

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2023

Bekim Dibrani

Tahtiaikatuotanto linjasaneeraustyömaalla



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2023 | 41 sivua

Bekim Dibrani

TAHTIAIKATUOTANTO LINJASANEERAUSTYÖMAALLA

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tahtiaikatuotantoa linjasaneeraustyömaalla. Työssä käsitellään perinteisen linjasaneerauksen pääpiirteitä, Leanin ajattelumaailmaa sekä tahtiaikatuotannon soveltuvuutta linjasaneeraushankkeissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää tahtiaikatuotannon perusteita ja tarvittavat edellytykset kyseisen tuotantomallin käynnistämiseksi. Työssä perehdytään myös tahtiaikataulun suunnittelutoimiin ja sen ohjausmekanismeihin, joita työnjohto voi käyttää tuotannon aikana. Tutkimustyön lähdeaineistona käytettiin eri kirjallisuuslähteitä sekä omia työkokemuksia vuosien varrelta

Tahtiaikatuotannon tarkoituksena on tehostaa työntekoa työmaalla, luomalla samoista toistuvista työvaiheista tahtijunia tahtiaikatauluun. Tuotantomenetelmä selkeyttää työntekoa ja mahdollistaa lyhyemmän läpivientiajan. Työssä kuitenkin ilmenee, että tahtiaikatuotanto voi osoittautua liian haastavaksi, jos alkupanostus on puutteellinen.

Asiasanat:

linjasaneeraus, lean, tahtiaikatuotanto, tahtiaikataulu

Bachelor's Thesis | Abstract

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineer

2023 | 41 pages

Bekim Dibrani

THE USE OF TAKT TIME PLANNING IN PIPE RENOVATIONS

The purpose of this thesis is to understand the use of takt time planning in pipe renovation. The work discusses the main features of traditional pipe renovation, understanding Lean, and the applicability of takt time production in pipe renovation projects.

The thesis deals with the basics of takt time production and the necessary prerequisites for starting the production model in question. The work also deals with the planning of the takt time schedule and its control mechanisms, which can be used by the work management during production.

The purpose of takt time production is to make work more efficient at the construction site, by creating takt trains from the same repetitive work steps in the takt schedule. The production method clarifies the work and enables a shorter turnaround time. However, the work shows that takt production can prove to be too challenging if the initial investment is insufficient. Different literary sources and own work experiences over the years were used as source material for the research work.

Keywords:

pipe renovation, lean, takt time planning

Sisältö

1 Johdanto	6
2 LINJASANEERAUS	8
2.1 Linjasaneerauksen pääkohdat	8
2.2 Linjasaneerausten perusta	9
2.3 Linjasaneerauksen osapuolet, hankevaiheet ja urakkamuodot	12
3 Tahtituotanto rakennushankkeissa	16
3.1 Lean rakentamisessa	16
3.2 Lean-menetelmä: Tahtituotanto	18
3.3 Tahtiaikataulun suunnittelu	20
3.4 Tahtituotannon inhimillinen puoli	23
4 Tahtiaikatuotannon soveltaminen linjasaneeraushankkeessa	24
4.1 Tahtituotannon ja tahdistetun tuotannon ero	24
4.2 Tahtituotannon ohjaus ja valvonta	26
4.3 Tahtiaikataulun ohjausmekanismit	27
4.4 Tahtiaikataulun toteutus linjasaneeraushankkeessa	31
4.4.1 Kohteen lähtötiedot	31
4.4.2 Tahtialueiden luonti	31
4.4.3 Työtehtävien listaus ja nimeäminen	32
4.4.4 Työtehtävien mitoitus ja pakkaus	32
4.4.5 Tahtijunan muodostaminen	34
4.4.6 Tahtiaikatauluun sitouttaminen	35
4.5 Tahtituotannon hyödyt ja haitat linjasaneeraushankkeessa	36
5 Yhteenveto	38
Lähteet	40

Kuvat

Kuva 1. Suomen eri vuosikymmenillä rakennettu kerrostalokanta v. 2008.	10
Kuva 2. Kerrostaloasunnot rakennuskannassa v. 2008 ja putkiremonttien tarve.	11
Kuva 3. Periaatteellinen kuva korjaushankkeen eri osapuolista.	12
Kuva 4. Linjasaneeraushankkeen vaiheistus ja pääsisältö.	15
Kuva 5. Teoria (TFV) ja käytännön tuotannonohjaus (LPDS) Lean-rakentamisessa.	17
Kuva 6. Esimerkki työpakettien mitoituksesta Yhdysvalloissa.	21
Kuva 7. Tahtiaikataulu, jossa mukana eri tahtialuetta.	22
Kuva 8. Paikka-aikasuunnittelun ja tahtituotannon aikataulunäkymiä.	25
Kuva 9. Tahtialueen irrottaminen mekanismi.	28
Kuva 10. Tyhjä vaunu mekanismi.	29
Kuva 11. Tahtijunan pysäytys mekanismi.	30
Kuva 12. Työmenekin laskentataulukko.	33
Kuva 13. Esimerkki linjasaneeraushankkeessa toistuvat työvaiheet aikataulussa.	34

1 Johdanto

Tahtituotanto kuuluu Lean-rakentamisen menetelmiin, joka alkaa yleistymään Suomen rakennusalailla vauhdikkaasti. Tässä opinnäytetyössä pyritään ymmärtämään tahtituotannon filosofiaa ja menetelmiä, joita voi käyttää linjasaneeraushankkeissa. Samalla syvennyttään myös linjasaneerauksen pääkohtiin ja linjasaneeraushankkeen osapuoliin.

Linjasaneeraus on asuinkerrostalojen kunnossapitohanke, joka tulee toteuttaa hallitusti osana kiinteistöstrategiaa ja PTS-korjausohjelmaa. Korjaushanke on taloyhtiöille vaativin ja raskain remontti, kun tarkoituksena on ylläpitää kiinteistö mahdollisimman pitkäikäisenä ja toimivana. Linjasaneerauksilla on monta eri menetelmää ja tapaa, mutta yleisin näistä on perinteinen putkiremontti, jossa uusitaan kauttaaltaan kaikki vesi- ja viemäriputket sekä kylpyhuoneiden vesieristykset (RIL 252-1-2009). Linjasaneeraushankkeet tarkoittavat taloyhtiön asukkaille tyypillisesti pois muuttoa noin kolmeksi kuukaudeksi, jos hanke etenee hyvin ja onnistuneesti. Omasta kodistaan muuttaminen muualle närkästyttää asukkaita, minkä takia aikataulun tarkka noudattaminen on ehdottoman tärkeää.

Nykypäivänä Lean-rakentaminen yleistyy rakennustyömailla tiuhaan tahtiin ja sen menetelmiä otetaan kokeiluun ympäri Suomea. Opinnäytetyössä tutustutaan Lean-rakentamisen arvoihin ja filosofiaan. Lean-rakentamisen menetelmiä käytetään parantamaan tuotannon virtautusta, arvojen luontia ja ylimääräisen eliminoimista. Yksi näistä menetelmistä on tahtiaikatuotanto. Tahtiaikatuotanto on tuotantomenetelmä, jolla pyritään selkeyttämään työntekoa ja luomaan enemmän virtautusta työntekoon. Tahtituotanto tuo piirteitä tehdastuotannosta, jossa työntekoa voi verrata liukuhihnamaiseen tuotantoon.

Tahtituotannon konseptia ei vielä tunneta kunnolla Suomen rakennusalalla. Moni perinteinen rakennusalan työntekijä, olettaa tahtiaikatuotannon yleensä tarkoittavan vain aikataulun tiukentamista ja painostusta nopeampaan työntekoon, kun päinvastoin tahtituotannolla pyritään luomaan selkeä työympäristö, jossa jokainen tietää, mitä kuuluu tehdä, ilman erillistä jokapäiväistä ohjausta. Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena onkin tarkastella perinteisen tuotantomenetelmän ja tahtiaikatuotannon eroavaisuuksia.

Linjasaneeraushankkeen työnjohtajalle tahtiaikatuotanto on erinomainen tuotantomenetelmä. Linjasaneerauksissa työnjohdon tärkeimpiin työtehtäviin kuuluvat mm. taloyhtiön osakkaiden ja asukkaiden asiakaspalvelu ja viestintä, jolloin työmaan ohjaus saattaa jäädä vähäiselle. Tahtiaikatuotannon tuoma etu, että työmaa etenee itsestään, on erittäin isoksi hyödyksi kuormittuneelle työnjohtajalle.

2 LINJASANEERAUS

2.1 Linjasaneerauksen pääkohdat

Linjasaneeraus eli tutummin putkiremontti, on kiinteistön putki/sähköremontti, jonka yhteydessä voidaan korjata muitakin taloyhtiön/kiinteistön tiloja, kuten kylpyhuoneet, WC:t, keittiöt, ja yhteiset tilat (RIL 252-1-2009, 13). Linjasaneerauksella tarkoitetaan asuntojen linjakohtaista työtä, jossa vesi- ja viemärijohdot kulkevat omassa nousulinjassa. Nousulinjat sijoitetaan yleisesti kiinteistön hormeihin, joita voidaan käyttää jälkeinpäin tekniikkahormeina. Jokaisella linjalla on omat aikataulut ja työvaiheet.

Linjasaneeraushankkeilla on monenlaisia työmenetelmiä ja toteutuksia. Hankesuunnittelulla sekä eri kuntotutkimuksien perusteella voidaan määrittellä linjasaneerauksen laajuuden ja menetelmät. Kuitenkin yleisin ja kannattavin menetelmä on ns. *perinteinen linjasaneeraus*. Perinteisessä linjasaneerauksessa uusitaan kiinteistön kaikki vesijohdot ja viemäriputket. Putkistot uusitaan aina tehtyjen suunnitelmien mukaisesti (Ratu G-0295, 2). Huoneistojen kylpyhuoneet puretaan kauttaaltaan betonipintaan asti, jonka jälkeen ruvetaan rakentamaan uutta viemäriverkostoa. Viemäreiden runkolinjan täytyy asentaa kylpyhuoneisiin, jotta voidaan toteuttaa tarvittavat kaadot. Vanhoissa märkätilaelementeissä kulkee yleensä betonisia yhteiskanavia, joihin yleensä sijoitetaan uusi viemärirunkolinja (RIL 252-1-2009, 27). Vesi- ja sähköjohdot tuodaan huoneistoon kiinteistön yleisiä tiloja käyttäen esimerkiksi rappukäytävältä huoneistoon. Pinta-asennukset käytävillä koteloidaan rakennuslevyillä, jotka tasoitetaan ja maalataan. Tarkoituksena on saada lopputuloksesta mahdollisimman esteettinen (RIL 252-2-2009, 13.)

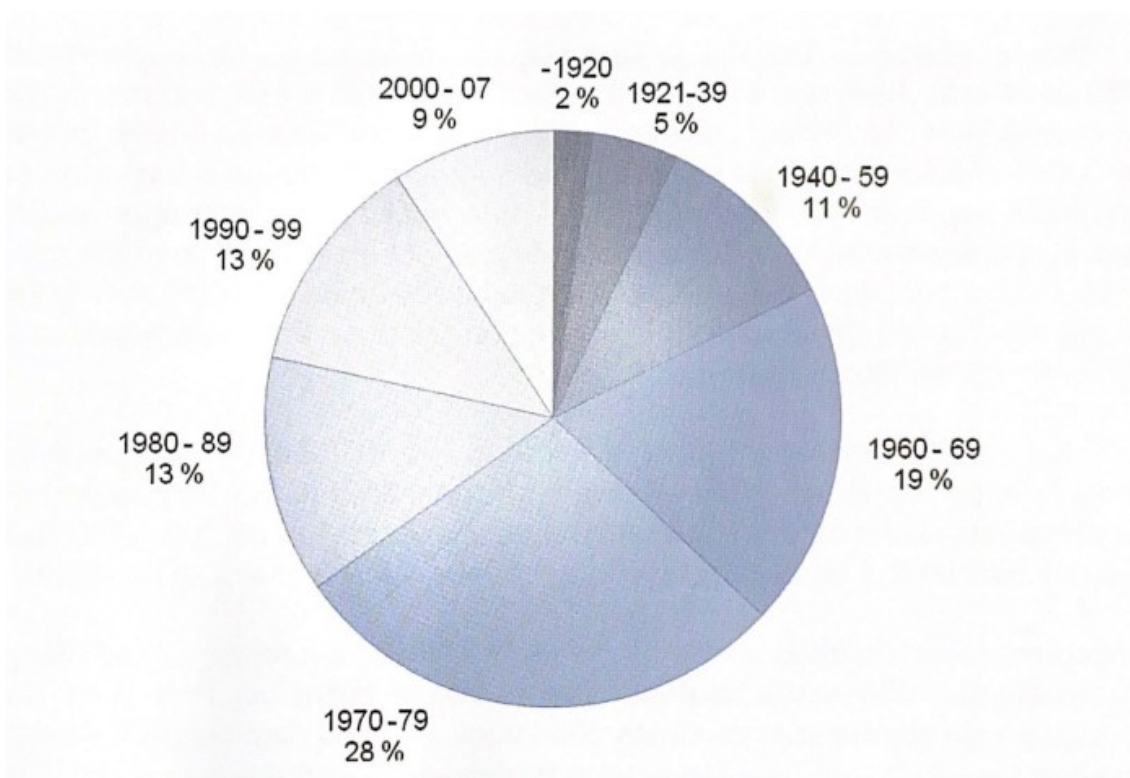
Perinteisessä putkiremontissa työt alkavat asunnon kylpyhuoneessa purkutöillä. Vanhat kalusteet poistetaan ja pintojen piikkaustyöt alkavat. Seinäpinnat piikataan ja hiotaan, kunnes saadaan tasainen puhdas betonipinta. Kylpyhuoneen lattian pintalaatta puretaan suunnitelmien mukaan viemärikorjausten edellyttämässä laajuudessa tai kokonaan. Asbestia sisältävät pintarakenteet täytyy poistaa asbestipurkutyönä. Purkutöiden valmistuttua voidaan ruveta tasoittamaan seiniä ja valaa uusi pintalaatta. Kuitenkin ennen lattiavalun ja tasoitustyöhön ryhtymistä tarkistetaan vesijohto-, viemäri- ja sähköasennusten valmius. Seuraavana työvaiheena on vesieristys, joka tehdään seiniin ja lattioihin. Vesieristyksen voi suorittaa vain henkilö, joka on suorittanut tarvittavan koulutuksen sertifioitussa oppilaitoksessa. Vedeneristyksessä käytetään VTT-sertifioituja tuotejärjestelmiä (KH 92-00503, 7).

Kylpyhuoneen vesieristyksen tarkistamisen ja dokumentoinnin jälkeen, aloitetaan pintojen laatoitustyöt. Alakatto tehdään vasta kun pinnat on laatoitettu, suojattu ja tarvittavat viemäryöt katossa on tehty valmiiksi. Viimeisenä jää uusien vesikalusteiden asennus ja loppusiivous (Ratu G-0295, 6–14).

2.2 Linjasaneerausten perusta

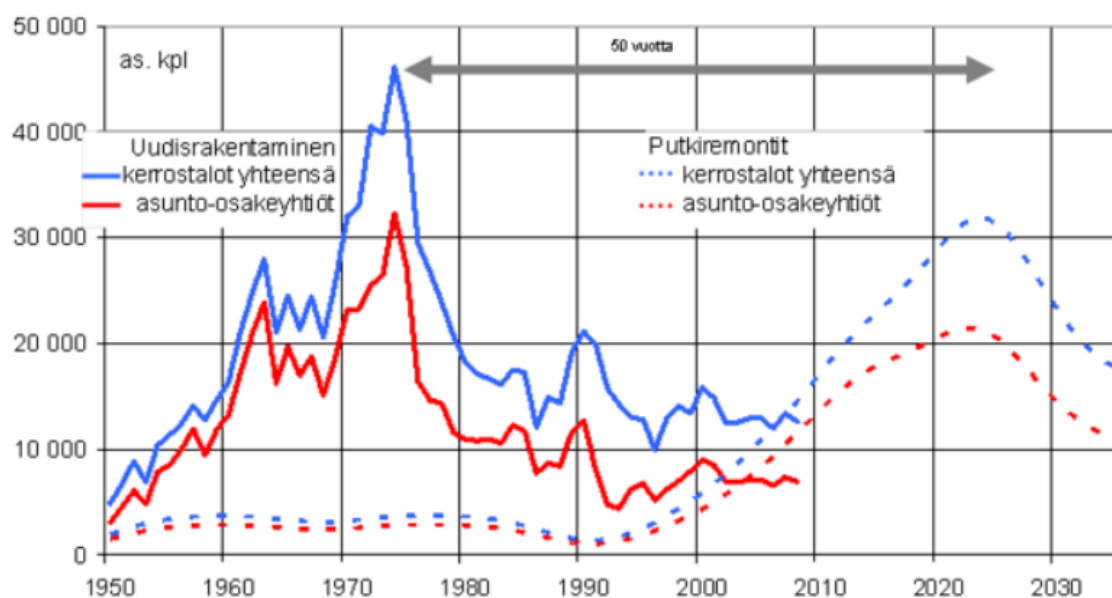
Linjasaneeraus on toimenpide, joka tulee toteuttaa hallitusti osana taloyhtiön kiinteistöstrategiaa ja PTS-korjausohjelmaa. Korjaushankkeen lisäksi on hyvä tarkistuttaa mitä muita korjaustoimenpiteitä voi suorittaa linjasaneerauksen aikana. Yleisimpiä linjasaneerauksen yhteydessä teetettyjä korjaustoimenpiteitä on mm. ilmanvaihdon parantaminen, energiatehokkuuden lisääminen, tilojen parantaminen, LTO-lisäys tai jopa muuttaa kiinteistö lämmitysjärjestelmää. Korjauksiin liittyvät päätökset tulee taloyhtiöissä tehdä kokonaisvaltaisesti ja harkitusti (RIL 252-1-2009, 10). Taloyhtiöillä täytyy olla myös kiinteistöä kehittävä strategia, joka sisältää linjauksia ja pääperiaatteita, joilla tavoitellaan taloyhtiön osakkaiden ja asukkaiden yhteisiä päämääriä laadun, palvelun taloudellisuuden ja asumisviihtyvyyden kannalta (RIL 268-2017, 13).

Vuosina 1960–1980 Suomeen syntyi suuri asuntotarve. Syinä tähän on pidetty nopeasti kasvavaa taloutta, suurta muuttoliikettä kaupunkeihin ja rahamarkkinoiden vapautumista. Myös maan väestörakenne ja asumistason jälkeenjääneisyyden kurominen umpeen synnyttivät laajamittaisen tuotannon asuinkerrostaloille. Suuren tuotannon mahdollisti siihen aikaan edistyksellinen ja kaikille avoin BES-elementtijärjestelmä (Betonia Oy 2020). BES-järjestelmän ansiosta rakennusliikkeet pystyivät miltä tahansa elementtitehtaalta tilaamaan rakennukseen tarvittavia elementtejä. Nykyisestä kerrostalokannasta noin 47 % on rakennettu vuosina 1960–1980. Noin 82 % Suomen kerrostaloasunnoista on valmistunut vuoden 1960 jälkeen ja noin 18 % kerrostaloasuntokannasta rakennettiin ennen vuotta 1960. Kuvassa 1 hahmotetaan, kuinka muiden vuosikymmenien kerrostalokanta on huomattavasti pienempi kuin vuosina 1960–1980 (RIL 252-1-2009, 17, 23)



Kuva 1. Suomen eri vuosikymmenillä rakennettu kerrostalokanta v. 2008 (RIL 252-1-2009, 17).

Korjaustarve kasvaa merkittävästi, kun suuret rakennusmassat saavuttavat suurin piirtein 50 vuoden iän. Tällä hetkellä linjasaneerauksia tehdään jo 1960-, 1970 ja 1980-luvuilla rakennettuihin kerrostaloihin. Kuvassa 2 havaitaan, miten putkiremonttien käyrä toistaa samaa kuviota kuin uudistuotannon käyrä, kuitenkin myöhemmin tulevaisuudessa. Asuinkerrostalojen linjasaneerauksen tarpeista ovat myös vakuutusyhtiöt pitäneet vahvaa kantaa. Mikäli kohteessa syntyy kosteusvahinko ikääntyneiden putkistojen takia, niin vakuutusyhtiöt eivät sitoudu korvaamaan syntyneitä vahinkoja. Tästä syystä linjasaneerausten tuotanto ei tule pysähtymään tulevaisuudessa (RIL 252-1-2009, 18).

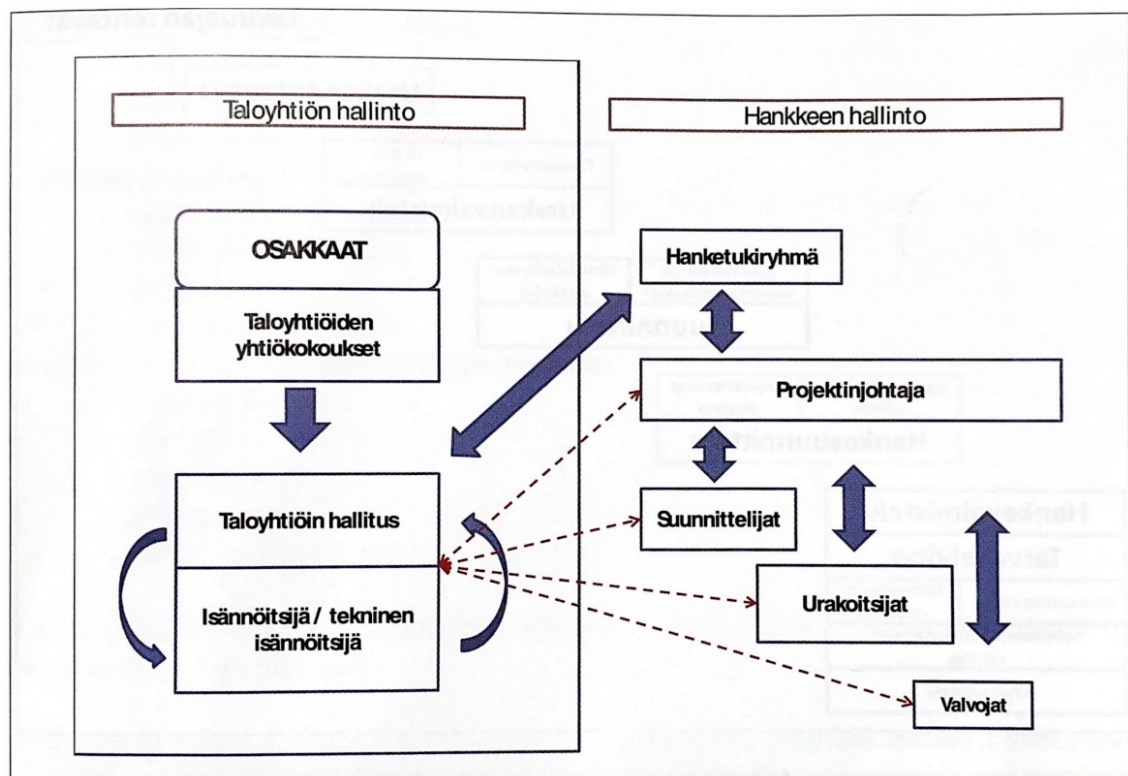


Kuva 2. Kerrostaloasunnot rakennuskannassa vuonna 2008 ja putkiremonttien tarve (RIL 252-1-2009,19).

2.3 Linjasaneerauksen osapuolet, hankevaiheet ja urakkamuodot

Linjasaneeraushanke on vaativa rakennushanke, johon osallistuu monta osapuolta. Tämän vuoksi siihen osallistuvien on kaikkien tärkeää ymmärtää ja hyväksyä eri osapuolien roolit, vastuut ja tehtävät (RIL 252-1-2009).

Osapuolet voi helposti jakaa kahteen eri ryhmään. On ”taloyhtiön hallinto” ja ”hankkeen hallinto”. Taloyhtiön hallintoon kuuluu osakkaat, isännöitsijät/tekninen isännöitsijä ja itse taloyhtiö. Hankkeen tilaajana ja rakennuttajana toimii yleensä taloyhtiö. Hankkeen hallituksella tarkoitetaan taloyhtiön ulkopuolista osapuolta, joka vetää hanketta eteenpäin. Tähän hallintoon kuuluvat yleensä: hanketukiryhmä (taloyhtiön luoma ryhmä), projektinjohtaja, suunnittelijat ja urakoitsijat. Kuva 3 havainnoi hankkeen eri osapuolia. Vasemmalla taloyhtiön hallinto ja oikealla hankkeen hallinto.



Kuva 3. Periaatteellinen kuva korjaushankkeen eri osapuolista (RIL 252-1-2009, 31).

Linjasaneeraushankkeessa on monta eri vaihetta. Linjasaneeraushanke koostuu seuraavista vaiheista:

- tarveselvitys
- hankevalmistelu
- hankesuunnittelu
- suunnitteluvaihe
- urakan valmistelu
- urakan toteutus
- työn vastaanotto.

Hankkeessa on myös tärkeätä huomioida osakkaiden ja taloyhtiön oikeudet ja velvoitteet, avoin ja riittävä viestintä sekä rahoitusmuodot. Hankkeen valmistuttua alkaa normaali hallinnollinen seuranta ja ylläpito. Hankkeeseen valmistaudutaan, kun taloyhtiön yhtiökokous valtuuttaa yhtiön hallituksen aloittamaan valmistelutyöt linjasaneerausta varten. Valmistelutöihin kuuluu mm. alustavan projektisuunnitelman laadinta, hanketukiryhmän kokoaminen, ehdotuksen tekeminen hankesuunnittelijasta (RIL 252-1-2009).

Alustava projektisuunnitelma on hankkeen edistämisen kannalta tärkeä. Sillä saadaan päätös osakkeenomistajilta käynnistää hanke ja edetä korjaushankkeessa eteenpäin. Tavallisesti hankevalmistelun hoitaa isännöitsijä tai erikseen hankkeelle valittu projektinjohtaja.

Hankesuunnittelu on linjasaneeraushankkeen innovatiivista esisuunnittelua, jossa etsitään sopivia ratkaisuvaihtoehtoja hankkeen toteutukselle. Hankesuunnittelu auttaa taloyhtiön osakkaita tekemään päätöksiä siitä, millaista linjasaneerausta on tarkoituksena toteuttaa. Linjasaneeraushankkeissa tulee huomioida kaikki mahdolliset toteutustavat ja selvittää mahdolliset tilaisuudet parantaa kiinteistön toimivuutta ja käyttökustannuksia. Hankesuunnitteluvaiheessa osakkailla on paras tilaisuus vaikuttaa tulevaan hankkeeseen, jakamalla omat mielipiteet ja toiveet. Myöhemmin vaikutusmahdollisuudet vähenevät olennaisesti (RIL 252-1-2009, 67).

Suunnitteluvaiheessa toteutetaan hankesuunnitelmaan perustuvat toteutussuunnitelmat, laskelmat, piirustukset ja työselostukset. Suunnittelu voi edetä taloyhtiön erikseen tilaamana tai hankesuunnitelman pohjalta voidaan laatia suunnittelua sisältävä sopimus toteuttajan kanssa eli KVR–urakkana. Yleisesti suunnitteluvaihe jaetaan kahteen osioon – luonnosvaiheeseen ja toteutussuunnitteluvaiheeseen. Rakennustöiden aloittamista varten tehdään lopulliset toteutuspiirustukset (ARK, RAK, LVIS) ja työselostukset ja (RIL 252-1-2009, 71). Suunnitteluvaiheessa on tavallisesti mukana pääsuunnittelija, arkkitehti, rakennesuunnittelijat, LVI-suunnittelijat sekä mahdollisesti myös konsultteja.

Urakan valmisteluvaiheessa käsitellään valvojan kilpailuttaminen, urakoitsijan kilpailuttaminen, urakkaneuvottelut, urakkatarjousten avaus, rakentamispäätöstä sekä urakkasopimukset.

Valvonnan tarkoituksena on varmistaa hankkeen laatu ja ajaa rakennuttajan etua mutta kuitenkin olla puolueeton urakkasopimuksen vahtija. Valvojan toimenkuvaan kuuluu käytännön yhdyshenkilönä toimiminen rakennuttajan, suunnittelijoiden, ja urakoitsijoiden välillä sekä työn suorituksen kannalta tarpeellisten tietojen ja päätösten hankkiminen eri tahoilta ja käytettävien suunnitelma-asiakirjojen sopimuksenmukaisuuden tarkistaminen Tämän lisäksi tehtäviin kuuluu rakentamista koskeviin kokouksiin ja neuvotteluihin osallistuminen (RIL 252-1-2009).

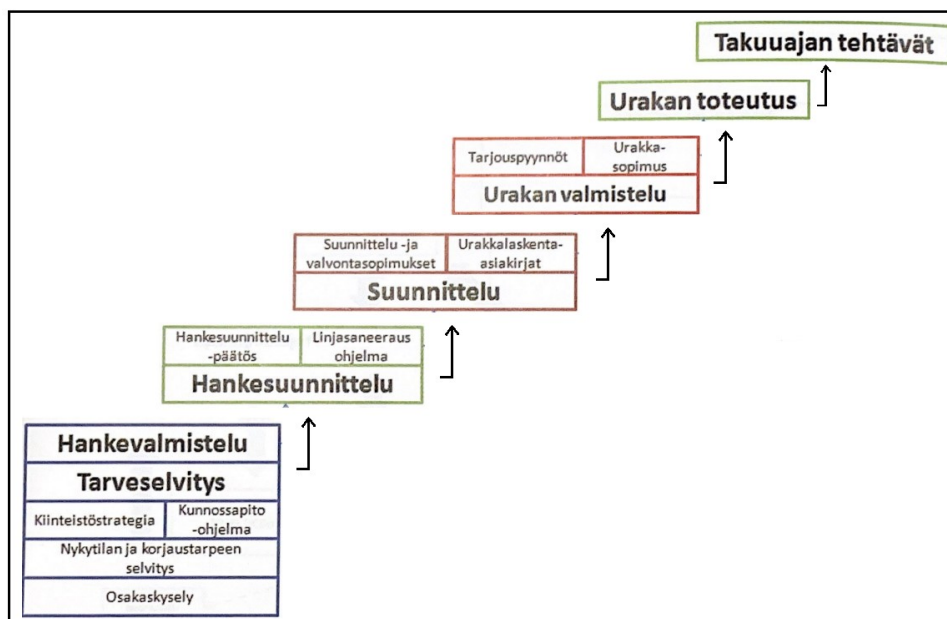
Kun pääurakoitsija on kilpailutettu ja urakkasopimus on allekirjoitettu niin vasta silloin alkaa rakentaminen. Onnistunut hanke edellyttää tiivistä yhteistyötä eri osapuolten välillä. Yhteyttä pidetään monella eri tavalla. Yleisimpänä tapana yhteydenpitoon nykypäivänä toimii sähköposti, mutta käytössä on myös muita virallisia menettelyjä, kuten

- aloituskatselmus
- aloituskokous
- tarvittavia muita katselmuksia
- työmaakokoukset ja tarkastukset.

Kun rakennustyöt saadaan valmiiksi, hanke siirtyy luovutusvaiheeseen. Työn vastaanottamiseen liittyy virallisia sopimuksenmukaisia tehtäviä, jotka tulee suorittaa huolellisesti:

- loppukatselmus
- vastaanottotarkastus
- taloudellinen loppuseelvitys
- takuuajan tehtävät

Lisäksi tulee selvittää perusteellisesti osakkaille, mikä oli hankkeen sekä laadullinen että taloudellinen lopputulos. Mikäli osakkaille ilmenee jokin ihmetystä herättävä tai suunnitelmien ulkopuolelta tehty toteutus, voi työmaakokouksen pöytäkirjoista selvittää, onko asia sovittu työmaakokouksissa. Kuvassa 4 on esitetty hankkeen vaiheistuksesta (RIL 252-1-2009, 89).



Kuva 4. Linjasaneeraushankkeen vaiheistus ja pääsisältö (RIL, 252-1-2009, 32).

3 Tahtituotanto rakennushankkeissa

3.1 Lean rakentamisessa

Lean-rakentaminen on rakennusalalle sovitettua Lean-ajattelun mukaista organisaatioiden rakennushankkeiden eri prosesseissa soveltamaa toimintaa (Ratu KI-6021, 2017, 14). Lean-menetelmien tarkoitusperä on mahdollistaa tuotannolle paras mahdollinen arvo, mutta samalla kuitenkin eliminoida kaikki mahdollinen hukka. Lean-rakentamisen päämäärä on kasvattaa tuotannon arvoa, produktiivisuutta ja myös innovaatiota. (Lean construction 2023.)

Perusongelmaksi Lean-periaatteiden soveltamisessa rakentamiseen on koettu se, että rakentaminen on projektitoimintaa, mutta Lean on alun perin kehitetty tehdasvalmistavaan teollisuuteen. Lean-rakentamisen syntysijainnista on montaa eri tietolähdettä mutta yleisin alkulähde jäljitetään Japaniin, Toyotan autotehtaalle vuonna 1920. Lean-menetelmä osoittautui niin menestykselliseksi, että sitä alettiin käyttää muissakin tuotantotehtailla. Leanin käytöstä alettiin muodostaa seuraavanlaisia peruseriaatteita (Welles 2020):

Jatkuva kehitys

- yritykset antavat tilaa uudelle kehitykselle.

Resurssien hallinta

- pyritään eliminoimaan hukkaa. Hukkana pidetään ylimääräistä materiaalia mutta myös aikaa, jota ei käytetä tuotannon edistämiseen.

Asiakkaan tavoitteet

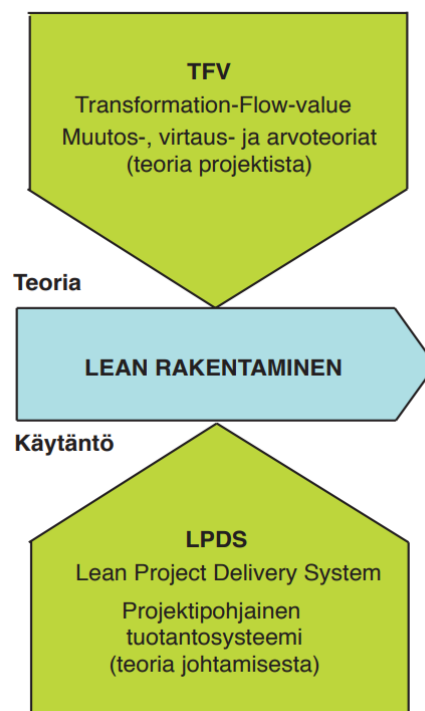
- kunnioitus asiakkaan toiveita kohtaan ja onnistunut suoritus.

Ihmisten arvostus

- työympäristö missä arvostetaan jokaista henkilöä lisää laatua ja tuottavuutta.

Suomalaisetkin ovat olleet Lean-periaatteiden kehityksessä mukana. Suomalainen Lauri Koskela kirjoitti Stanfordin yliopistossa väitöskirjaa 1990-luvun alussa ja muodosti uuden tuotantoteorian rakennusosalalle. Hän ehdotti käytössä olevien tuotantoteorioiden yhdistämistä kattavaksi muunnos-arvontuotto-virtausteoriaksi eli TFV=Transformation-Flow-Value (RIL 276-2021, 25).

TFV- teorian lisäksi Lean-rakentamiseen kuuluu myös projektipohjainen tuotantosysteemi LPDS = Lean Project Delivery System. Tarkoituksena on mahdollistaa ja parantaa yhteistoimintaa sekä myös yhteisten tavoitteiden asettamista ja saavuttamista. Kuva 5 havainnollistaa mistä Lean-rakentaminen muodostuu (Ratu KI-6021, 2017, 15).



Kuva 5. Teoria (TFV) ja käytännön tuotannonohjaus (LPDS) Lean-rakentamisessa (Ratu KI-6021, 2017, 15).

3.2 Lean menetelmä: tahtituotanto

Tahtituotanto on tehdasmaailmasta tuttuun Lean-filosofiaan perustuva tuotantotapa. Tahtituotanto on Lean menetelmä, jonka tarkoituksena on tehdä tuotannosta tehokkaampaa ja parantaa virtaustehokkuutta. Tahtiaikataulussa työvaiheet mitoitetaan samanpituiseksi paketeiksi, seuraamaan välittömästi toinen toisiaan. Kokonaisuutta tarkastellaan rakentamisen sujuvuudella eikä pelkästään resurssitehokkuuden näkökulmasta. Näin työmaalla työ selkeentyy, hukkaa syntyy vähemmän ja kohde valmistuu nopeammin ja paremmalla laadulla (Sitedrive Oy).

Tahtituotannossa samassa työkohteessa tapahtuvat tehtävät järjestetään samanpituiseksi paketeiksi, jotka seuraavat toisiaan välittömästi muodostaen ”tuotantojunan”. Tarkoituksena on yksinkertaistaa ja suorittaa työ liukuhinnan tyyllisesti – toistoa toiston perään. Esikuvaksi voidaan ottaa autoteollisuuden liukuhinna, jolla tuotteet liikkuvat tasaisella nopeudella tietyissä aikaraameissa. Kuitenkin rakennustyömaalla tuotteiden sijaan liikkeessä ovat työryhmät ja resurssit, jotka saatuaan yhden työkohteen valmiiksi, siirtyvät toiseen. (RIL 276-2021, 145).

Tahtituotanto on oivallinen menetelmä kohteissa, joissa pohjaratkaisut ja työvaiheet toistuvat kerroksittain esimerkiksi tyypilliset kerrostalot ja hotellit. Menetelmää voidaan käyttää uudistuotannossa sekä korjaushankkeissa, joissa on sitä toistuvuutta eri työvaiheissa.

Tahtituotanto on menetelmä, jota käytetään ympäri maailmaa. Kansainvälisesti tahtituotannosta käytetään termiä Takt Time Planning eli TTP. Kaliforniassa kehitetty tahtituotantomalli TTP on käytetty mm. Empire State Buildingin pystytystöissä vuonna 1930. Siitä lähtien menetelmää on käytetty kohteissa, joissa työvaiheet toistuvat useasti ja samatahtisesti. Uudistuotannossa tahtituotantoa käytetään harvemmin. (Haghsheno ym. 2016).

TPTC eli Takt Time Planning and Takt Control on taas Saksassa käytetty tapa toteuttaa tahtituotantoa. Jo sana *Takt* viittaa saksalaiseen alkuperään. Saksassa tahtituotantoa ruvettiin käyttämään sotateollisuudessa 2. maailmansodan aikana. Tästä syystä tahtituotantoa yleensä mielummin viitataan tulevan Yhdysvalloista tai Japanista. Tahtituotanto rantautui Suomeen 2010-luvulla. Siitä oltiin jo kauan kiinnostuneita, kun Lean-rakentamista kokeiltiin eri tutkimushankkeissa. Kuitenkin tahtituotantoa alettiin toteuttamaan vasta kun laivojen korjaamisesta saatuja oppeja alettiin siirtämään Suomen korjausrakentamiseen. Tahtituotantoa on siitä lähtien käytetty useammin ja monenlaisissa projekteissa (RIL 276-2021, 145, 146)

Tahtituotanto on systemaattista ja suunnitelmallista toimintaa, jossa voidaan erottaa seuraavat päävaiheet:

1. tahtituotannon suunnittelu
2. tuotannon valmistelu ja käynnistäminen
3. ylläpito ja jatkuva parantaminen

Tahtituotanto vaati enemmän suunnittelua ja valmistelua verrattuna perinteisiin toteutuksiin, minkä lisäksi se muuttaa joidenkin tehtävien toteutusjärjestystä ja -tapaa. Tahtituotannon soveltaminen keskeneräiseen työmaahan tai edes pari viikkoa ennen töiden alkamista ei ole suositeltavaa. Pahimmassa tapauksessa työmaan toimihenkilöille saattaa jäädä huono muisto menetelmästä, eikä ole enää avoin mahdollisuudelle käyttää tahtituotannon menetelmiä tulevaisuudessa (RIL 276-2021, 150.)

3.3 Tahtiaikataulun suunnittelu

Tahtiaikataulun suunnittelua varten täytyy perehtyä mihin tiloihin ja rakennusosiin tahtituotantoa sovelletaan. Suunnittelun voidaan jakaa viiteen vaiheeseen:

1. tahtialueiden/ruutujen valinta
2. alueen tehtävien listaus ja työpakettien teko
3. tahtiaikataulun koostaminen
4. toimitusten ja logistiikan suunnittelu
5. resurssien käytön suunnittelu.

Pyrkimys on saada työtehtävät toistuvaksi tehtäväjonoksi, josta jokainen näkee selkeästi missä mennään ja mitä tapahtuu seuraavaksi. Hyvällä suunnittelulla päästään jo pitkälle (RIL 276-2021, 151.)

Tahtialueiden määrittäminen perustuu siitä, mihin tiloihin tai rakennusosiin tahtituotantoa sovelletaan. Usein tahtialueeksi löytyy luonnollinen tilajako: hotellihuone, kylpyhuone, asunto jne. Toisinaan valinta ei ole itsestään selvää ja tahtialueet voivat muodostaa jonkinlaisen rinnakkaisen etenemän. Esimerkiksi asuntojen kylpyhuoneet voivat muodostaa oman tahtialueen, jotka etenevät rinnakkain. Näin muut tilat huoneistossa voidaan jakaa omiin tahtialueisiin (RIL 276-2021.)

Yhden tahtialueen suunnitelma tehdään listaamalla kaikki työkohteessa tarvittavat tehtävät alusta loppuun. Voi olla, että tahtisuunnitelma ei koske kaikkia alueella tehtäviä töitä, vaan tahtituotanto käynnistyy tiettyjen valmistelevien työvaiheiden jälkeen. Tahtituotanto alkaa varsinaisesti valmiista pinnasta eli kun ruvetaan varsinaisesti rakentamaan. Korjaushankkeissa tahtituotannon ulkopuolelle jätetään tyypillisesti purkutyöt, läpivientien teko sekä runkolinjojen työt. Uudistuotannossa taas tyypillisesti jätetään tahtituotannon ulkopuolelle lattiavalut ja runkotyöt (RIL 276-2021, 151).

Tahtituotannossa työtehtävät, niiden kesto ja resurssit mitoitetaan ja muodostetaan ns. työpaketteja. Ne sisältävät tietoa mitä työtä tehdään, missä ajassa ja millä resursseilla. Kun työtehtävä on pakattu loogisesti paketteihin, niiden lukeminen ja ymmärtäminen on helpompaa ja sujuvampaa. Parhaassa tapauksessa työpaketti saattaa sisältää vain yhden resurssin – aliurakoitsijan, ammattimiehen tai työryhmän – työpanoksen, joka tekee tuotantojunan etenemisestä selkeämpää. Työpaketteja kannattaa olla vain sen verran kuin kohde tarvitsee. Liiallinen määrä eri työpakettia saattaa sekoittaa työmaan tuotantoa. Kuva 6 on esimerkki työpakettien laskennasta (RIL 276-2021, 152).

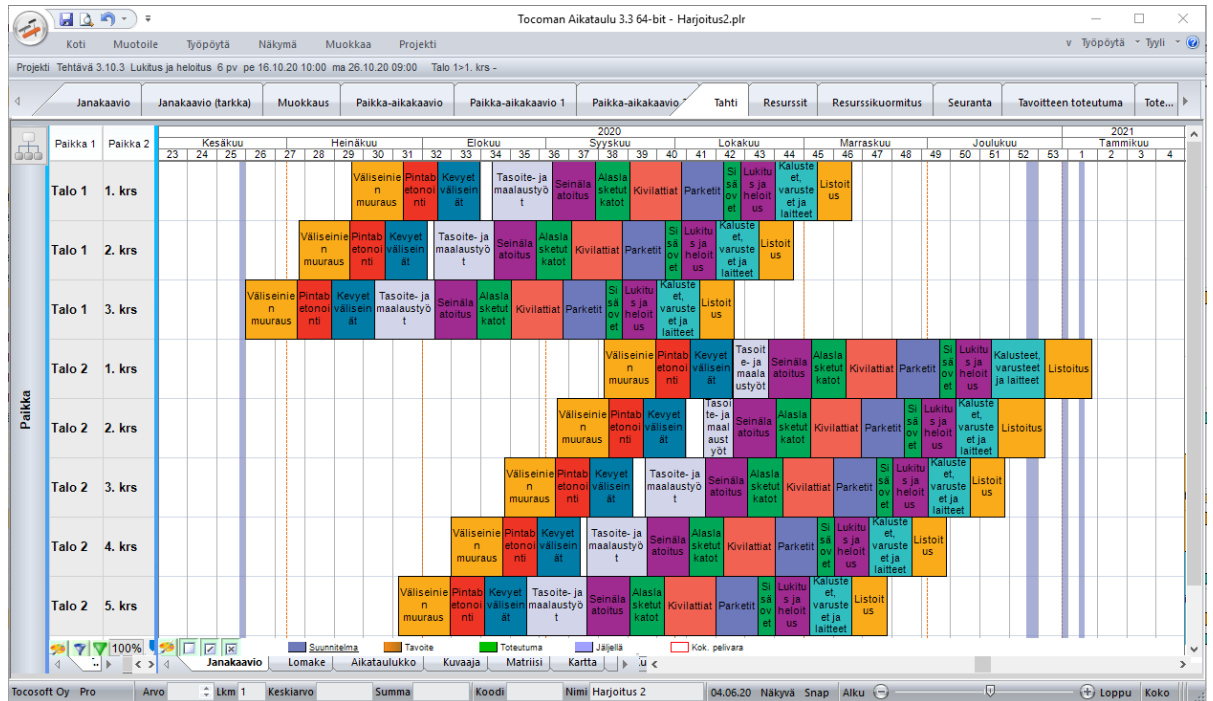
Table 1: Leveling of the work packages

Work package	Work step	Performance factor	Mass of a SSU	Man-power	Duration for 1 SSU	Duration for a Takt area (3xSSU)	Total duration with a Takt of 5 days
A	1	0.5 h / m ²	25 m ²	2	6.25 h	18.75 h	4.785 h
	2	0.33 h / m	3 m	2	0.51 h	1.53 h	
	3	0.2 h / m	30 m	2	3.0 h	9.0 h	
B	4	1 h / pc.	1 pc.	1	0.5 h	1.5 h	
	5	2.5 h / m	12 m	1	2.5 h	7.5 h	
C	6	

Kuva 6. Esimerkki työpakettien mitoituksesta Yhdysvalloissa (Haghsheno ym. 2016).

Kun jokaisesta tahtialueesta on luotu omat työpaketit, siirretään ne tuotantojunaksi omaan tahtituotannon etenemistä kuvaavaan tahtiaikatauluun, joka on usein Excel-ruudukko. Se näyttää taulukolta, missä juoksee vaakatasossa päivän tarkkuudella aika, ja pystysuunnassa tahtiaikaruudut. Kun ensimmäinen tuotantोजना on aikataulutettu, seuraavat ruudut aikataulutetaan kopiaamalla tuotantोजनाa alaspäin tahtiajalla porrastettuna. Tuotanto alkaa etenemään junan mallisesti, jossa jokaisella junalla on omat vaununsa.

Tahtiaikataulun selkeyttämiseksi, tahtivaunut värjätään omilla värikoodeilla. Tietty värikoodi voidaan yhdistää tiettyyn työhön, jonka kyseisen työtehtävän asentaja tunnistaa omakseen heti väriltään. Kuva 7 havainnollistaa tahtiaikataulun värikoodeja



Kuva 7. Tahtiaikataulu, jossa mukana eri tahtialuetta (Tocoman Oy 2022).

Tahtituotannossa materiaalien ja resurssien saatavuus täytyy olla tahdistettuna tuotannon mukana. Tämä johtuu siitä, että riipeä eteneminen tahdistasta toiseen ei siedä esimerkiksi materiaalien puutteesta johtuvia häiriöitä. Koko tahtituotannon tarkoitus on, että työ saadaan tehtyä siihen tahdistettuun aikaväliin mikä on ollut tarkoituksena. Ammattimiesten aika kuuluu käyttäjä täysmääräisesti vain tuotannon edistämiseen – ei materiaalien etsimiseen. Tämä periaate nostaa tahtituotannon materiaalilogistiikan uuteen arvoon. Tahtituotantoa varten täytyy erottaa materiaalien siirrot omaksi tehtäväksi, joita suorittaa siihen tarkoitukseen erikoistuneet henkilöt (RIL 276-2021, 152.)

3.4 Tahtituotannon inhimillinen puoli

Tahtituotanto kirjallisuudessa voi vaikuttaa mekanistiselta lähestymistavalta tuotantoon, mutta kuitenkin täytyy huolehtia tuotannon inhimillisestä puolesta. Tahtituotanto asettaa työnjohdon ja työntekijät uudelleenlaiseen haasteeseen, jonka syystä suurin este voi syntyäkin jo ennen kuin tuotantoa päästään aloittamaan. Perinteisesti tuotantoa on opittu hallitsemaan puskureilla työtehtävien välissä ja riittäväillä aikavaroituksilla mahdollisten epävarmuuksien vuoksi. Ylimääräinen aika hankkeessa helpottaa työmaaolosuhteita ja luo turvallisuuden tunteen, että mahdollisille virheille on "aikaa korjata" tyyliä. Tämä ajattelumaailma kuitenkin on täysin tahtituotannon vastaista, jonka tähden syntyä helposti muutosvastarintaa. Muutosvastarinta liittyy pelkoon siitä, että tahtituotannossa epäonnistutaan. Mutta kuitenkin epäonnistunut tahtituotanto ei suinkaan tarkoita koko hankkeen kaatumista vaan sitä, että tahtituotanto taantuu perinteiseksi tuotannoksi. On tapauksia siitäkin, että vaikka tahtituotannossa jossain suhteessa epäonnistutaan, työn suunnitteluun käytetty aika ei mene hukkaan, vaan tuotanto jatkuu siitä huolimatta tavallista paremmin (RIL 276-2021, 159).

Suurin haaste tahtituotantoon siirtymisessä tulee työnjohdon puolelta. Ensivaikutelmana tahtituotanto luo mielikuvan, että töissä mennään liian nopeasti ja pudotaan kärryiltä. Työntekijät taas ottavat tahtituotannon helpommin vastaan, kun heidät perehdytetään tuotantomalliin. Tästä syystä ei aina voi luottaa, että aliurakoitsijat välttämättä hoitaisivat omien työntekijöiden perehdytyksen tahtituotantoon. Työmaalla jokainen osallistuu tahtituotantoon ja jokainen työntekijä ymmärtää oman merkityksen tuotantoprosessin etenemisessä. Tarkoituksena ei ole nopeuttaa työntekijän työtahtia, vaan selkeyttää töiden vaiheistusta ja varata jokaiselle työntekijälle oma aikaikkuna, jonka kulkiessa ehtii toteuttaa työt rauhassa. Kun sama työ toistuu useaan kertaan, niin laatu paranee ja aika käytetään vähemmän. Monille kannusteena toimii, että kun päivän työt saa valmiiksi voi lähteä hyvin omantunnon kotiin (RIL 276-2021, 159).

4 Tahtiaikatuotannon soveltaminen linjasaneeraushankkeessa

4.1 Tahtituotannon ja tahdistetun tuotannon ero

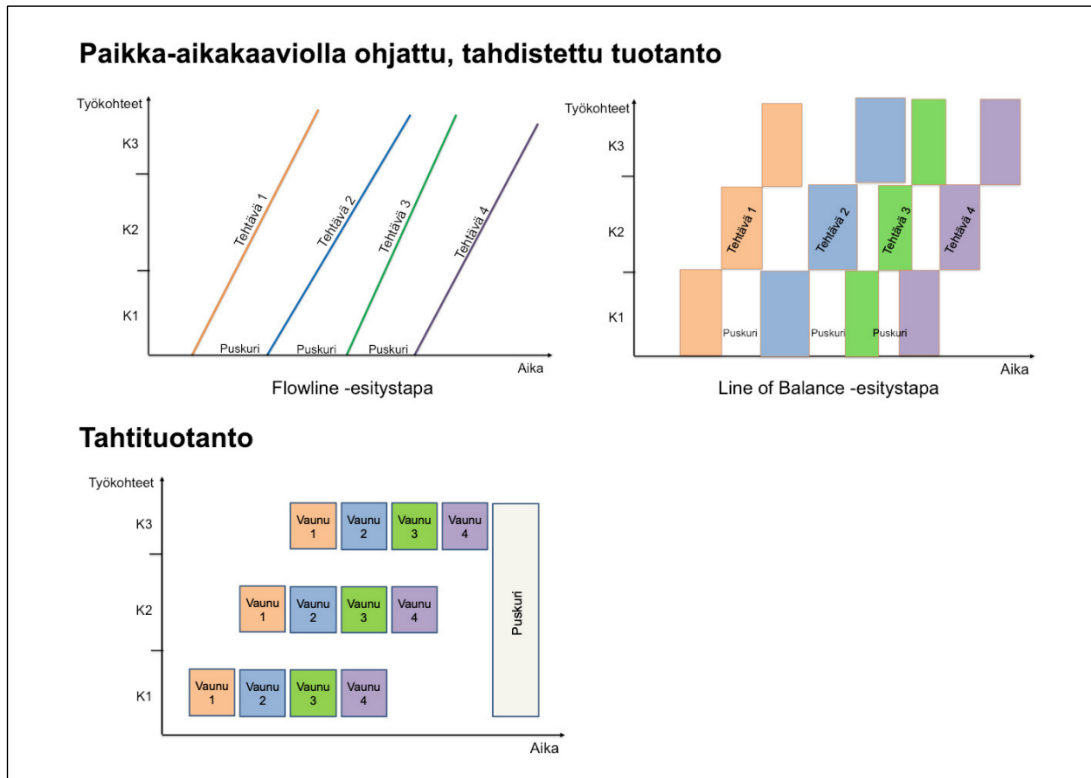
Linjasaneeraushanke on oiva kohde käyttää tahtiaikataulua. Hankkeessa suoritetaan monta eri työvaihetta, jotka toistuvat eri linjoissa ja ovat pohjaratkaisultaan samanlaisia. Tällöin hanketta voidaan toteuttaa liukuhihnaisesti eteenpäin, kuitenkin noudattaen tiukkaa ja vaativaa aikataulua. Tahtiaikataulun haasteeksi yleensä onkin menetelmään sitoutuminen ja valmistautuminen

Linjasaneerauksissa käytetään yleensä ns. **tahdistettua tuotantoa**, joka eroaa huomattavasti tahtituotannosta. Tahdistettua tuotantoa on käytetty Suomessa jo 1990-luvulla ensimmäisten putkiremonttien joukossa ja on nykyäänkin yleinen menetelmä korjaushankkeissa

Jotta ymmärretään paremmin, mitä uutta tahtiaika tuo suomalaiseen rakentamiskulttuuriin, sitä on verrattava juuri paikka-aikatauluun. Tahdistetussa tuotannossa tehtävien välissä on puskurit, joka mahdollistaa varauksen, että työt eivät etene täysin suunnitelmien mukaisesti. Näin työtehtävien väliin varataan puskureita, joiden avulla varmistetaan, että tehtävä pääsee alkamaan ja etenemään häiriöttä. Tämä kuitenkin pidentää kokonaisaikataulua ja ylimääräisiä resursseja on heitetty hukkaan (RIL 276-2021, 147).

Tahdistetussa aikataulussa sen sijaan, työtehtävät alkavat peräjunaa toistensa jälkeen. Heti mestan vapauduttua seuraavan vaunun työtehtävät alkavat. Tässä noudatetaan Leanin yhtä johtamisperiaatetta, jonka mukaan ongelmat pakotetaan esiin, jotta ne voidaan ratkaista. Tahtiaikatauluun voi kyllä varata erillisen ns. ”tyhjän vaunun”, jossa kaikilla osapuolilla on mahdollisuus pieneen hengähdystaukoon. Yhteisellä varauksella korostetaan, että poikkeamia ei saa tulla minkään tehtävän osalta (RIL 276-2021, 148).

Kuva 8 esittää tahdistetun ja tahtituotannon eroavaisuuden: tahdistetussa tuotannossa puskurit sijoitetaan tehtäväpakettien väliin, kun taas tahtituotannossa vasta lopussa.



Kuva 8. Paikka-aikasuunnittelun ja tahtituotannon aikataulunäkymiä (RIL 276-2021, 147).

Jos kohdetta suunnitellaan alusta asti tahtituotantona, se sitouttaa myös tilaajan ja sitä kautta suunnittelijat edesauttamaan tahtituotannon toteuttamista. Heti suunnitteluvaiheessa täytyy aloittaa pohdiskelut, jotta saadaan parhaat edellytykset tahtituotannolle. Nämä edellytykset voivat olla mm. pienentämällä kuivumisaikoja, valitsemalla nopeammin asennettavia materiaaleja, laadukkailla suunnitelmilla tai jopa vähentämällä työvaiheita esivalmistuksen avulla.

4.2 Tahtituotannon ohjaus ja valvonta

Tahtituotanto vaatii nopeaa reagointia ja ongelmanratkaisukykyä. Nopeasti kulkeva tahtituotanto ei siedä ylimääräisiä häiriöitä, vaan näihin täytyy reagoida heti. Työnjohdolle mahdolliset tahtituotannon häiriöt täytyy olla ennakoitavissa, eikä antaa häiriöitten tulla täytenä yllätyksenä. Pahimmassa tilanteessa koko tahtituotanto saattaa kaatua, kun aikaa ja resursseja käytetään tahtituotannon korjaamiseen. Tästä syystä työnjohdolle on tärkeitä dokumentoida tuotannon etenemistä, suorittaa päivittäisiä työmaakäyntejä (vaikka päivän päätteeksi) ja kommunikoida työtä tekevien henkilöiden kanssa. Tahtituotantoa ei kuitenkaan voi seurata työmaatoimistosta, vaan työmaakierrokset ovat välttämättömiä. Dokumentointia ja raportointia varten suositellaankin digitaalisten työkalujen käyttöä, jotka tukevat ja auttavat projektinhallintaa ja aikatauluttamista tuotannon aikana. (Keskiniva ym. 2021) Tahtituotannon ohjauksen edesauttamista varten, työmaalla voi suorittaa kolmea eri viikkotapaamista:

- **tahdin ohjaustapaaminen**, jossa käydään tahtiaikatauluun liittyvät ongelmat läpi ja keskustellaan tahdin ylläpidosta
- **urakoitsijapalaveri**, jossa tekniset ongelmat käydään läpi ja ratkaistaan
- **vastaavan työnjohtajan kokous**, jossa käydään läpi pääurakoitsijan sisäisiä ongelmia läpi

Tapaamisilla on myös tarkoitus luoda viestintäyhteys eri osapuolten välillä, jotka ei välttämättä tapaa työmaalla päivittäin. Esimerkiksi aliurakoitsijoiden työnjohtajat, saattavat käydä työmaalla ilman, että käyvät keskustelua työmaan työnjohdon kanssa. Tapaamisiin onkin hyvä luoda asialista, johon kerää asioita valmiiksi esitettäväksi muille osallistuville (Lehtovaara ym. 2019).

4.3 Tahtiaikataulun ohjausmekanismit

Tahtituotannon ohjauksessa ja valvonnassa on selkeä ero perinteisen tuotantomenetelmiin verrattuna. Merkittävin ero tahtituotannossa on monen eri työvaiheen äkillinen käynnistyminen jo ensimmäisen viikon sisällä. Nopeampi aikataulu pakottaa mahdolliset ongelmatilanteet ilmaantumaan esille, jotka normaalisti tulisivat eteen vasta kuukausien kuluessa. Tahtituotannon aloitus kuormittaakin työnjohtoa huomattavasti enemmän, kun ongelmat joudutaan ratkaisemaan jo heti alkuun. Tämä onkin Lean ajattelun mukaisesti tarkoituskin, että ongelmat ratkaistaan heti. Kun ongelmat on ratkaistu jo heti alussa, päästään vähemmällä myöhemmin (RIL 276-2021, 154)

Tahtituotannon käynnistäminen onkin se haastavin ja kriittisin vaihe tahtituotannossa. Aloitus voi synnyttää ongelmatilanteita, jotka ilmaantuvat vasta kesken tahtituotantoa. Mikäli tahtituotannossa ilmenee ongelmia, ne pitää ratkaista mahdollisimman pian. Tahtituotannon ohjausta varten käytetään eri ohjausmekanismeja, joilla saadaan pidettyä tuotantoa hallinnassa ongelmatilanteiden ilmetessä. Yleisimpiä ohjausmekanismeja on mm. tahtialueen irrotus, tyhjä vaunun hyödyntäminen ja tahtijunan pysäytys. Mikäli tilanne vaatii, voi luoda puskureita tahtijunien väliin, mutta tämä tapa pidentää lopullista aikataulua. (Binninger ym. 2017.)

Tahtialueen irrottamisella tarkoitetaan tahtialueen hyppäämistä yli yhden tahtiajan verran, jolloin tahtialueella havaitut ongelmat voidaan ratkaista rauhassa, alkuperäisellä työlle varatulla ajalla. Esimerkkinä toimii alla näkyvä kuva 9, joka havainnollistaa tahtialueen irrottamista. Kuvan mukaan tahtialue 4 on tyhjiillään tahtiaikoina 4, 5 ja 6 jolloin ongelmaa ratkaistaan. Kyseiset työt on siirretty tahtiajoille 6, 7 ja 8, kuitenkin niin, ettei tule päällekkäisyyksiä tahtialueissa. Työtehtävät voi myös tilanteen vaatiessa siirtää viimeiselle vaunulle, jolloin yli hypätty tahtialueen työt tulevat taas työn alle viimeisenä. Esimerkkinä voi ottaa tehdasmaailman liukuhihnan, jossa viallinen tuote poistetaan hetkeksi liukuhihnalta ja pistetään takaisin jonon päähän uudelleen virtautusta varten (Binninger ym. 2017.)

		TAHTIAIKA							
		Tahtiaika 1	Tahtiaika 2	Tahtiaika 3	Tahtiaika 4	Tahtiaika 5	Tahtiaika 6	Tahtiaika 7	Tahtiaika 8
TAHTIALUE	TA 1	Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3					
	TA 2		Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3				
	TA 3			Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3			
	TA 4						Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA 5				Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA 6					Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA 7						Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3

Kuva 9. Tahtialueen irrottaminen mekanismi.

Tahtialueen irrottamista käytetään yleensä tilanteissa, kun tahtialueella on havaittu ongelma, jota ei pysty tahtiajan aikana ratkaisemaan. Ohjausmekanismi luo hetkellisen ajan, jolloin ongelmaa päästään ratkaisemaan rauhassa. Kyseistä mekanisme voi hyödyntää myös silloin, jos tarvittavia materiaaleja ei ole saatu tilattua ajoissa kohteelle. Linjasaneeraushankkeissa on tilanteita, kun osakas teettää pääurakoitsijan kautta lisätöitä asunnolle. Kun lisätyötarjous on hyväksytty voi vasta silloin kyseiset työt aloittaa. Viivästynyt päätöksenteko lisätöille voi luoda tarpeen tahtialueen irrottamiselle (Binninger ym. 2017.)

Tyhjää vaunua käytetään tilanteissa, kun halutaan varmistaa työn laatu tiettyjen työtehtävien jälkeen. Tyhjä vaunu sijoitetaan heti kyseisten tehtävien jälkeen, jolloin tahtialueella ei tehdä minkäänlaista työtä varatun tahtiajan verran. Kuva 10 havainnollistaa tyhjän vaunun käyttöä. Tehtävä 1 jälkeen tahtiaikatauluun sijoitetaan tyhjiä vaunuja jokaiselle tahtialueelle yhden tahtiajan verran, jolloin seuraavaan tehtävään pääsee vasta kolmannella tahtiajalla. Menetelmää voidaan verrata esimerkiksi liukuhihnan tyhjäkäyntiä heti huollon jälkeen. Tarkoituksena on varmistaa, että liukuhihna toimii kuten kuuluukin – varmistua laadusta (Binninger ym. 2017.)

		TAHTIAIKA							
		Tahtiaika 1	Tahtiaika 2	Tahtiaika 3	Tahtiaika 4	Tahtiaika 5	Tahtiaika 6	Tahtiaika 7	Tahtiaika 8
TAHTIALUE	TA 1	Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2	Tehtävä 3				
	TA 2		Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2	Tehtävä 3			
	TA 3			Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA 4				Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA 5					Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA 6						Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU	Tehtävä 2
	TA 7							Tehtävä 1	TYHJÄ VAUNU

Kuva 10. Tyhjä vaunu mekanismi.

Ohjausmekanismeja käytetään esimerkiksi betoni-, tasoitus- tai maalaustöiden kuivumisen varmistamiseksi. Tiettyjen rakennusmateriaalien kuivumisajat vaihtelevat ja niitä täytyy huomioida tahtiaikataulussa. Linjasaneerauksissa tyhjiä vaunuja tarvitaan mm. lattiavaluissa, seinätasoituksissa, maalaustöissä tai jopa vesieristeiden tarkastuksia varten. Tyhjiä vaunuja voi käyttää myös yksittäisinä kappaleina, kun on tiedossa vapaapäivä tietyllä asentajalla. Tyhjiä vaunuja yleensä käytetäänkin ennalta ennakoitaviin tilanteita varten. Mekanismeja ei kannata kuitenkaan liikaa käyttää eri tahtiajoille, josta voi syntyä väärinymmärryksiä. Selkeä aikataulu on yksi tahtituotannon pääperiaatteista.

Tahtijunan pysäytys toteutetaan silloin, jos havaitaan ongelma, joka ei ratkea saman tahtiajan puitteissa. Tahtituotanto pysäytetään välittömästi ja ongelmaa lähdetään selvittämään ja ratkomaan koko työmaan resursseilla. Pysäytyksen kesto riippuu siitä, kuinka isosta ongelmasta on kyse. Tahtijunan pysäytyksen päätyttyä, tuotanto jatkuu siitä mihin se jäikin normaaliin tapaan. Kuva 11 kuvastaa tahtiaikataulua, jossa tahtijunan pysäytystä toteutetaan yhden tahtiajan verran. Pysäytykseen ei saa kuitenkaan käyttää liian montaa tahtiaikaa, vaan ongelman täytyy saada ratkaistua välittömästi. Tahtituotannon liian pitkäkestoinen pysäytys vaikuttaa kokonaisaikatauluun ja työmaan resurssit valuvat hukkaan (Binninger ym. 2017.)

		TAHTIAIKA								
		Tahtiaika 1	Tahtiaika 2	Tahtiaika 3	Tahtiaika 4	Tahtiaika 5	Tahtiaika 6	Tahtiaika 7	Tahtiaika 8	
TAHTIALUE	TA 1	Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	JUNAN PYSÄYTYS					
	TA 2		Tehtävä 1	Tehtävä 2		Tehtävä 3				
	TA 3			Tehtävä 1		Tehtävä 2	Tehtävä 3			
	TA 4					Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3		
	TA 5						Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3	
	TA 6							Tehtävä 1	Tehtävä 2	Tehtävä 3
	TA 7								Tehtävä 1	Tehtävä 2
	TA 8									Tehtävä 1

Kuva 11. Tahtijunan pysäytys mekanismi.

Tahtijunan pysäytystä käytetään myös mahdollisissa tilanteissa, jolloin työskentely kyseisellä työmaalla saattaa olla hengenvaarallista esimerkiksi tulipalon syttyessä. Tällöin koko työmaa pitää tyhjentää ja työt jäävät siihen. Työnjohto luo uuden tahtiaikataulun, jossa huomioidaan tahtijunan pysäytys. Tahtijunan pysäytystä voi verrata liukuhinnan pysäyttämistä ongelman korjaamista varten. Tuotteet jäävät sellaisenaan hinnalle ja lähtevät taas liikkeelle, kun kaikki on taas kunnossa. (Binninger ym. 2017)

4.4 Tahtiaikataulun toteutus linjasaneeraushankkeessa

Tahtiaikataulun toteutusta varten otetaan kohteeksi perinteinen linjasaneeraus, jossa uusitaan kauttaaltaan viemäri- ja vesijohdot. On olemassa eri linjasaneerausmenetelmiä, mutta perinteisessä putkiremontissa on monta eri työvaihetta, joiden tähden tahtiaikataulu on mainio menetelmä.

4.4.1 Kohteen lähtötiedot

Kohteena toimii 1960–1970-luvulla rakennettu asuinkerrostalo. Kohteessa uusitaan kaikki vesi- ja viemärijohdot. Kohteessa uusitaan vesieristykset, lattiakaivot, alakatot, pintamateriaalit, pintakalusteet sekä näkyville vesijohdoille toteutetaan esteettisesti vaatimattomat kotelot. Kohteessa suoritetaan myös sähköistyksen uusiminen sekä ilmanvaihdon nuohous ja säätötyö. Asuinkerrostalo on betonielementeistä tai paikalla valettu betonirunko. Väliseinät ja tekniikkahormit on yleensä tehty kevyemmistä siporex-harkoista, jotka purkuvaiheessa saattavat helposti rikkoutua

Linjasaneerauskohteitten asuinkerrosmäärät vaihtelevat mutta yleisesti voidaan puhua noin seitsemänkerroksisesta asuinkerrostalosta. Asuntolinjoja on yleensä 3–4 rappua kohden.

4.4.2 Tahtialueiden luonti

Tahtiaikataulua varten linjasaneerattava kohde jaetaan eri lohkoihin ja tahtialueisiin. Asuntolinjat luetellaan järjestyksessä ja jokaisesta linjasta luodaan oma tahtiaikataulu. Tahtialueina kannattaa käyttää selkeitä alueita, joissa työnteko tapahtuu. Linjasaneerauksessa tahtialueiksi voidaan luokitella kylpyhuone ja erikseen muu huoneisto. Tahtialueitten avulla voi suunnitella helpommin ja tarkemmin eri työvaiheet, jotka toteutetaan huoneistossa. Usein tahtialueeksi löytyy luonnollinen tilajako, jota toistetaan kerroksittain tai asunnoittain.

Tahtialueiden luonnilla saadaan selkeä kuva siitä, mitä työtä tehdään, missäkin paikassa tehdään ja milloin sitä tehdään. Tarkoituksena on luoda looginen järjestys työvaiheille, jota voi helposti seurata

4.4.3 Työtehtävien listaus ja nimeäminen

Tahtialueelle määritetään kaikki työkohteessa tarvittavat tehtävät alusta loppuun sekä varataan aikaa ja resursseja. Työtehtävät voivat olla pääurakoitsijan tai aliurakoitsijan työvaiheita. Putkiremontin työvaiheet voivat sisältää esimerkiksi vesieristyksen, lattiavalut, alakattotyöt, vesi- ja viemärijohtojen asennustyöt. Tahtiaikataulussa korjaushankkeissa jätetään ulkopuolelle purkutyöt, reikien teot sekä talotekniikan runkoputket. Tahtiaikataulu käynnistyy siis valmiista puretusta betonipinnasta eli varsinaisella rakentamisella (RIL 276-2021.)

Tehtävät täytyy kuitenkin suunnitella niin, että ne ovat ajallisesti ja taloudellisesti järkeviä. Eri lyhytkestoisia työlajeja on tahtiaikataulun eduksi hyvä yhdistää yhdeksi työtehtäväksi, jolloin säästetään resursseja ja aikaa. Eri työryhmien kanssa täytyy suunnitella mitä työvaiheita kenellekin kuuluu ja luoda yhdessä työlistaa.

4.4.4 Työtehtävien mitoitus ja pakkaus

Tahtiaikataulua varten kullekin tehtävälle määritetään resurssit, ja tehtävien kestot joko lasketaan työmenekkien perusteella tai arvioidaan kokemusperäisesti. Näistä sitten muodostetaan loogisia ns. paketteja, joita kutsutaan tahtiaikataulussa "vaunuiksi". Parhaassa tapauksessa paketit sisältävät vain yhden resurssin, joka voi olla kenties vain yksi työmies tai työpanos. Esimerkiksi vesieristystöitä hankkeessa suositetaan omiksi paketeiksi. Työ on selkeä ja looginen, mitä toistetaan asunnosta toiseen liukuhihnan tavoin (RIL 276-2021, 152.)

Tehtävien työmenekki määritellään käyttämällä yrityksen omaa kokemustietoa, yrityksen tietoa tai yleisiä käytössä olevia työmenekkejä, kuten Ratu-tömenekkitietoja. Työmenekillä tarkoitetaan aikaa ja resursseja, mitä käytetään yhden työtehtävän suorittamisessa. Kokonaistyömenekki voidaan laskea työryhmän koon ja työtehtävien menekin mukaan. Tämän avulla saadaan selville työtehtävän keston tunteina. Esimerkkinä voi ottaa kuvan 12 esittämän laskentataulukon (Ratu KI-6021, 2017, 78).

Työmenekki = [tth/yks]	$\frac{\text{Työntekijätuntia}}{\text{Suoritemäärä}}$
Työryhmän työmenekki = [tth/yks]	$\sum (\text{Työntekijöiden työmenekki})$
Työsaavutus = [yks/h]	$\frac{1}{\text{Työmenekki [tth/yks]}}$
Työryhmän työsaavutus = [yks/tv]	$\frac{\text{Työryhmä} \times 8 \text{ tth/tv}}{\text{Työmenekki [tth/yks]}}$

Kuva 12. Työmenekin laskentataulukko (Ratu KI-6021, 2017, 78.)

Työvaiheet saadaan aikamitoitettua tarkkaan tahtiaikatauluun. Jokaisesta huoneiston kylpyhuoneesta lasketaan erikseen pinta-alat, joilla kerrotaan työtehtävien kokonaismenekillä. Tulokseksi saadaan työtehtävän kesto työvuorona yhdelle työntekijälle. Mahdollinen pitkäkestoinen työ voidaan lyhentää lisäämällä työtehtävään työntekijöitä.

4.4.5 Tahtijunan muodostaminen

Tahtiaikataulun muodostaminen yksinkertaisesti perustuu siihen, että työpaketit siirretään tuotantojunaksi tahtituotantoa etenemistä kuvaavaan tahtiaikatauluun. Taulukko voi olla yksinkertainen Excel-ruudukko, missä vaakatasossa näytetään päivän tarkkuudella aika ja pystysuunnassa tahtiaikaruudut. Ensimmäinen tahtijuna voi olla esimerkiksi kylpyhuoneiden seinien tasoitukset ja siitä seuraava työpaketti. Tuotanto etenee siis tehtävöpakeittain vaakatasossa ja työryhmät siirtyvät diagonaalisesti seuraavaan työkohteeseen (RIL 276-2021, 152.)

On kuitenkin tärkeää ymmärtää, mihin järjestykseen tahtijunat laitetaan tahtiaikatauluun. Työtehtävien suoritusjärjestys yleensä riippuvat toisista tehtävistä. Esimerkiksi lattiavalua ei voi suorittaa asuinhuoneiston kylpyhuoneessa, ennen kun viemäryöt ja mahdollinen lattialämmitys on saatu päätökseen. Kuva 13 esittää kuinka taulukossa esitetyt työt on asetettu loogiseen järjestykseen.

1. Linja	pv 1	pv 2	pv 3	pv 4	pv 5	pv 6	pv 7	pv 8
1. asunto	Valuvalm. Lattialämmitys skaapelit	Lattiavalu	Vesieriste					
2. asunto		Valuvalm. Lattialämmitys skaapelit	Lattiavalu	Vesieriste				
3. asunto			Valuvalm. Lattialämmitys skaapelit	Lattiavalu	Vesieriste			
4. asunto				Valuvalm. Lattialämmitys skaapelit	Lattiavalu	Vesieriste		
5. asunto					Valuvalm. Lattialämmitys skaapelit	Lattiavalu	Vesieriste	

Kuva 13. Esimerkki linjasaneeraushankkeessa toistuvat työvaiheet aikataulussa (Pesonen 2021, 17)

4.4.6 Tahtiaikatauluun sitouttaminen

Tahtituotanto vaatii sitoutumista hankkeen jokaiselta osapuolelta. Tahtituotanto onnistuu vain, jos se on valmisteltu kunnolla ja siihen on oikeanlaiset edellytykset. Tahtituotannon tapauksessa ei suju sellainen perinteistä rakentamista leimaava menettely, missä aliurakkasopimukset tehdään hankinta- ja myyntimiesten kesken, ja aloituspalaverit pidetään työnjohdon kesken. Sen jälkeen työmaalle ilmestyy työntekijöitä, jotka ei tiedä mitä on sovittu, kenenkin kanssa. Tahtituotannossa jo aliurakoiden hankinta täytyy suorittaa suunnitelmallisesti ja kuitenkin jo suunnitteluvaiheessa (RIL 276-2021, 153.)

Lean-filosofia jo itsessään kumoaa ajatuksen, että aliurakoitsijan työn ohjaus on aliurakoitsijan oma asia. Tahtituotanto vaatii oikeanlaista ohjausta ja valvomista jokaiseen suuntaan. Pääurakoitsijan on varmistuttava aina, että jokainen osapuoli noudattaa tahtituotannon menetelmiä ja kunnioittaa tahtiaikataulun määräämää työtahtia. Tahtituotantomalli on tarkka työsuunnitelma, mitä aliurakoitsijan on sitouduttava noudattamaan jokaista työntekijää myöten (RIL 276-2021, 153.)

Tahtituotannossa ei ole välttämätöntä teettää jokaista työtä aliurakoitsijoilla vaan päinvastoin on eduksi, jos kohteessa käytetään omia työntekijöitä aliurakoitsijoiden sijaan. Kokemusten mukaan, jos tahtituotantoa varten kasvatetaan omista työntekijöistä osaavia tekijöitä ja työryhmiä niin hankkeeseen luodaan ns. ”selkäranka”, jotka auttavat vaihtuvia työntekijöitä sopeutumaan tekemisen tahtiin. Paras tapa saada tahtituotantoa toimimaan, onkin yleensä kouluttaa ja kasvattaa omia työntekijöitä soveltumaan tahtituotantoon. Tahtituotannon resurssit koostuvat aina yleensä jonkinlaisesta yhdistelmästä omia ja ulkoisia tekijöitä, ja tahtituotannon ohjauksen on sopeuduttava vallitsevaan tilanteeseen (RIL 276-2021, 153.)

4.5 Tahtituotannon hyödyt ja haitat linjasaneeraushankkeessa

Linjasaneerauksien tärkein asia on aikatauluissa pysyminen, varsinkin asuntokohtaisten töiden osalta. Hankkeen aloitus taloyhtiössä tietää asukkaille lievää äänihaittaa mutta ei muuten vaikuta asumiseen vasta silloin kun asuntokohtaiset työt alkavat. Asuminen huoneistossa töiden alettua on erittäin haastavaa ja raskasta. Töiden aikana asuinhuoneistoon ei tule sähköä, vettä eikä myöskään viemärit ole käytössä. Tästä syystä poismuutto on melkein välttämätöntä. Muutto muualle töiden ajaksi onkin asukkaille haastavaa ja saattaa jopa aiheuttaa vastarintaa koko hankkeelle. Joten hankkeelle asetetaan tiukka aikataulu, jota on pakko noudattaa tavalla tai toisella. Onnistuneella tahtituotannolla, töiden kokonaiskestoa voidaan lyhentää huomattavasti (RIL 276-2021, 145.)

Tahtituotannon parhaimpana etuna linjasaneeraushankkeessa on työmaan eteneminen itsenäisesti kuin liukuhihnalla. Linjasaneerauksissa työnjohdolle kuormittavin työ on taloyhtiön osakkaiden ja asukkaiden huomioiminen töiden ohella. Tahtituotannon avulla työnjohdolla on enemmän aikaa hoitaa asiakaspalvelua ja suorittaa muitakin katselmuksia, kun työt etenevät itsestään. Riittää kun työnjohto suorittaa loppupäivästä työmaakerroksen ja pitää kirjaa, eteneekö tahtituotanto oikeaoppisesti ja aikataulun mukaan.

Tahtituotannossa korostetaan myös yhteishenkeä jokaiselta osapuolelta. Jos työmaalla vaihtelee työntekijöiden määrä jatkuvasti ja uusia työmiehiä tulee kesken kaiken aloittelemaan, on tahtituotantoa hankalaa pitää yllä. Linjasaneeraustyömailla työmaan henkilöstö poikkeaa rajusti tavallisimmilta uudistustyömailta. Uudistuotantoon verrattuna, linjasaneerauksissa yleensä työmaaväki pysyy samana alusta loppuun asti. Näin ollen ei tarvitse aina perehdyttää uusia ihmisiä tahtituotantoon, jolloin käytetään ylimääräistä aikaa. Parhaimmassa tapauksessa sama työporukka siirretään työmaalta toiseen yhtenäisenä pakettina.

Tahtituotannolla on myös haittapuolia, joista isoimpana pidetään menetelmän tunteminen. Ensivaikutelmana tahtituotanto saattaa vaikuttaa vain menetelmältä, jolla pyritään vauhdittamaan työntekoa työmaalla.

Tahtituotantoon totuttelua varten, tarvitaan oikeanlaista asennetta, jota ei valitettavasti ehkä löydy kaikilta osapuolilta. Linjasaneerauksissa saattaa olla myös eri maan kansalaisia, joiden kanssa kommunikointi voi olla ongelmallista.

Linjasaneerauksien työt yleensä käynnistyvät taloyhtiöiden yleisissä tiloissa.

Silloin työmaalle tuodaan muutama työntekijä aloittelemaan suojaustöillä ja muilla lievimmillä töillä. Työnjohto näinä aikoina suorittaa

huoneistokatselmuksia, jolloin aikaa luoda tahtituotantoa jää vähäiselle.

Aliurakoitsijat saapuvat yleensä työmaalle vasta silloin kun niiden varsinaiset työt alkavat. Joten näillä resursseilla, tahtituotannon aloitusta suunnittelee vain työnjohto, jolloin muut pääsevät mukaan liian myöhään. Huono aloitus tahtituotannolle merkitsee yleensä sen jättämistä pois kokonaan jälkepäin tulevissa hankkeissa.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli tarkastella linjasaneeraushanketta ja sen osapuolia. Linjasaneeraukset ovat suuria ja haasteellisia hankkeita, etenkin osakkaille ja asukkaille. Hankkeen haasteellisuus alkaa jo siitä, kun ruvetaan miettimään ääneen linjasaneerauksen tarvetta. Ajatus omasta kodista poismuuttaminen töiden ajaksi, voi luoda vastarintaa koko hankkeelle. Tämä luo jo alkuvaiheilla närkästystä ja tarkkaavaisuutta aikataulun suhteen. Hyvällä hankevalmistelulla ja laadukkaalla projektisuunnitelmalla vastarintaa saadaan rauhoitettua ja hanke edistyy. Kuitenkin taloyhtiön asukkaille ja osakkaille tärkein asia hankkeessa on itse aikataulu ja sen noudattaminen. Rakennusteknisistä toteutuksista vastaavat muut hankkeen osapuolet. Hankkeen osapuolet suunnittelevat yhdessä esimerkiksi: korjaushankkeen laajuuden, toteutusmuodot ja kokonaisaikataulun. Hankesuunnittelun vaiheilla voi tuoda esille mahdollisuuden toteuttaa hanke tahtiaikatuotannon menetelmillä.

Tahtiaikatuotannon käyttö rakennusteollisuudessa mietityttää ja puhuttaa. Rakennusalalla kilpailutus pistää yrityksiä panostamaan tehokkaampaan työskentelyyn ja entistä lyhyempiin aikatauluihin. Onnistunut tahtiaikatuotanto teoriassa saattaa lyhentää kohteen läpivientiaikaa, mutta se vaatii paljon suunnittelua, sitouttamista, ohjausta ja valvontaa sekä asenteen muuttamista tuotannon toteutukseen liittyen. Jo heti tahtiaikatuotannon suunnitteluvaiheilla täytyy jokaisen osapuolen olla mukana ja tunnistaa oman roolinsa tärkeys hankkeessa.

Tahtiaikatuotantoa sovelletaan kohteissa, joissa samat työvaiheet toistuvat monessa samantyyppisessä lohossa. Kohteina voivat olla esimerkiksi hotellit, kerrostalot, toimistorakennukset tai rivitalot. Linjasaneeraushankkeissa on monta eri asuntoa, jotka ovat pohjaratkaisuiltaan samanlaisia ja joissa tehdään samat työt asunnosta toiseen. Teoriassa tahtituotantoa voi hyvinkin soveltaa linjasaneeraushankkeisiin ja lopputuloksena voi olla erittäin onnistunut hanke.

Tahtiaikatuotannon menetelmien hyödyntämistä työmaalla pitää kuitenkin miettiä realistisesti. Jos pääurakoitsija on tottunut vanhoihin tuotannonmenetelmiin, eikä anna todellisuudessa tilaa kehitykselle ja innovaatiolle, voi tahtituotannon toteutus olla erittäin haastavaa. Ei riitä, että pelkästään työmaan työnjohto on innokas kokeilemaan tahtiaikatuotantoa. Pahimmassa tapauksessa, tahtiaikatuotannon vaativa aloitus kaatuu työnjohdolle hoidettavaksi yksinään ja siitä syntyy vain epätoivoinen yritys. Kuitenkin epäonnistunut tahtituotanto johtaa vain siihen, että työmaa palautuu takaisin perinteiseen tuotantomalliin.

Opinnäytetyön tilaajana toimii H&B Rakennussaneeraus Oy. Työn tilaaja on ottanut työkseen uudistaa tuotantomenetelmiään ja perehtyä uudelleen linjasaneerauksiin. Tavoitteena oli luoda opinnäytetyöstä työkalu, jolla pyritään perehdyttämään yrityksen toimihenkilöitä tahtiaikatuotantoon.

Lähteet

Betonia Oy 2020. Elementtirakentamisen historia. Viitattu 6.3.2023.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Binninger, M.; Dlouhy, J.; Steuer, D.; & Haghsheno, S. 2017. Adjustment Mechanisms for Demand Oriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece Viitattu 6.3.2023.
<https://iglc.net/Papers/Details/1461>

Haghsheno, S.; Binninger, M.; Dlouhy, J.; & Sterlike, S. 2016. History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. Viitattu 6.3.2023.
<https://www.iglc.net/papers/details/1297>

Keskiniva, K.; Saari, A.; & Junnonen, J-M. 2021. Takt Production Monitoring and Control in Apartment Renovation Projects. Viitattu 6.3.2023.
<https://trepo.tuni.fi/handle/10024/133076>

KH 02-00530. Asuntojen märkätilojen korjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy

Lean construction 2023. An introduction to Lean Construction. Viitattu 6.3.2023.
<https://leanconstruction.org/lean-topics/lean-construction/>

Lehtovaara, J.; Mustonen, I.; Peuronen, P.; Seppänen, O.; & Peltokorpi, A. 2019. Implementing takt planning and takt control into residential construction. Viitattu 6.3.2023. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/40057>

Mölsä, S. 2019. Onko tahtituotanto työmaalle riski? – 25 mestarin kokemukset kertovat joustavuudesta ja laadun paranemisesta. Rakennuslehti Viitattu 6.3.2023. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/11/onko-tahtituotanto-joustamaton-riskikokeilu-building-2030-testasi-asian-pilottiprojekteissa/>

Pesonen, J. 2021. Linjasaneerauksen aikataulut. Opinnäytetyö. Tekniikan ja liikenteen ala. Kuopio. Viitattu 6.3.2023.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/512360/Pesonen_Suvi.pdf?sequence=2

Ratu G-0295. 2006. Linjasaneeraus. Toteutusohje. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu KI-6021. 2017. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RIL 252-1-2009. 2009. Asuinkerrostalojen linjasaneeraus – hankeprosessi ja tekniset ratkaisut 60- ja 70-lukujen kerrostaloissa, osa 1 Perusteet ja ohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 268-2017. 2017. Asuinkiinteistöä kehittävä linjasaneeraus – strategia, suunnittelu ja toteutus. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 276-2021. 2021. Lean rakentamisessa - arvoa luovan rakentamisen periaatteet, menetelmät ja työkalut. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Sitedrive Oy. Tahtituotanto rakentamisen tahtiaika. Viitattu 6.3.2023.
<https://sitedrive.com/fi/tahtituotanto>

Tocoman Oy 2022. Tahtiaikataulu + tahtiaikataulutuksen webinaari. Viitattu 2023. <https://www.tocoman.fi/webinaari-tahtiaika>

Welles, H. 2020. Introducing the Basics of Lean Construction Methods. Construct Connect. Viitattu 6.3.2023.
<https://www.constructconnect.com/blog/the-basics-of-lean-construction-methods>