisimman ennustettavaksi ja työtapojen vakioinnin kautta mahdollistetaan myös jatkuvan parantamisen vaikutusten arviointi. Tahtituotannon avulla myös kerätään toteumatietoa ja näin skaalaamaan työsuunnittelun lähtötiedot paremmin.

Tahtituotannon käyttöönottamisen laadun varmistamiseksi tulivat toimintamallin rakentamisen aikana esille mm. ruiskubetonoinnin ja pultituksen tärinärajoitukset sitoutumisvaiheessa sekä datan kerääminen sekä johtamisen muutostarpeet. Sementtipohjaisten lujitusten tärinärajoituksista ja tärinän vaikutuksesta olisi hyvä tehdä tutkimusta, jotta tiedettäisiin varmasti, kuinka lähellä louhintakohdetta työtä voitaisiin tehdä vielä niin, ettei laatu kärsi tärinöiden vuoksi. InfraRYL ohjeistaa varsinkin yli 8,5 metriä leveissä tunneleissa, ettei

lujittamatonta tunnelia olisi yli 40 metriä, tämä ei ota kuitenkaan kantaa siihen riittääkö lujitukseksi pelkkä pultitus vai pitäisikö myös ruiskubetonoinnin olla tehtynä.

Tahtituotanto on tuotantoa, joka on skaalattavissa erilaisiin tilanteisiin, mikäli tiedetään mitä tietyn työmäärän tekeminen vie aikaa. Jotta luotettavaa tietoa työmaan tehokkuuksista ja työvaiheiden ja koneiden kapasiteetista saadaan skaalausta varten, täytyy tiedonkeruuta työmaan tehokkuuksista ja mahdollisista ongelmista tehostaa.

Tahtituotannon käyttöönottaminen vaatii myös tahtikontrollin kautta suurempaa päivittäisjohtamisen ja työmaatilanteen hallintaa. Päivittäiset pikapalaverit ovat hyvä keino lisätä tiedonkulkua ja myös yhteistoimintaa aliurakoitsijoiden kanssa. Päivittäispalaveri on noin 10 – 15 minuutin läpikäynti edellisen päivän tehdyistä töistä, päivän tehtävistä, resursseista sekä turvallisuusasioiden ja laadun varmistamiseksi. Päivittäisjohtamisessa yksi elementti on se, että tiedetään mitä työmaalla tapahtuu ja mitkä ovat seuraavat työvaiheet. Mikäli työmaan tietoja pidetään vain kansioissa ja työpäiväkirjassa täytyy kaikki tiedot hakea erikseen niitä tarvittaessa. Tilannekuvan visuaalinen esittäminen ja tavoitteiden esiintuominen auttaa kaikkia työmaalla työskenteleviä ymmärtämään mitä tehdään, miten tehdään ja miksi tehdään. Visuaalisen johtamisen kautta voidaan työmaalla nähdä nopeasti päivän tilanne, ollaanko tavoitteissa ja mitä asioita on kehitettävä. Visuaalisen tilannekuva näkymän kehittäminen ja tavoitteiden näkyväksi tekeminen helpottaa myös työnjohtajien työtä. Tavoitteiden asettaminen ja niiden seuranta on koettava työmaata ohjaavaksi ja sen vuoksi tavoitteiden on oltava työmaakohtaisia.

Tahtituotanto tuo standardityön työntekijöiden ja suorittavan työn hyödyksi sekä samalla luo pohjan myös jatkuvalle parantamiselle. Työntekijä on paras oman työnsä kehittäjä ja ottamalla kaikki mukaan kehittämiseen saadaan paras kuva kokonaisuudesta. Juurisyiden analysointi ja ongelmanratkaisun kehittäminen tuo lisäarvoa työmaalle, kun ongelmat ratkaistaan mahdollisimman pitkäjänteisesti ja oppia jaetaan myös muiden työmaiden kesken. Standardityön määrittely myös toimihenkilöille helpottaisi sekä toimihenkilön omaa työn järjestämistä ja mahdollistaisi myös tietotyön kehittämisen. Standardityön määrittely on mahdollista kaikilla tasoilla sekä johtamisessa.

Monet hankkeet nykyään lähtevät liikkeelle yhteistoiminnallisina urakoina ja jotta osaisimme toimia tällaisissa hankkeissa, olisi kalliorakentamisessa hyvä harkita laajemmin Lean periaatteiden käyttöönottamista johtamisessa ja jatkuvan parantamisen systemaattista

toteuttamista. Johdon työmaakävelyt ovat jo yksi tapa jalkauttaa johto sinne missä työtä tehdään, mutta vuoropuhelun lisääminen työmailta johdon suuntaan voisi helpottaa ongelmien ratkaisua. Kommunikaation lisääminen sekä yhdessä tekemisen tunne lisää työtyytyväisyyttä ja oman työn arvostuksen tunnetta.

Lähteet

Aalto – yliopisto julkaisu 13.2.2019 https://www.aalto.fi/fi/uutiset/kun-rakentamisen-pulssi-on-vakaa-tulokset-yllattavat [viitattu 15.9.2022]

Ahonen A., Ali-Yrkkö J. et al Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:24 Valtioneuvoston kanslia, Helsinki 2020 s. 21

A-insinöörit Opas toteutusmuodon valintaan rakennushankkeessa https://www.ains.fi/hubfs/Oppaat/A-Insinoorit-Toteutusmuodon-valinta-opas.pdf?hsCtaTracking=db44568f-fa51-40f8-a499-5b47ac5974e5%7C4ea81a1c-ba40-4855-a6f9-a8d9c565dd23 [viitattu 23.9.2022]

Arter Oy nettisivut https://www.arter.fi/pdca-malli-kaytannossa-laadunhallinnan-kivijalkana [viitattu 20.8.2022]

Asumisterveys asetus https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545 [viitattu 15.5.2022]

Ballard, G. and Howell, G. (1994) "Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow", Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the International Group for Lean Construction, Pontificia Universidad Catolica de Chile, Santiago, September 1994. Pp 101-110.

Binninger M., Dlouhy J., and Haghsheno S. (2017). "Technical Takt Planning and Takt Control in Construction." In: LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Walsh, K., Sacks, R., Brilakis, I. (eds.), Heraklion, Greece, pp. 605–612. DOI: https://doi.org/10.24928/2017/0297

Bølviken T., Rooke J., Koskela L, The Wastes of Production in Construction – a TFV Based Taxonomy, Proceedings IGLC-22, June 2014 | Oslo, Norway, s. 811-822 https://www.iglc.net/papers/details/919

Dlouhy, J., Binninger, M., Oprach, S. and Haghsheno, S. (2016). "Three-level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach For Designing Production System in Construction." In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.2 s. 13–22. Available at: <www.iglc.net>.

Dlouhy J., Binninger M., 13.1.2021 Blogi-kirjoitus Construction 4.0 and The Future of Flow https://leanconstructionblog.com/Construction-4.0-The-Future-Of-Flow.html

Duco – rakennuttaja https://www.duco.fi/fi/Toimiala.html [viitattu 15.9.2022]

Emdanat, S., Meeli, L. and Christian D. (2016) "A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking" In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.2 pp. 53–62. Available at: <www.iglc.net>.

Epiroc Oy https://www.epiroc.com/en-fi/products/drill-rigs/face-drill-rigs/boomer-xe-we

Heikkonen Kyösti, Lean Leaders – luento 2022 LUT – yliopisto.

Hopp W.J., Spearman M.L. Factory Physics Third Edition 2011, United States of America

Huovinen Pekka, Value Stream Organisation Management, Lean Leaders – luento 22.9.2022.

Jokiniemi Tommi, HUS Lean – matka, Lean Leaders – luento 28.-29.9.2022

Krafcik, J.F. Triumph of the Lean Production System 1988. Sloan Management Review, 30, s. 41-52 https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5373958/mod_resource/content/4/Krafcik_TEXTO_INTEGRAL.pdf

Korte H., Jokela R., Korhonen E., Perttunen J. Lean sosiaali- ja terveydenhuollossa 2.painos 2020 HUS Helsingin yliopistollinen sairaala

Lean Construction Institute Finland ry (2022) http://www.lci.fi [viitattu 15.6.2022, 18.9.2022]

Lean org – nettisivut https://www.lean.org/lexicon-terms/lean-thinking-and-practice/ [viitattu 15.8.2022]

Lindholm M., Junnonen J.-M., Infrahankkeen tuotannonhallinta Suomen Rakennusmedia Oy Helsinki 2012 s.16

Mäenpää K. Lean-vlog päivittäisjohtaminen https://leanthinking.fi/lean-vlog-osa-5-paivittaisjohtaminen/ [viitattu 12.9.2022]

Olin, Tiina Infrarakentajan ympäristöopas, Suomen Rakennusmedia Oy, Helsinki 2015 s.62

Paalumäki T, Lappalainen P, Hakapää A. Kaivos- ja louhintatekniikka, Kaivosteollisuus ry ja Opetushallitus, 3. uudistettu painos, Tampere 2015

Peltokorpi A, Lehtovaara J, et al Dataan pohjautuva organisaatioiden oppiminen, Building 2030 – osahankkeen loppuraportti, Aalto-Yliopisto, Rakennustekniikan laitos 20.1.2022. https://www.aalto.fi/sites/g/files/flghsv161/files/2022-02/Building2030-Dataan-pohjautuva-oppiminen-loppuraportti-2022-01-24_0.pdf [viitattu 22.9.2022]

Peltonen T., Kiiras J., Rakennuttajan riskit eri urakkamuodoissa RAKLI ry, Rakennustieto Oy, 1998 s. 32

Pentti Heikki T. Lean – filosofia ja sen ymmärtäminen yritysesimerkkien kautta, Lean Leaders – kurssiluento 15.9.2022

Rakennuslehti 2019 https://www.rakennuslehti.fi/2019/10/suomen-parhailla-tyomailla-lean-on-kirosana-silti-se-saa-ihmiset-hymyilemaan-ja-tyot-sujumaan/ [viitattu 15.9.2022]

RATU Rakennustöiden laatu 2017, 11.uudistettu painos. Talonrakennusteollisuus ry, Rakennustietosäätio RTS sr. Rakennustieto Oy s. 8-9.

RIL 169-1987 Kalliotilojen rakennusohjeet, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. Helsinki 1986 (s.11–12)

Rönkä K. , Ritola J. , Rauhala K Maanalaiset tilat maankäytön suunnittelussa, Ympäristöopas 16, Helsinki 1997

Rönkä K., Ritola J. et al Kalliorakentamisen neljäs aalto, WSOY Porvoo 1997 s. 11,

Schroeder Jason, What is takt control – blogikirjoitus 30.7.2022 https://www.elevateconstructionist.com/post/what-is-takt-control

Saari A., Keskiniva K., Rakennustyömaan virtautus ja nopeutettu korjaaminen, Raksavirtaa – hankkeen seminaari 27.11.2019 Tampere University

Saarinen Jani, Vison Oy Mitä tahtituotanto on tuonut näkyväksi, Rakennustiedon pyöreän pöydän keskustelu 10.3.2022

Salminen J., Talaskivi P., RIL 276-2021 Lean rakentamisessa - Arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry julkaisut Hansaprint Oy, 2021

Seppänen O., Uusitalo P. Lean suunnittelunohjaus loppuraportti 22.8.2017, Visio 2030 – konsortio, Aalto-yliopisto

Seppänen Olli, Aalto - yliopisto Tutkittua tietoa hukasta rakennustyömaalla, Rakennustiedon pyöreän pöydän keskustelu 10.3.2022

Suomen betoniyhdistys r.y. BY53 Kalliotilojen injektointi 2006 Nykypaino Oy, Helsinki 2006

Suomen betoniyhdistys r.y. BY63 Ruiskubetoniohjeet 2015, Tammerprint Oy, Tampere 2015 s. 58-59

Tehdasfysiikka https://tehdasfysiikka.fi/tehdasfysiikka/periaate/ [viitattu 2.9.2022]

Toyota https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/ [viitattu 15.5.2022]

Valtioneuvoston asetus räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta 16.6.2011/644 https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110644 [viitattu 15.5.2022]

Womack James P., Jones Daniel T. Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation, London 1996

Womack James P., Jones Daniel T., Roos The Machine That Changer The World 1990

YIT 2022

YIT / FEM messut 2017 materiaali