



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

Metsäteollisuuden rakenteet

Lean-ajattelu osana rakennusprojektia

Julia Rahkonen

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2017

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikka

RAHKONEN JULIA
Metsäteollisuuden rakenteet
Lean-ajattelu osana rakennusprojektia

Opinnäytetyö 64 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Huhtikuu 2017

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennustekniikan teollisuuden suunnitteluun keskittyneelle yksikölle. Yksiköllä on pitkäaikainen kokemus puunjalostusteollisuuden projekteista. Opinnäytetyössä kerrotaan puunjalostuslaitoksien tyypillisistä runkoratkaisuista ja perehdytään lean-ajatteluun teollisuusprojektissa. Työn ohella luotiin yhtenäinen detaljikirjasto koskien teollisuusrakenteiden tyypitettyjä runkoliitosdetaljeja, niihin liittyviä täydentäviä detaljeja sekä tehdasstandardeja.

Organisaatioon on yhdistynyt viime vuosina monta yritystä ja suunnittelukäytäntö on ollut kirjavaa. Teollisuusprojektit ovat laajoja ja ne joudutaan usein aloittamaan lähes ilman lähtötietoja, jolloin suunnitelmia täytyy työstää standardiratkaisuina. Detaljikirjaston tavoitteena oli luoda teollisuusrakenteiden suunnittelijoille työn apuna oleva työkalu, joka yhtenäistäisi työtapaa ja tehostaisi suunnittelua hyödyntäen löydettyjä standardiratkaisuja. Detaljikirjasto koottiin toimeksiantajan vanhoissa projekteissa käytetyillä ja hyväksi todetuilla ratkaisuilla, joista vanhimmat olivat peräisin jopa 70-luvulta.

Opinnäytetyössä perehdytään lean-ajatteluun, jonka avulla voitaisiin parantaa koko teollisuusprojektien tehokkuutta, laatua ja asiakastyytyväisyyttä. Lean-ajattelu rakentamisessa on ennustettavan ja virtaavan työnkulun luomista välttämällä tilanteita, jossa jonkun osapuolen työpanosta joudutaan odottelemaan. Työssä päädyttiin myös käsittelemään suunnittelutyötä tehostavan detaljikirjaston taustalla olevaa teollisuusrakennusrunkoa kokonaisuudessaan. Teollisuusrakentamisesta ei opinnäytetyötä tehtäessä löytynyt selkeää lähdeaineistoa, joten tiedot kasattiin haastatteluiden ja vanhojen projektitietojen avulla. Opinnäytetyössä tutkittiin erityisesti puunjalostuslaitoksien tyypillisiä runkoratkaisuja ja tuotiin esiin poikkeavuuksia muihin rakentamisen aloihin.

Työn tuloksena luotu detaljikirjasto on ei ole julkaistavaa materiaalia, eikä sitä nähdä tämän opinnäytetyön liitteenä. Työssä kuitenkin eriteltiin yksinkertaistettuja runkodetaljeja, joita teollisuusrakenteiden suunnittelutyössä yleensä tulee vastaan. Detaljikirjasto julkaistaan yrityksen intranetissä. Tuotettua detaljikirjastoa voitaisiin jatkokehittää esimerkiksi luomalla vakiodetaljit suoraan Tekla Structures -suunnitteluohjelmistoon.

Asiasanat: teollisuusrakennukset, rakennesuunnittelu, betonielementit, detaljit, liitokset, lean-ajattelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

JULIA RAHKONEN:
Building structures in wood industry
Lean-production in a building project

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 1 page
April 2017

This thesis was created for the department of wood-processing industry within Sweco Structural Engineering. This study explains the typical frameworks used within the wood industry and explores lean productivity for industrial projects. In addition to the thesis, a standard detail library was created which includes connections in framework and secondary structures.

Several companies have merged into the organization during the last few years and as a result, customs in structural design have experienced change. Because industrial projects are extensive and often initiated without quality source information, standardized structures must be used. The goal of the standard detail library is to make the design work more efficient and uniform. The library was gathered using functional details utilized in older projects, some of which span as far back as the 70's.

The thesis concentrates on lean production which can improve the efficiency, quality and customer satisfaction in industrial projects. During the study, it was noted that there is insufficient information around industrial structures as a whole. As such, the thesis also includes analysis around the structure of industrial buildings. The information was gathered mainly through research of previous organizational projects and project manager interviews.

The standard detail library produced during this thesis isn't public and as such not attached. However, some of the typical framework-related details were introduced with a simplified layout. The actual library will be published within the organization's intranet. The produced library could be further developed by creating the details as components within engineering software called Tekla Structures.

Key words: industrial buildings, structural design, precast concrete, connection details, lean production

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | TEOLLISUUSRAKENTAMINEN | 10 |
| 1.1 | Toimeksiantaja | 10 |
| 1.2 | Teollisuusrakentaminen Suomessa | 10 |
| 1.3 | Lean-ajattelu..... | 13 |
| 1.4 | Työn tavoitteet | 14 |
| 1.4.1 | Rajaukset | 15 |
| 2 | TEOLLISUUSRAKENTEET..... | 16 |
| 2.1 | Betoniteknikka ja elementtirakenteet..... | 16 |
| 2.1.1 | Teräsbetoni | 16 |
| 2.1.2 | Betonielementtirakentaminen..... | 17 |
| 2.1.3 | Runko-BES..... | 19 |
| 2.1.4 | Liitosdetaljit | 20 |
| 2.2 | Suunnittelu | 21 |
| 2.2.1 | Suunnittelustandardit ja ohjeet | 21 |
| 2.2.2 | Rakennesuunnittelu | 21 |
| 2.2.3 | Mitoitus | 23 |
| 2.3 | Teollisuusrakennuksen runkojärjestelmä | 23 |
| 2.4 | Puunjalostuslaitoksen rakenteet | 26 |
| 2.4.1 | Perustukset | 26 |
| 2.4.2 | Alapohjarakenteet..... | 27 |
| 2.4.3 | Pystyrakenteet | 27 |
| 2.4.4 | Vaakarakenteet | 29 |
| 2.4.5 | Seinärakenteet | 31 |
| 2.4.6 | Jäykistys | 31 |
| 2.4.7 | Teollisuusrakenteiden poikkeavuudet | 32 |
| 2.4.8 | Esimerkkitehtaat..... | 36 |
| 2.4.9 | Runkodetaljit | 38 |
| 3 | LEAN-AJATTELUN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUSPROJEKTEISSA | 45 |
| 3.1 | Lean-rakentaminen..... | 45 |
| 3.2 | Imuohjaus..... | 46 |
| 3.3 | Jatkuva virtaus..... | 48 |
| 3.4 | Hukan eliminointi | 49 |
| 3.5 | Lean-ajattelu rakennesuunnittelussa..... | 51 |
| 3.5.1 | Tehokkaat rakenneratkaisut..... | 52 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5.2 | Standardoidut rakenneratkaisut – luotu detaljikirjasto | 56 |
| 3.5.3 | Säästöt rakennuskustannuksissa | 56 |
| 3.6 | Jatkuva parantaminen..... | 56 |
| 4 | POHDINTA..... | 58 |
| 4.1 | Tiedonhallinta ja työn vaiheet..... | 58 |
| 4.2 | Työn tavoitteiden toteutuminen | 59 |
| 4.3 | Jatkokehitysehdotukset | 60 |
| | LÄHTEET..... | 62 |
| | LIITTEET | 65 |
| | Liite 1. Haastattelun kysymykset..... | 65 |

KUVAT

Kuva 1 Paperitehtaan rungon pystytys on pitkälti asennustyötä (Veijo Timonen 1995)

Kuva 2 Erään paperitehtaan pilari-palkkirunko (Veijo Timonen 1995)

Kuva 3 Paperitehtaan hoitotaso (Veijo Timonen 1995)

Kuva 4 Perustusrakenteita paperitehtaan työmaalla (Veijo Timonen 1995)

Kuva 5 Erään paperitehtaan monikerroksisia pilarielementtejä (Jouni Hollo 2001)

Kuva 6 Erään paperitehtaan monikerroksisia pilarielementtejä (Jouni Hollo 2001)

Kuva 7 I-harjapalkki (Leskelä, M. 2009, 43)

Kuva 8 HI-harjapalkki (Leskelä M. 2009, 44)

Kuva 9 Paperitehtaan pystytysvaihe (Hollo 1995)

Kuva 10 Teollisuushallin nosturirata (RT 82–10821, 2004, 11)

Kuva 11 Paperitehtaan jäykistysosat merkitty punaisella (Jouni Hollo 2001)

Kuva 12 Pitkälti paikallavaluna toteutettu paperitehdasrunko 60-luvulla (Jouni Hollo 2001)

Kuva 13 Erään paperitehtaan elementtirakenteinen runko 90-luvulla (Jouni Hollo 2001)

Kuva 14 Elementtirakenteisen tehtaan sisätilat saadaan nopeasti säältä suojaan (Veijo Timonen 1995)

Kuva 15 Lopullinen porras asennettuna jo rakennusvaiheessa (Veijo Timonen 1995)

KUVIOT

Kuvio 1 Rakentamisen määrä vuosina 1980–2015 (RT 8/2016, 10)

Kuvio 2 Teollisuus- ja varastorakennuksien rakennustuotanto 2000-luvulla (RT 10/2016, 4)

Kuvio 3 Teollisuusrakennuksien rakennustuotanto 1960–1970 -luvuilla (Kaista ym. 1977, 48)

Kuvio 4 Lean-toiminta (Mittaviiva Oy 2016)

Kuvio 5 Teräksiä ympäröivä betonipeite c teräsbetonipalkissa (By 201, 2004, 251)

Kuvio 6 Elementtirunkoisten osuus aloitetuista rakennuksista (Teollinen betonirakentaminen 1996, 182)

Kuvio 7 Betonipalkin reikien sijoitus (Elementtisuunnittelu n.d.)

Kuvio 8 Pilarisijoitus Runko-BES-mittajärjestelmässä (Teollinen betonirakentaminen 1996, 55)

Kuvio 9 Erilaisia kehärakenteita joista ympyröity esittää puunjalostuslaitoksien kehää

Kuvio 10 Tyypilliset pilariulokkeet ja niiden rauditusperiaatteet pilareissa (Elementtisuunnittelu n.d.)

Kuvio 11 Kuorilaattaratkaisun rakenneperiaate (Valmisosarakentaminen 1. 1995)

Kuvio 12 Paperitehtaan pituussuuntainen jäykistys A-pukeilla (Sweco 2017)

Kuvio 13 Teräksisen hallirakennuksen jäykistys (Hekkala 2008, 8)

Kuvio 14 Jäykistysristikoiden rasitukset

Kuvio 15 Tyypillinen 90-luvulla suunnitellun paperitehtaan poikkileikkaus (Hollo 1997)

Kuvio 16 Tyypillinen 2010-luvulla suunnitellun paperitehtaan poikkileikkaus (Sweco 2017)

Kuvio 17 Käsiteltävät runkodetaljit paperitehtaassa (Sweco)

Kuvio 18 Pilarielementin alapään kiinnitys

Kuvio 19 Pilarin ja palkin jäykkä liitos

Kuvio 20 Palkin tuenta pilariin teräksisillä piilokonsoleilla toimistorakennuksissa (RT 82–10821, 2004, 9)

Kuvio 21 Palkkien jäykkä liitos keskipilarilla

Kuvio 22 Palkin liitos pilariin vesikatolla

Kuvio 23 Pilarin ja nosturiradan kiinnitys

Kuvio 24 HI-palkin liitos pilariin

Kuvio 25 Paperitehtaan jäykistysosien liitokset (Sweco)

Kuvio 26 Jäykistys: Vinositeen alapään liitos säätövaralla

Kuvio 27 Jäykistys: Vinositeen alapään liitos säätövaralla

Kuvio 28 Jäykistys: Vinositeen yläpään liitos

Kuvio 29 Jäykistys: Vaakasiteiden liitos

Kuvio 30 Just in time (Logistiikan maailma n.d.)

Kuvio 31 Jatkuvan virran periaate (Avperea 2011)

Kuvio 32 Teollisuushankkeen rakentamisprosessi

Kuvio 33 Betonielementti- ja paikallavalurakentamiset vaiheet ja standardit (Teollinen betonirakentaminen 1996, 140)

Kuvio 34 Demingin ympyrä (Mannila M. 2015)

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------------------|---|
| RakMK | Suomen Rakentamismääräyskokoelma |
| eurokoodi | Euroopan unionin alueella käytettävä kantavan rakenteen suunnittelustandardi |
| revisio | tietojen tarkentumisesta tai suunnitteluvirheestä johtunut piirustusmuutos |
| läpivienti | rakenteeseen tehtävä aukko esimerkiksi taloteknisille laitteille |
| kN | kilonewton; rakenteen pistekuorman yksikkö |
| kN/m ² | kilonewtonia neliömetrille; rakenteen pintakuorman yksikkö |
| momenttipinta | taivutusrasituksen luoma rasituskuvio rakenteelle |
| mastopilari | alapäästään momenttijäykästi kiinnitetty pilari |
| hoitotaso | paperitehtaan välitaso; kantava välipohjarakenne |
| BES | Betonielementtistandardi; Suomessa kehitetty avoin betonielementtijärjestelmä |
| prosessi | tehtaan sisällä tapahtuva tuotantosarja |
| jänneväli | rakenteen tukien välinen etäisyys |
| lean | jatkuvan kehittämisen ja parantamisen johtamisfilosofia |

1 TEOLLISUUSRAKENTAMINEN

1.1 Toimeksiantaja

Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka tarjoaa laadukkaita suunnittelu- ja konsultointipalveluita kaiken kokoisiin hankkeisiin. Sweco Rakennetekniikkassa työskentelee yli 700 rakennetekniikan asiantuntijaa. Yritys muodostui, kun Aaro Kohonen Oy, Finnmap Consulting Oy, IS-Plan Oy, KPM-Engineering Oy ja Narmaplan Oy yhdistyivät vuosien 2012–2015 aikana. Sweco Rakennetekniikka Oy on osa Sweco Finlandia. (Sweco Rakennetekniikka on entistä vahvempi 2015.)

Swecon palvelut käsittävät koko rakentamisprosessin aina projektin alkuvaiheen esiselvityksistä loppuvaiheen ylläpito- ja laadunvarmistuspalveluihin saakka. Suomen Sweco-yhtiöihin kuuluvat Sweco Asiantuntijapalvelut Oy, Sweco Industry Oy, Sweco PM Oy, Sweco Rakennetekniikka Oy, Sweco Talotekniikka Oy, Sweco Ympäristö Oy, Sweco Architects Oy, Sweco International Oy ja Arkkitehtitoimisto Brunow & Maunula Oy. Sweco Finland on osa Sweco-konsernia, ja sillä on lähes 2 000 työntekijää 25 eri paikkakunnalla Suomessa. Toimeksiantoja on vuosittain noin 7 500. (Sweco Suomessa n.d.)

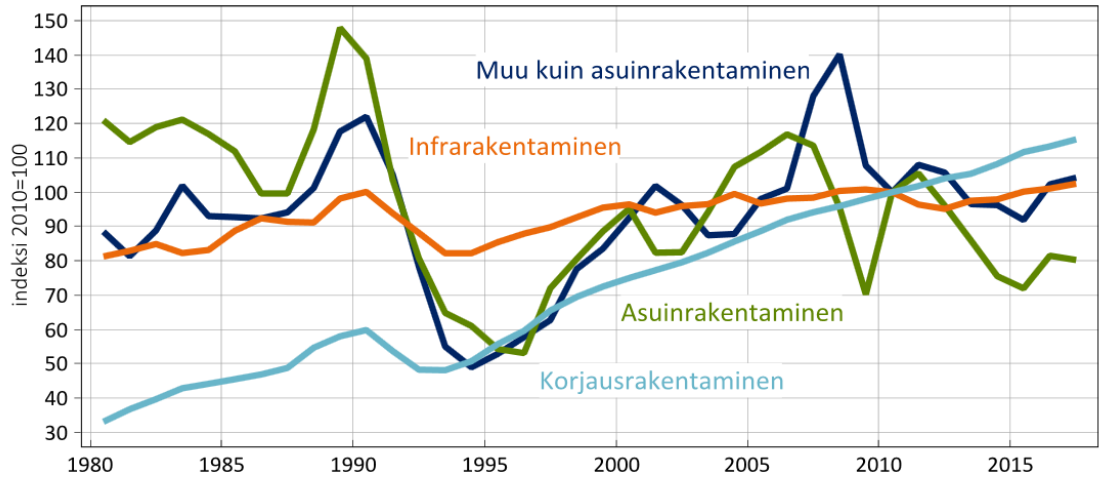
Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sweco Rakennetekniikka Oy:n teollisuusrakentamisen yksikkö, ja työ liitteinen tulee sen suunnittelijoiden käyttöön.

1.2 Teollisuusrakentaminen Suomessa

Teollisuuden osuus Suomen bruttokansantuotteesta on noin 32 % (Suomen ulkoasiainministeriö 2016). Teollisuusrakennuksien määrä on pitkään ollut toiseksi merkittävin osuus talonrakennustuotannosta heti asuinrakennuksien jälkeen. Vuonna 2016 käynnistyneitä teollisuus- ja varastorakennuksien hankkeita oli jopa 10 prosenttia edellisvuotta enemmän (RT 8/2016, 2-5.) **Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.** Nähdään, että rakennustuotanto Suomessa on yleisesti ottaen ollut samansuuntaista lukuun ottamatta korjaus- ja infrarakentamista, jotka eivät ole niin suhdanneriippuvaisia aloja kuin muu ra-

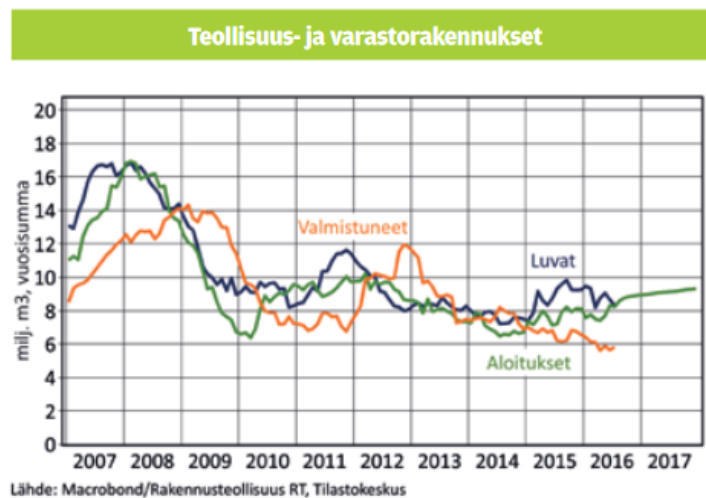
kennustuotanto (Rakennusteollisuus RT 8/2016, 10). Kuvioista Kuvio 2 ja Kuvio 3 voidaan huomata, että teollisuusrakentamisen määrä ja trendi on ollut 2000-luvulla samantyyppistä kuin 1960–1970-luvuilla.

Rakentamisen määrä



Lähde: Macrobond/Rakennusteollisuus RT, Euroconstruct

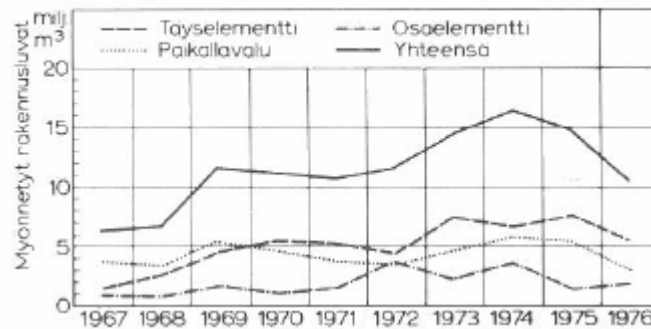
Kuvio 1 Rakentamisen määrä vuosina 1980–2015 (RT 8/2016, 10)



Lähde: Macrobond/Rakennusteollisuus RT, Tilastokeskus

Kuvio 2 Teollisuus- ja varastorakennuksien rakennustuotanto 2000-luvulla (RT 10/2016, 4)

64. Rakentamismenetelmien kehittyminen myönnettyjen rakennuslupien perusteella. Teollisuusrakennukset.



Kuvio 3 Teollisuusrakennuksien rakennustuotanto 1960–1970 -luvulla (Kaista ym. 1977, 48)

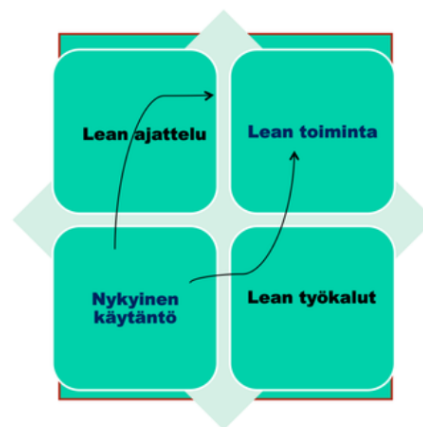
Metsäteollisuuden investointien nykytilanne on parempi kuin vuosiin. Suomen metsäteollisuuden uudet investoinnit olivat jäissä lähes 10 vuoden ajan, jolloin metsäyhtiöt investoivat ulkomaille, ja kotimaassa keskityttiin lähinnä prosessien ylläpitoon ja tehostamiseen. Nyt uusien investointien myötä puuteollisuuden projektit pitävät suunnittelutoimistoja kiireisinä. (Nissinen 2017.) Uusien tehdashankkeiden lisäksi tehtaita myös laajennetaan ja prosessissa hyödynnetään esimerkiksi selluprosessissa ylijääviä aineksia. Tästä hyvä esimerkki on Suomen metsäteollisuuden historian suurin investointi, Metsä Fibren biotuotetehdas, jossa Sweco on kattavasti mukana ja vastaa tehtaan toteutussuunnittelusta. Helsingin sanomissa (27.12.2016) haastateltu metsäteollisuuden tulevaisuutta tutkinut Euroopan metsäinstituutin apulaisjohtaja Lauri Hetemäki puoltaa Metsä Fibren hankkeen kannattavuutta: ”Äänekosken sellutehdas on hyvä esimerkki. Ison tehtaan ympärille tulee paljon pieniä yrittäjiä, jotka saavat elantonsa selluprosessissa ylijäävistä aineksista.” Uusi biotuotetehdas on valmistuttuaan modernein ja tehokkain maailmassa. (Sweco n.d.).

Swecon teollisuusrakentamisen yksikkö, jolle tämä opinnäytetyö tehdään, keskittyy teräsbetonirakenteiden suunnitteluun. Osasto suunnittelee suuria tehdashankkeita Suomen lisäksi myös maailmanlaajuisesti, käsittäen pääosin paperi- ja sellutehtaita sekä energiantuotantolaitoksia. Osasto tekee tiivistä yhteistyötä Sweco Industry Oy:n kanssa, joka on vaativien energia-, metsä-, kemian-, kaivos-, ja meriteollisuuskohteiden erikoisosaaja. Sweco Industry Oy hoitaa tehtaiden prosessi- ja laitossuunnittelun ja Rakennetekniikan osasto rakennesuunnittelun.

Suomen tärkein luonnonvara on edelleen metsät (Suomen suurlähetystö 2016). Sellu ja paperi ovat yksiä merkittävimmistä vientituotteistamme, sillä pohjoisen havupuun pitkäkuituinen sellu on ylivoimainen lujuutta ja sitkeyttä vaativiin tuotteisiin (Luukka 2016). Jotta teollisuusrakentaminen saataisiin voimakkaampaan nousuun, Rakennusteollisuus (3/2017, 5) kehottaa Suomen viestikysynnän vahventamista vientimarkkinoilla. Suunnittelutehokkuuteen ja lean-strategiaan on siis paneuduttava, jotta Suomen puunjalostusteollisuudesta ja sen vaatimasta rakennesuunnittelusta saadaan paras tuotto irti.

1.3 Lean-ajattelu

Toyotan autotehtaista lähtöisin oleva TPS (Toyota Production System) on tehokas tuotantojärjestelmä, ja siitä käytetään yleisesti nimitystä lean-ajattelu (Liker 2013, 15). Lean on toimintastrategia, joka pyrkii asiakasarvon maksimointiin parantamalla jatkuvasti prosessien virtaustehokkuutta sekä vähentämällä tuottamattomien resurssien käyttöä (LCI Finland n.d.). Autoteollisuudessa tehokkuuden merkki on, ettei välivarastoja ole eikä asioita tehdä liian aikaisin. Rakennusalalla lean-toimintastrategialla yritetään optimoida koko rakennusprojektiä pääsemällä ennustettavaan ja tasaiseen tuotantovirtaan, joka tarkoittaa töiden oikea-aikaistamista ja tuottamattoman työn eliminoimista. Jotta projekti saadaan toteutettuna tehokkaana lean-toimintana, on noudatettava lean-ajattelua ja prosessissa on oltava käytettävissä lean-työkaluja (Kuvio 4). Rakennusprosessissa tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi jos on mahdollista käyttää nopeita perusratkaisuja, olisi niihin olemassa valmis yhtenäinen käytäntö; tässä tapauksessa rakennesuunnittelun työkaluna toimiva vakiodetaljikirjasto.



Kuvio 4 Lean-toiminta (Mittaviiva Oy 2016)

Aikataulu on tärkeä rakennesuunnittelua ohjaava toiminto. Teollisuusprojekteissa hankinnat ohjaavat rakennesuunnittelua, ja usein lähtötietoja joudutaan arvaamaan, jotta projektin suunnittelu pysyy aikataulussa. Rakennesuunnittelu on kuitenkin vain osa koko prosessia. Kappaleessa 3 tutkitaan, että miten lean-ajattelua voidaan hyödyntää teollisuusprojekteissa.

1.4 Työn tavoitteet

Sweco pyrkii noudattamaan toiminnassaan lean-ajattelua, joka tapahtuu toimistolla tuottamattomia toimintoja poistamalla. Rakennesuunnittelu on perinteisesti pitkälti pohjautunut aiempien kohteiden suunnitelmien sekä niistä saadun kokemuksen ja osaamisen hyödyntämiseen. (Sipiläinen 2016, 9.) Tässä ilmenee kuitenkin haasteita, kun kyseessä on iso organisaatio. Vaikka lähtötietoja olisi talossa saatavilla valtavasti, on niiden metsästäminen usein aikaa vievää ja työlästä. Suunnittelijoilla ei välttämättä ole pääsyä vanhoihin projektikansioihin, ja paperiarkistojen luominen ja kartoittaminen ovat aikaa vievää. Projektin suunnittelu on tärkeä osa hanketta, ja tässä tulisi keskittyä myös siihen, miten suunnittelijoiden työtä saadaan yhtenäistettyä ja työtehtäviä standardoitua.

Teollisuusrakentamisen suunnitteluprojektit ovat usein laajoja ja ne käsittävät valtavan määrän eri detaljeja ja rakenneratkaisuja. Projekteihin tulee usein matkan varrella muutoksia, joten rakenneratkaisujen standardointi auttaisi myös ennakoimaan ja varautumaan nopeaan suunnitteluun. Kun eriävät suunnitelmat korvattaisiin yhtenäisillä ratkaisuilla, toimitettavien piirustuksien määrä pienenis ja projektin toteutus yksinkertaistuisi myös työmaalla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on eritellä teollisuusrakennuksien, ja tarkemmin puunjalostuslaitoksien, toimiviksi havaittuja rakenneratkaisuja, ja tutkia tapoja tehostaa projekteja kokonaisuudessaan. Rakennesuunnitelmiin on jo löydetty toimiva ja yhtenäinen linjaus, mutta rakennusprojektia kokonaisuudessaan voitaisiin vielä kehittää.

1.4.1 Rajaukset

Opinnäytetyö tarkastelee sellu- ja paperitehtaita Suomessa. Työhön sisällytetään tehdasrakennusten runkoratkaisut sekä kantavaan runkoon ja vaippaan liittyvät liitokset.

Työssä vertaillaan teollisuusrakentamisen poikkeavuuksia muihin rakentamisen aloihin sekä pohditaan lean-ajattelun vaikutukseen niin suunnittelussa kuin koko projektissa.

Opinnäytetyön lisäksi tuotetaan teollisuusrakenteiden vakiodetaljikokoelma, joka sisältää rungon toimintaan liittyvien liitosdetaljien (sekä niitä täydentävien detaljien) lisäksi myös muita vakiinnutettuja tehdasstandardeja. Työn ohella kerätyt detaljit käsittelevät paperi-, sellu- ja osin energiateollisuuskohteita. Työssä esitellään yksinkertaistettuina näistä detaljeista olennaisimmat.

2 TEOLLISUUSRAKENTEET

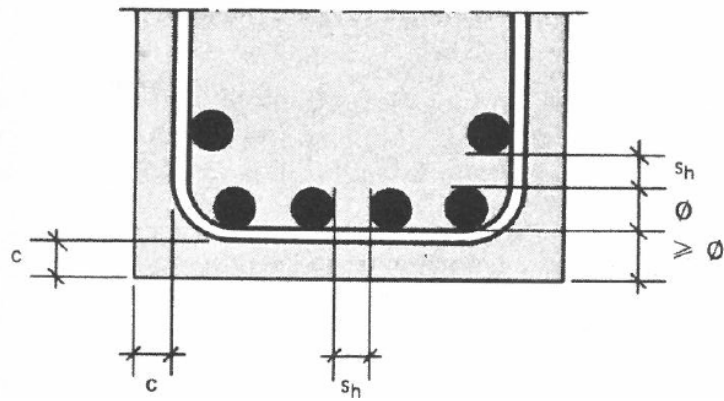
2.1 Betonitekniikka ja elementtirakenteet

2.1.1 Teräsbetoni

Teollisuusrakenteissa käytetään sekä teräs- että teräsbetonirakenteita. Muun muassa käytettävissä oleva valmistustekniikka, urakoitsijan valinta ja taloudellinen tilanne ohjaavat rakenteen valintaa. Suomessa betonirakenteet, ja erityisesti elementtirakenteet, ovat olleet usein kustannustehokkain vaihtoehto ja materiaaliominaisuuksiltaan sopivin. (Nissinen 2017.)

Teräsbetoni valmistetaan betonista ja terästangoista, joiden yhdistämisen myötä kyseisten materiaalien lujuusominaisuudet täydentävät toisiaan. Betonin vaatimattomat veto- ja leikkausominaisuudet ja toisaalta betonin ja raudoituksen yhteistoiminnan edut ovat johtaneet teräsbetonirakenteiden laajaan käyttöön. (By 201, 2004, 243–250.) Teollisuusrakenteissa teräsbetonisia rakenteita ovat yleensä kaikki kantavan rungon osat: perustukset, pilarit, palkit ja laatat.

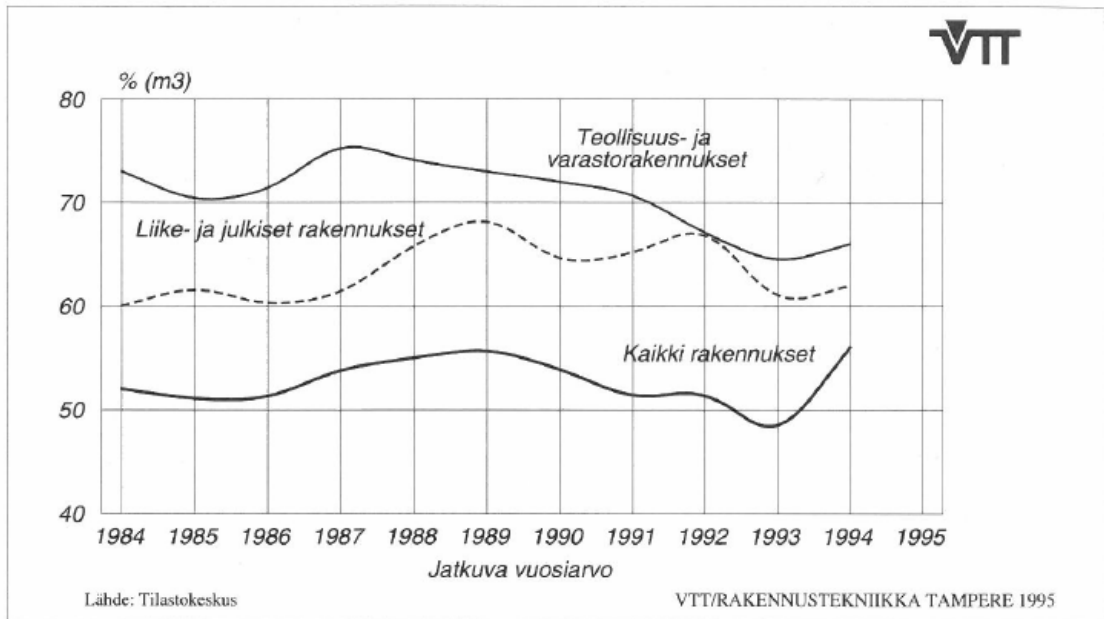
Hyvien lujuusominaisuuksien lisäksi teräsbetonilla on erinomainen kestävyys ympäristön rasituksille ja tulipalolle. Myös betonirakenteiden korroosionkestävyys teollisuuden aineille on hyvä. Tästä syystä teräsbetoni on erinomainen valinta teollisuusrakenteisiin, sillä verrattuna esimerkiksi teräkseen, teräsbetoni ei vaadi erillistä palosuojaa, ja sen säilyvyys on parempi. Teräsbetonin kestävyyttä ympäristön vaikutuksille, tulipalo mukaan lukien, säädellään raudoitteita suojaavan betonikerroksen eli betonipeitteen (Kuvio 5) avulla. Betonipeitteen tehtävä suojaamisen lisäksi on aikaansaada riittävä tartunta terästen ja betonin välille. (By 201, 2004, 254.)



Kuvio 5 Teräksiä ympäröivä betonipeite c teräsbetonipalkissa (By 201, 2004, 251)

2.1.2 Betonielementtirakentaminen

Teollisella betonielementtirakentamisella on Suomessa pitkät perinteet. Elementtitekniikkaa tutkittiin maailmalla jo ennen toista maailmansotaa, kun sodan tuhojen korjaamiseksi etsittiin mahdollisimman tehokasta ja taloudellista rakennustapaa. Elementtitekniologiaa alettiin kehittää Suomessa 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa, mutta lopulta elementtirakenteiden voimakas suuntaus lähti teollisuusrakentamisesta 60-luvulla. Täys- ja osaelementtirakenteisten rakennusten osuus kasvoi noin puoleen kaikesta rakennustuotannosta 1970-luvulla. (RIL 115, 1977, 5.) Nykyään puunjalostuslaitokset suunnittelevat pintavaluja lukuun ottamatta täyselementtirunkoiseksi (Hollo 2017). Verrattuna muihin rakennustyyppeihin, teollisuusrakennukset rakennetaan pisimmälle elementtirunkoisena (Kuvio 6).



Kuvio 6 Elementtirunkoisten osuus aloitetuista rakennuksista (Teollinen betonirakentaminen 1996, 182)

Vielä ennen 90-lukua suuri osa puunjalostuslaitoksien rungoista rakennettiin paikallavaluna. Vain kattopalkit toimitettiin työmaalle elementteinä. Tiukentuneiden aikatauluvaatimusten ja elementtiteknologian kehittymisen myötä puunjalostuslaitokset suunnittelään nykyisin (pintavaluja ja perustuksia lukuun ottamatta) täyselementtirunkoiseksi. Ensimmäinen täysin elementtirakenteinen puunjalostuslaitos Suomessa oli Rauman sel-lutehdas vuonna 1994. (Hollo 2017.)

Edistysaskel tehdasrunгон elementoimisessa oli kuorilaatan käyttöönotto 80-luvulla. Kuorilaatta toimii valumuottina, jolloin päällekkäisten tasojen samanaikainen valu on mahdollista. Tällä asennusaikainen tuenta voidaan minimoida tai jopa jättää pois. Kuorielementin käyttö mahdollistaa myös tasolle tulevien reikien jälkiporaamisen. Tämä jättää pelivaraa prosessisuunnittelulle, koska osa rei'istä voidaan tehdä tarpeen mukaan jälkikäteen. Joissakin tapauksissa betonivalun paksuus on kuitenkin niin suuri, että kuorilaatan kantokyky ei riitä ilman tuentaa. Tällöin betonivalut joudutaan suorittamaan kahdessa vaiheessa. (Hollo 1997.)

Myös työmaatoimintoja ollaan saatu helpotettua elementtirakentamisen myötä, kun työmaa saadaan rungon pystyttämisen jälkeen säältä suojaan. Kuten Kuva 1 voi nähdä, on tehdastyömaa nykyisin hyvin pitkälle asennustyömaa. (Hollo 2017.)



Kuva 1 Paperitehtaan rungon pystytyks on pitkälti asennustyötä (Veijo Timonen 1995)

Myös teräsrunгон soveltuvuutta paperitehtaisiin on testattu. Ongelmaksi todettiin betoniin verrattuna teräksen heikompi palonkestävyys ja säilyvyys sekä korroosio-ongelmat. Teräsrakenteiden mitoitus on myös tarkempaa, jolloin muutoksien tullessa rakenteiden suunnittelu on tehtävä uudestaan. Toisaalta teräsrunгон muunneltavuus jälkiasennuksiin on parempi kuin betonielementtirakenteilla. Betonin on kuitenkin todistettu palvelevan hyvin puunjalostuslaitosten runkona, koska se on helppo ja verrattain edullinen vaihtoehto. Suomeen on rakennettu yksi teräsrunkoinen paperitehdas vuonna 1989 (Rauman paperitehdas). (Hollo 2017.)

2.1.3 Runko-BES

Betonielementtistandardi eli BES-järjestelmä kehitettiin 70-luvulla vakioimaan ennätysellistä elementtirakenteista asuntotuotantoa Suomessa. Teknisenä tavoitteena oli tuottaa mittajärjestelmä, jonka avulla voidaan rakentaa standardoituja asunnon- ja talonosia massatuotantona. Järjestelmän kehitti Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö (SBK) ja se on edelleen käytössä. BES-järjestelmä perustuu kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja esijännitettyihin ontelolaattoihin (Elementtisuunnittelu n.d.).

BES-järjestelmästä jatkokehitettiin 1980-luvulla Runko-BES, joka on avoin betonielementtijärjestelmä teollisuus-, liike- ja julkisia rakennuksia varten. Järjestelmän muodostavat mitta- ja runkojärjestelmä, rakenneosien mitta- ja tyyppisuositus, suositukset rei'ille, tartunnoille ja jälkikiinnityksille sekä elementtien välisille liitoksille. (Runko-

BES 1986.) Runko-BES -elementtijärjestelmää käytetään myös puunjalostuslaitoksien rakenteiden suunnittelussa.

2.1.4 Liitosdetaljit

Teollisia elementtiliitoksia on kehitetty Suomessa 1960-luvulta lähtien. Yksi merkittävimpiä kehitystyöhön osallistuneita osapuolia on Peikko Group, joka on betonirakenteiden teräksisiin liitososiin ja liittorakenteisiin erikoistunut yritys. Kehittynyt teollinen liitosrakentaminen on parantanut suomalaisen elementtirakentamisen kilpailukykyä ja tehokkuutta. (Finland – home of precast expertise n.d., 10.)

Yleisimpiä teollisuusrakentamista koskevia liitoksia ovat kantavan rungon, rakennuksen vaipan ja näihin liittyvien sekundääristen rakenteiden liitokset. Teollisuusrakenteiden elementtiliitosten tulee olla monikäyttöisiä, yksinkertaisia ja nopeita toteuttaa työmaalla (Hollo 2017). Puunjalostuslaitoksissa käytettäviä liitosdetaljeja käsitellään tarkemmin kappaleessa Runkodetaljit.

2.2 Suunnittelu

2.2.1 Suunnittelustandardit ja ohjeet

Betonin rakennesuunnittelu on muuttunut ajan saatossa ja kehittyä edelleen. Betonirakenteiden mitoitus Suomessa lähti aikoinaan sallittujen jännitysten menetelmistä. Menetelmässä voimasuureita laskettaessa käytetään vain lineaarista kimmoteoriaa, eikä se huomioi rakenteiden todellista toimintaa kovin tarkasti. Tarkemmaksi mitoitusmenetelmäksi kehitettiin vuonna 1964 rajatilamitoitus, joka huomioi myös rakenteiden myötämiskyvyn. Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) kokosi rakenteiden suunnittelua koskevat ohjeet 70-luvulla, ja vuoteen 1994 mennessä siitä poistettiin sallittujen jännityksien menetelmä. Kokoelmassa betonirakenteiden lujuutta koskee edelleenkin voimassa oleva osa B4 (Betonirakenteet). Rakentamismääräyksiä haluttiin yhtenäistää koko EU:n alueella, ja normitustyö aloitettiin 90-luvulla. Työn tuloksena julkaistiin ensimmäinen Eurokoodi vuonna 2010, ja myös se perustuu rajatilamitoitukseen. Eurokoodi ohittaa RakMK:n ohjeet, joita noudatetaan järjestyksessä toisena. (By 210, 2008, 14.) Eurokoodeja kehitetään jatkuvasti, ja Suomen rakentamismääräyskokoelma tullaan päivittämään vuoteen 2018 mennessä.

Tekniikan nykytilan mitoitusnormi on eurokoodi. Viimeisimmät eurokoodiyhteensopivat säädökset tulivat voimaan 1.9.2014. Betonisissa teollisuusrakenteissa noudatetaan standardia Eurokoodi 2, Betonirakenteiden suunnittelu. Eurokoodi on ensisijainen suunnittelustandardi, jonka jälkeen noudatetaan kansallisia liitteitä (RakMK B4). Näiden jälkeen hierarkiassa tulevat standardit (esim. tuote- ja suunnittelustandardit) jota seuraavat yhdistyksen suositukset (esim. by50 betoninormit). (By 210, 2008, 19-20.)

2.2.2 Rakennesuunnittelu

Tuotantolaitoksessa tapahtuvat prosessit sekä rakennukselta vaadittava suunnitteluikä vaikuttavat oleellisesti betonirakenteen suunnitteluun. Suunnittelu- ja muuntojoustavuus tulee huomioida rakennesuunnittelussa (RIL 115 1977, 63). Tuotantoprosessissa tapahtuu jatkuvaa rationalisointia ja uudistuksia, joten muuntelua sallivat suuret pääkannattajavälit ja harvat pilaririvit ovat tehdasrakennuksille edullisia (By 202, 1992, 522).

Runko täytyy suunnitella siten, että aikataulussa pysytään työmaalla. Ongelmana on mm. lattioiden valaminen, jonka tulisi tapahtua säältä suojassa ja kerrosten välillä jopa yhtäaikaaisesti. (Hollo 2017.)

Suurin haaste rakennesuunnittelussa on lähtötietojen saaminen oikeaan aikaan. Suunnittelu joudutaan aloittamaan hyvin pienillä lähtötiedoilla, muutoksia tulee paljon ja tilanteisiin täytyy sopeutua suunnittelun edetessä. (Ristolainen 2017.)

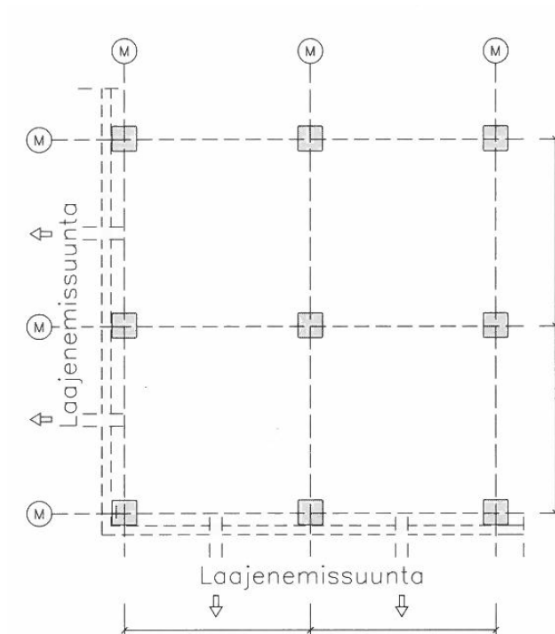
Teollisuusrakenteiden betonirakenteilta edellytetään myös erityistä kemiallista kestävyyttä. Teollisuuden aineet rasittavat rakenteita, joten rakenteet tulee suunnitella riittäväällä betonipeitteellä. Rakenteita ei yleensä tarvitse pinnoittaa.

Teollisuusrakenteiden liitokset suunnitellaan yksinkertaisiksi ja aikataulutetaan niin, että liitosten valaminen ei olisi päällekkäistä elementtien noston ja asennuksen aikana (Hollo 1997). Liitosten suunnittelussa on tärkeää, että liitosdetaljit vakioidaan. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota työmaalla tapahtuvaan asennustyöhön suunnittelemalla liitosten asennustyö helpoksi ja määrältään vähäiseksi. Suunnittelussa ei ole keskeistä yksittäisten liitososien valmistuskustannukset vaan rakenteen kokonaistaloudellisuus, johon vaikuttaa ratkaisevasti rakennusaikaiset toiminnot kuten esimerkiksi aikataulu. Tämän vuoksi tulee huomioida liitoksen vaikutus asennustyön sujuvuuden lisäksi myös elementtien valmistukseen. (BY 201, 2007, 450–451.)

Tuotannon kasvaessa tai muuttuessa teollisuusrakennuksia tulee voida myös laajentaa. Tämä otetaan suunnittelussa huomioon yleensä siten, että uuden laajennusosan vaakarakenteet mitoitetaan tuettaviksi vanhan osan runkoon. Ulkoseinärakenteet toimivat usein vain ei-kantavina julkisivurakenteina, joten ne voidaan suunnitella helposti purettaviksi ja siirrettäviksi uuteen paikkaan. (RT 82–10821, 2004, 11.) Teollisuusrakenteita laajennetaan käytännössä vain sivusuunnassa, ja laajennusmahdollisuus otetaan huomioon suunnittelemalla rakennuksen sijainti järkevästi tontilla. (Ristolainen 2017.) Tehtaiden käyttöiän päättyessä ne usein puretaan kokonaan. Esimerkiksi sellutehtaan tuotantoaika on reilu 30 vuotta, jonka jälkeen koneiden käyttöikä tulee vastaan. Itse rakenteelta vaaditaan yleensä 50 vuoden käyttöikää. Paperitehtailla on sen sijaan pidempi käyttöikä, koska laitteita on helpompi ja verrattain edullisempi uusia ja modifioida. (Hollo 2017.)

(RIL 115 1977, 63.) Teollisuusrakenteet suunnitellaan nykyisin mahdollisimman pitkälle elementtirakenteisena ja paikallavaluosia ovat vain perustukset, liitosvalut, kuori-laattatasojen betonivalu ja koneperustukset. (Nissinen 2017).

Teollisuusrakenteet suunnitellaan Runko-BES -betonielementtijärjestelmän mukaisesti. Tyypillinen tehtaan rungon moduuliverkko on pilareihin keskeinen (Kuvio 8), ja suositeltava perusmitta on 12M tai 6M. Kantava runko on yleensä pilari-palkkirunko (Kuva 2), ja kantavia pystyrakenteita (pilareita) on harvasti. Vaakarakenteiden jännevälit ovat pitkiä ja niiden rakennekorkeudet ovat korkeampia kuin esimerkiksi perinteisissä toimisto- tai asuinrakennuksissa. Rakennuksen korkeuteen vaikuttaa rakennuksen käyttötarkoitus sekä sisällä tapahtuvan prosessin vaatima tila. (RT 82–10821, 2004, 11.)



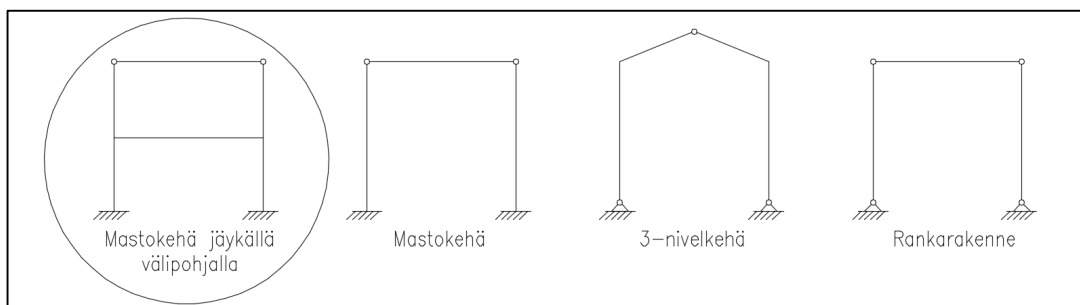
Kuvio 8 Pilarisijoitus Runko-BES-mittajärjestelmässä (Teollinen betonirakentaminen 1996, 55)



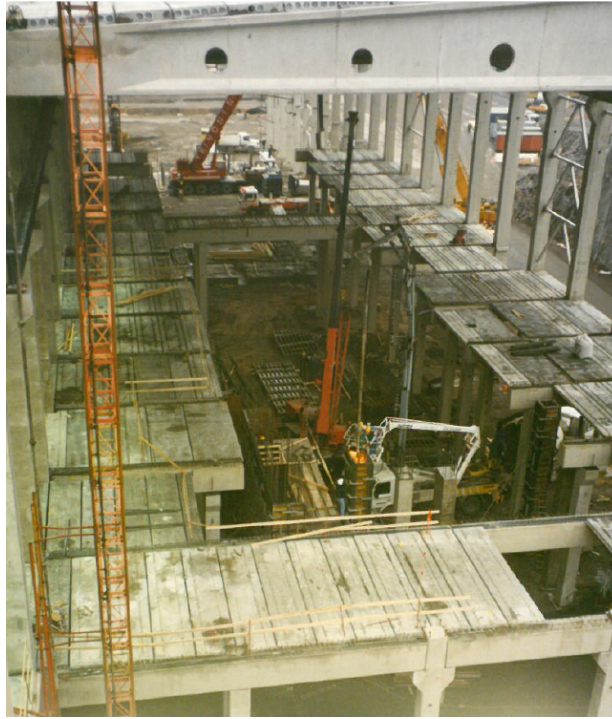
Kuva 2 Erään paperitehtaan pilari-palkkirunko (Veijo Timonen 1995)

Puunjalostuslaitoksissa rakennuksen runko suunnitellaan yleensä jäykällä kehärakenteella (Kuvio 9). Rakennuksen poikittainen jäykistys syntyy hoitotason palkkien ja pilareiden muodostaman kehän avulla, jonka nurkkaliitokset ovat jäykkiä (Kuva 3). (Hollo & Korpela 1996.) Liitoksesta kerrotaan tarkemmin kappaleessa Teollisuusrakenteiden poikkeavuudet.

Kuvio 9 on esitetty myös muita yleisiä kehärakenteita. Ensimmäinen on tyypillinen suurissa teollisuushalleissa, joissa yläpohjan kuormat ovat pienempiä kuin välipohjan. Näitä ovat muun muassa puunjalostuslaitokset. Perinteinen mastokehärakenne on yleinen kaikissa tavallisissa hallityypeissä ja 3-nivelkehää käytetään enimmäkseen maatalous- ja urheiluhallirakennuksissa. Rankarakenteisia rakennuksia ovat esimerkiksi puurakenteiset omakotitalot tai pienhallit. Rankarakenne on työn aikana vaikein stabiloida, joten rakennuskoot pysyvät pieninä.



Kuvio 9 Erilaisia kehärakenteita joista ympyröity esittää puunjalostuslaitoksien kehää



Kuva 3 Paperitehtaan hoitotaso (Veijo Timonen 1995)

2.4 Puunjalostuslaitoksen rakenteet

2.4.1 Perustukset

Teollisuusrakennuksen kantava runko perustetaan anturoilla kantavan maapohjan tai paaluperustuksen varaan. Perusrakenne voi olla joko elementti- tai paikallavalurakenteinen. Joissakin perustuselementtityypeissä elementti toimii anturavalumuottina, johon rauditus on asennettu valmiiksi tehtaalla. Anturavaluun asennetaan anturaholkit tai pilarien peruspultit. (RT 82–10821, 2004, 12.) Teollisuusrakennuksien raudoitukset pyritään yksinkertaistamaan: Kuormituksen mukaan on suunniteltu muutama tyyppi-raudoitus, jolla katetaan koko rakenne (Nissinen 2017). Kuva 4 paperitehtaan perustuksissa on käytetty anturavaluun asennettua holkkielementtiä.



Kuva 4 Perustusrakenteita paperitehtaan työmaalla (Veijo Timonen 1995)

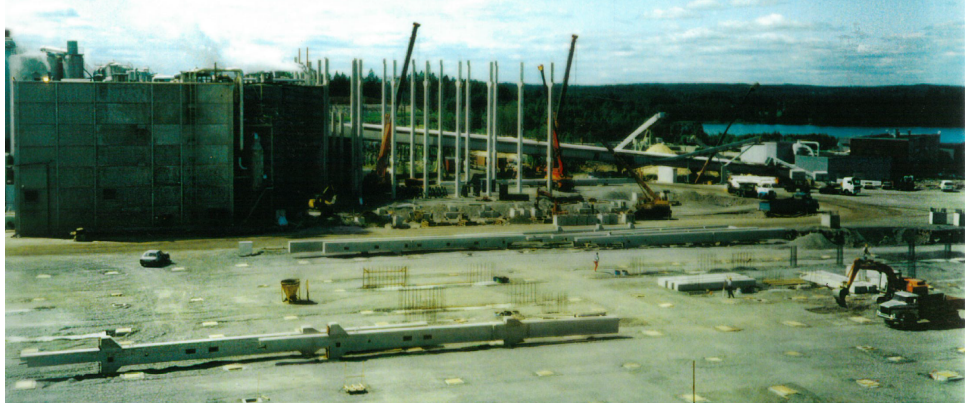
2.4.2 Alapohjarakenteet

Teollisuusrakennusten alapohjille siirtyy usein suuria kuormia. Monissa teollisuusrakennuksissa lattialle voidaan myös asettaa tasaisuusvaatimuksia, jotka tuovat haasteita suunnittelulle ja toteutukselle. Kantavina alapohjarakenteina käytetään suorakaiteen muotoisia palkkeja ja ontelo-, kuori tai TT-laattoja. Kantavan alapohjan palkkijako ja palkkien pituus on erilainen kuin yläpohjarakenteissa johtuen suuremmasta kuormituksesta. (RT 82–10821, 2004, 13.)

2.4.3 Pystyrakenteet

Pystyrakenteena toimivat yleensä perustuksista nousevat mastopilarit, joiden poikkileikkaus on joko neliön tai suorakaiteen muotoinen (RT 82–10821, 2004, 12). Monikerroksisten teollisuusrakennuksien pilarit pyritään tekemään useamman kerroksen mittaisiksi, jotta jatkoksien lukumäärää saadaan vähennettyä. Pilaripituuden ratkaisee yleensä pilarielementin paino ja asennusaikaisen vakavuuden hoitamistapa. (RIL 115, 1977, 157.) Teollisuusrakennuksen pilarielementin maksimipaino on noin 40–60 tonnia, ja se määräytyy urakoitsijalla käytössä olevan nostokaluston mukaan (Nissinen 2017). Kuva 5 Kuva 6 erään paperitehtaan monikerroksisia pilarielementtejä ennen ja jälkeen asennuksen. Mastopilarit yhdessä jäykkänurkkaisen välitasoliitoksen (Kuvio 19) kanssa

muodostavat paperitehtaalte poikkisuunnassa jäykän kehän. Mastopilarien käyttö helpottaa asennusvaihetta, kun pilareja ei tarvitse tukea muihin rakenteisiin, vaan ne toimivat jäykkinä osina rakennusvaiheen edetessä.

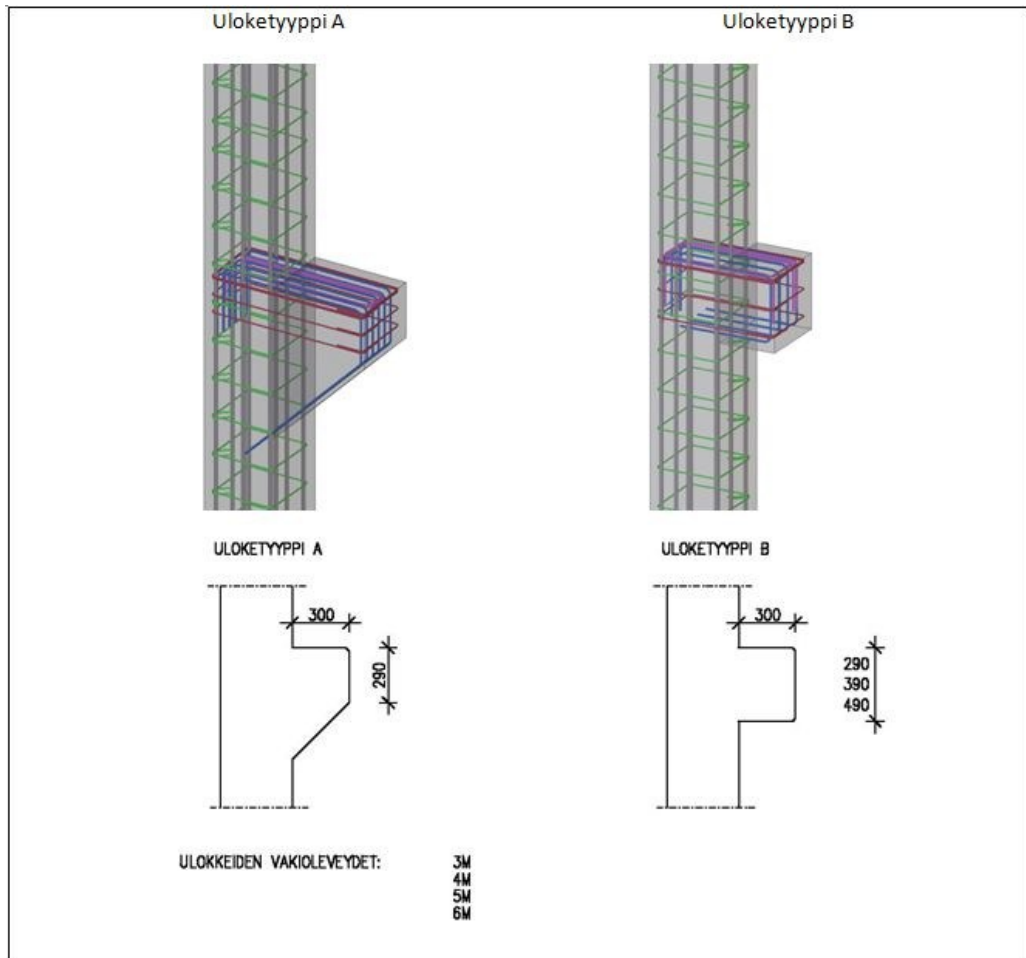


Kuva 5 Erään paperitehtaan monikerroksisia pilarielementtejä (Jouni Hollo 2001)



Kuva 6 Erään paperitehtaan monikerroksisia pilarielementtejä (Jouni Hollo 2001)

Pilareille kohdistuu tuulesta, rakenteiden vinoudesta ja nostureista myös vaakakuormia, joten ne toimivat pystykuormien tuennan lisäksi myös osana jäykistävää rakennetta. Pilarien kokoon vaikuttaa myös liittyvien palkkien tukipintojen riittävyys, sillä vaakarakenteilta tulevat kuormat, etenkin välitasoilta, voivat olla verrattain suuria. (RT 82–10821, 2004, 12.) Kun tukipinnat ovat riittämättömiä tai pilarit jatkuvia, voidaan palkit tukea pilariulokeilla. Yleisin pilarityyppi sellu- ja paperitehtaissa on konsolipilari, jonka uloke jää näkyviin (Nissinen 2017). Kuvio 10 näkyvä uloketyyppi A on tyypillinen teollisuudessa käytetty pilarityyppi, koska vaihtoehto on taloudellinen eikä kyseisissä rakennuksissa ole tarpeellista piilottaa kantavaa runkoa.



Kuvio 10 Tyypilliset pilariulokkeet ja niiden rauditusperiaatteet pilareissa (Elementti-suunnittelu n.d.)

2.4.4 Vaakarakenteet

Vaakarakenteet teollisuusrakennuksissa ovat joko jännitettyjä tai tavanomaisia teräsbetonipalkkeja. Pitkillä jänneväleillä käytetään jännebetonisia I-palkkeja (Kuva 7) sekä vesikatoissa HI-palkkeja (Kuva 8). Väli-, ja yläpohjalaatat ovat jännitettyjä ontelo-kuori- tai TT-laattoja. (RT 82–10821, 2004, 12–13.) Pitkillä jänneväleillä on edullista käyttää HI-palkkia, joka seuraa momenttipintaa I-palkkia paremmin (RIL 115, 1977, 157).

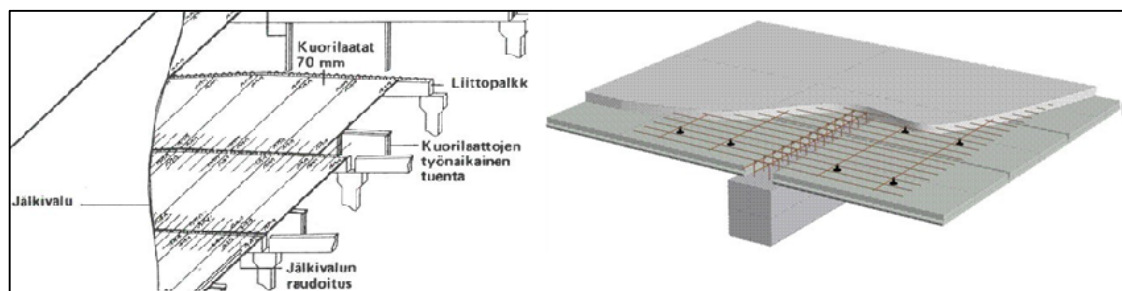


Kuva 7 I-harjapalkki (Leskelä, M. 2009, 43)



Kuva 8 HI-harjapalkki (Leskelä M. 2009, 44)

Puunjalostuslaitosten vaakarakenteita ovat betoniset kattopalkit ja niiden yläpuoliset ontelolaatat sekä hoitotasot ja muut välipohjarakenteet (Hollo & Korpela 1996). Hoitotasoina käytetään yleensä kuorilaattoja. Kuorilaatat toimivat muottikalustona päälle valettavalle betonille, jotka yhdessä muodostavat liittorakenteen (Kuvio 11). Kuorilaattojen paksuudet ovat 150-450 mm ja jännevälit 6-7,5 m. Pintavalun paksuus vaihtelee 150 mm:stä jopa 450 mm:in. (Hollo 1997.) **Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.** Kuva 9 näkyy paperitehtaan vaakarakenteita rungon pystytysvaiheessa: prosessihallissa (päälaiva) harjapalkit, hoitotaso ja pohjalaatta.



Kuvio 11 Kuorilaattaratkaisun rakenneperiaate (Valmisosarakentaminen 1. 1995)



Kuva 9 Paperitehtaan pystytysvaihe (Hollo 1995)

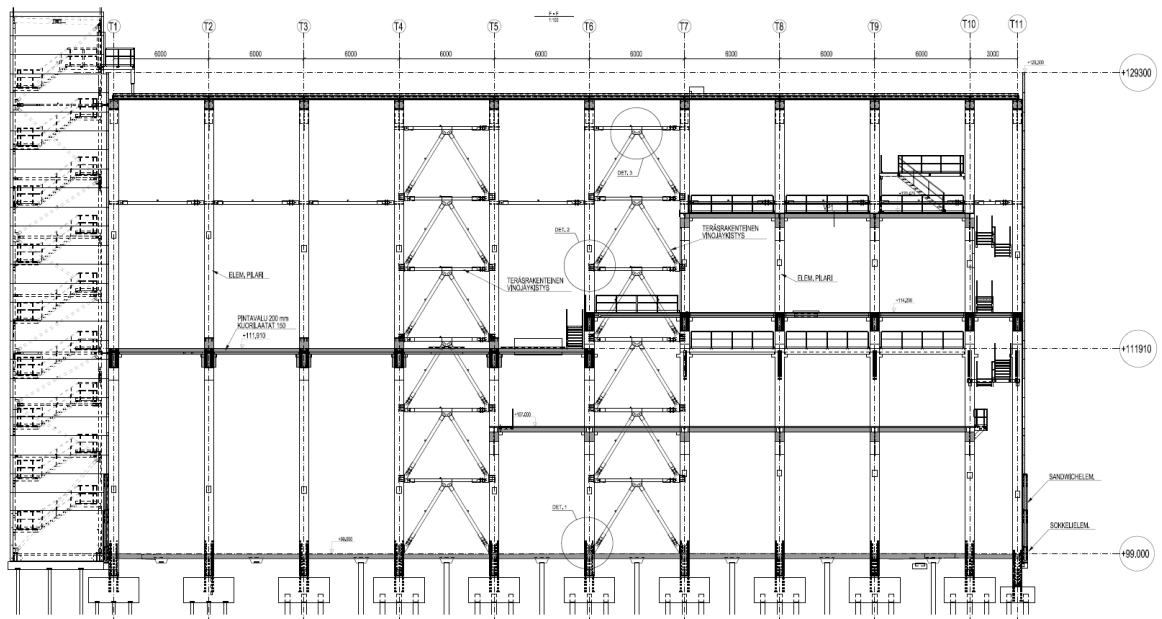
2.4.5 Seinärakenteet

Teollisuusrakenteissa käytetään paljon betonisandwich-elementtejä. Julkisivut ovat tavallisesti ei-kantavia sandwich- tai kuorielementtejä, riippuen rakennuksen julkisivu- ja lämmöneristevaatimuksista. Julkisivuna voidaan käyttää myös erilaisia jännitettyjä elementtejä. (Valmisosarakentaminen 1, 1995.) Jännitetyt seinäelementit toimivat myös muottina välipohjavaluille. Tällöin alapuolista tuentaa ei tarvita ja hoitotason (välipohjan) valu ei rajoita alemmalla lattialla työskentelyä. (Hollo & Korpela 1996.) Elementit tuetaan päällekkäin ja kiinnitetään pilareihin tai pilarianturoihin, jolloin ne eivät vaadi omia perustuksia. (RT 82–10821, 2004, 13.) Julkisivuelementtien materiaalin tulisi olla vähintään sisäkuoren osalta betonia, jotta rakenteisiin voidaan tehdä vapaammin reikiä. Esimerkiksi metallirakenteiset kuorielementit vaativat omat tukirakenteensa eikä läpivientien tai jälkikiinnityksien tekeminen ole yhtä esteetöntä kuin betonirakenteisiin. (Hollo 2017.)

2.4.6 Jäykistys

Teollisuusrakennuksen rungon sivujäykkyys on edullista hoitaa elementti- ja paikallavurakenteiden muodostamalla kehäjäykistyksellä. Pituussuuntainen jäykistys hoidetaan yleensä teräsrakenteisin jäykistyslevyin tai -ristikoin. (RIL 115, 1977, 156.) Poikkeuksellisesti muista perinteisistä jäykistystavoista on metsäteollisuuden laitoksissa käytetty

myös teräksistä A-pukki jäykistystä (Kuvio 12), josta kerrotaan enemmän kappaleessa Teollisuusrakenteiden poikkeavuudet.



Kuvio 12 Paperitehtaan pituussuuntainen jäykistys A-pukeilla (Sweco 2017)

2.4.7 Teollisuusrakenteiden poikkeavuudet

Teollisuusrakenteet poikkeavat melko paljon muusta rakennuskannasta. Teollisuusrakennuksien jännevälit ja kuormitukset ovat huomattavasti suurempia ja rakenteilta vaaditaan yleensä parempi kemiallinen kestävyys kuin perinteisessä talonrakentamisessa. Verrattuna esimerkiksi asunto- ja toimistorakentamiseen, on teollisuusrakentaminen kokoluokaltaan suurempaa ja rakenteet massiivisempia. Teollisuusrakennuksien käyttötarkoitus on yksinkertainen sääsuoja: ilman voimakkaita säärasituksia tehtaat voisi toteuttaa vieläkin yksinkertaisimmilla ratkaisuilla, kun taas asuin- ja toimistorakennuksissa rakenteiden tulee poikkeuksetta luoda viihtyisä sisätila.

Raskaat kuormitukset etenkin välitasoilta ovat prosessista riippuen poikkeuksellisen suuria. Poiketen muista rakennustyypeistä, ovat välipohjan rakennekorkeudet jopa suurempia kuin yläpohjassa. Verrattuna esimerkiksi toimistotiloihin ovat teollisuusrakenteiden välipohjakuormitukset moninkertaiset. Toimistotilojen hyötykuorman ominaisarvo on 2,5 kN/m² ja pistekuorman 2 kN, kun taas vastaavat arvot puunjalostuslaitoksissa ovat 20-40 kN/m² ja 100-250 kN.

Rakenteiden jännevälit ovat täysin eri luokkaa kuin toimisto- ja asuinrakennuksissa: pisimmät elementtijännepalkit voivat olla jopa 45 m pituisia. Suurien mittasuhteiden takia haasteita voi tulla elementtien valmistuksessa, kuljetuksessa ja paikalleen nostossa. (Hollo 2017.)

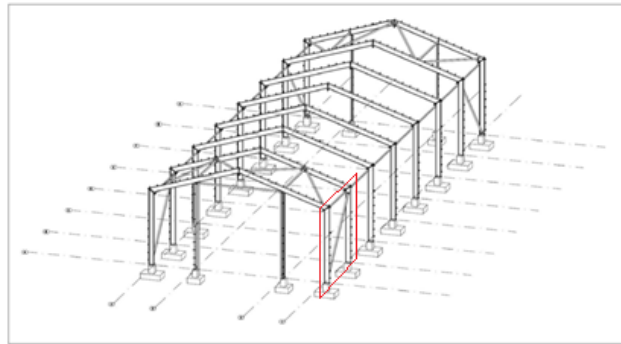
Teollisuushallien rungolta vaaditaan suurta jäykkyyttä. Sivuttaisjäykistykseen käytetään kehäjäykistystä, jolloin elementtipilarien ja hoitotason palkkien väliset kiinnitykset toteutetaan momenttijäykästi. Kyseinen jäykkä nurkkaliitos toteutetaan ankkurointipulttien, palkkikengän ja kierremuhvien avulla (Kuvio 19), ja sen myötä rakennus saadaan jäykistettyä jo varhaisessa rakennusvaiheessa. Kun liitos valetaan juotosbetonilla, se aktivoituu ja varmistaa riittävän vakauden rakennukselle elementtejä pystytettäessä. Tällöin esimerkiksi seinäelementtejä voidaan pystyttää jo ennen lattioiden valamista. (Hollo 1997.) Jäykkää nurkkaliitosta ei tyypillisesti käytetä asuin-, toimisto- tai hallirakentamisessa, vaan rakennusten jäykistys hoidetaan perinteisesti levyseinillä.

Nosturiradat ovat tyypillisiä teollisuus- ja hallirakenteille. Nosturiratapalkit kiinnitetään pulttien tai kynsien avulla pilarien betonikonsolien varaan (Kuva 10 **Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.**). Nosturiratapalkin liitosdetalji on esitetty Kuvio 23. Nosturin toiminta asettaa siirtymävaatimuksia rakenteille, joten sen aiheuttamat staattiset ja dynaamiset kuormitukset tulee huomioida suunnittelussa, ja vaakasuuntaisia siirtymiä rajoittaa. Tämä vaatii yleensä nosturipalkkitason jäykistämisen sekä poikkisuuntaan että kattotasolla, jolla saadaan tukipisteiden siirtymäeroja tasattua. (Nissinen 2017.)

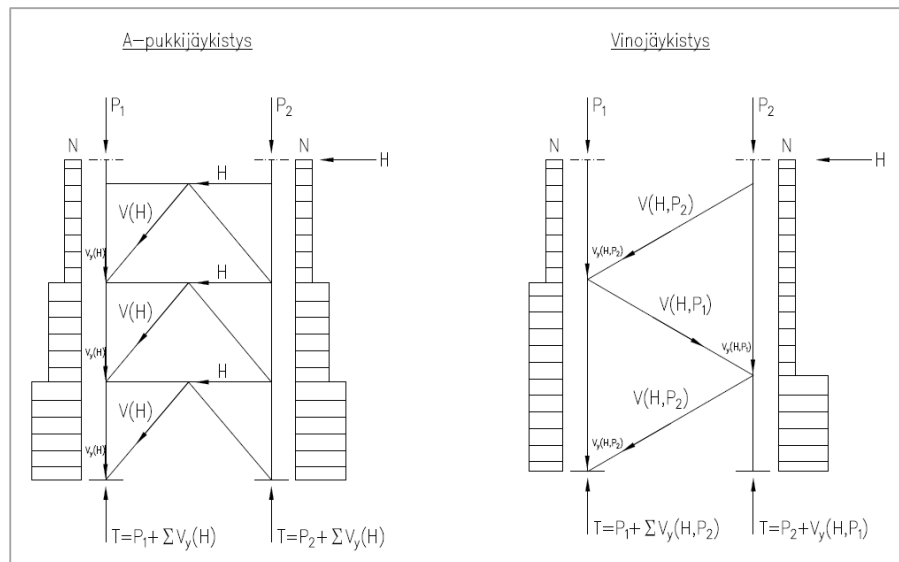


Kuva 10 Teollisuushallin nosturirata (RT 82–10821, 2004, 11)

Paperitehtaiden jäykistysristikko poikkeaa hieman esimerkiksi perinteisestä halli- tai toimistorakennuksien jäykistysristikosta. Perinteisten diagonaalien (Kuvio 13) sijasta jäykistysristikko muodostuu A-pukista, joka jakaa kuormitusta pilareille ja ristikolle tasanemmin. Kun pilarit painuvat eriaikaisesti, vinojäykistys saa ylimääräistä rasitusta pilarien tuomasta normaalivoimasta. Jos jäykistysristikko tehdään A-pukkina, teräsosia rasittavat vain vaakavoiman tuoma rasitus, vaikka pilarit painuisivatkin. Rakenteiden toimintaa on esitetty Kuvio 14, jossa tuulen aiheuttama vaakavoima H jakaantuu ristikon diagonaalien komponenteiksi V . (Nissinen 2017.)



Kuvio 13 Teräksisen hallirakennuksen jäykistys (Hekkala 2008, 8)



Kuvio 14 Jäykistysristikoiden rasitukset

Vaikka teräsosia ja asennustyötä on A-pukissa perinteistä ratkaisua enemmän, ovat viinositeisiin verrattuna profiilikoot ja kiinnitysosat pienempiä (Ristolainen 2017). Esimer-

kiksi Kuva 11 näkyvässä paperitehtaassa on käytetty jäykistysmenetelmää, jossa on pituussuuntaa jäykistävä A-pukkiristikko sekä sivusuuntaan jäykkä kehä. Jäykistysmalleja on muitakin, mutta tässä opinnäytetyössä käsitellään vain toimeksiantajan yleisimmin käyttämiä rakenneratkaisuja.



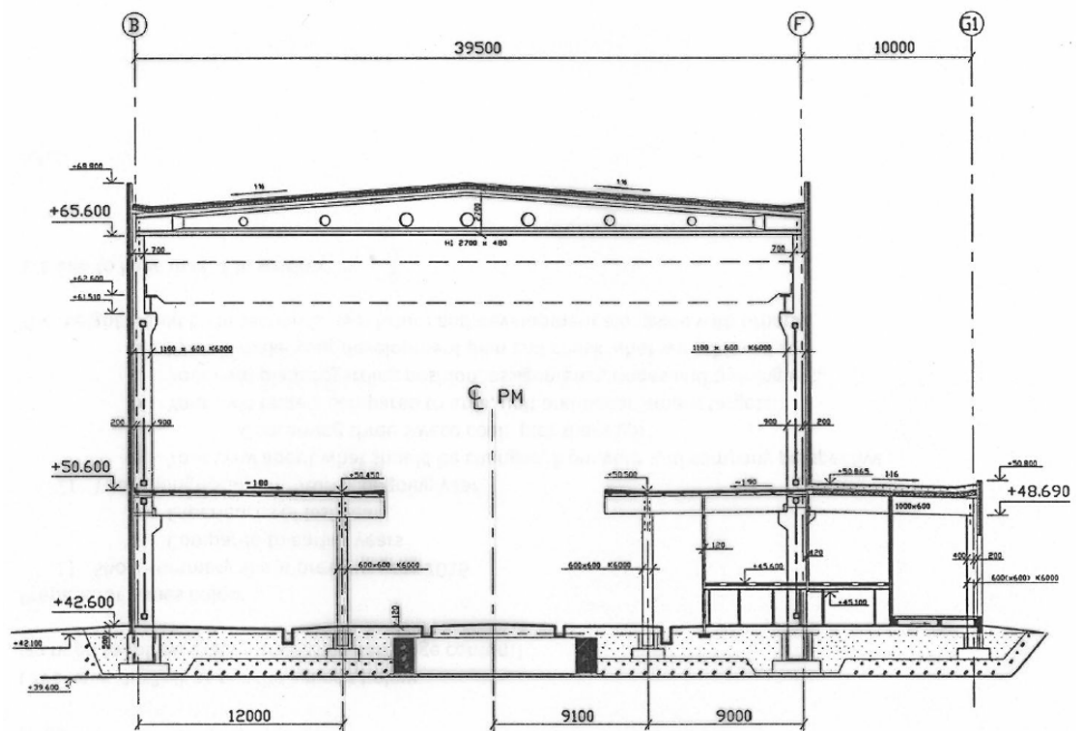
Kuva 11 Paperitehtaan jäykistysosat merkitty punaisella (Jouni Hollo 2001)

2.4.8 Esimerkkitehtaat

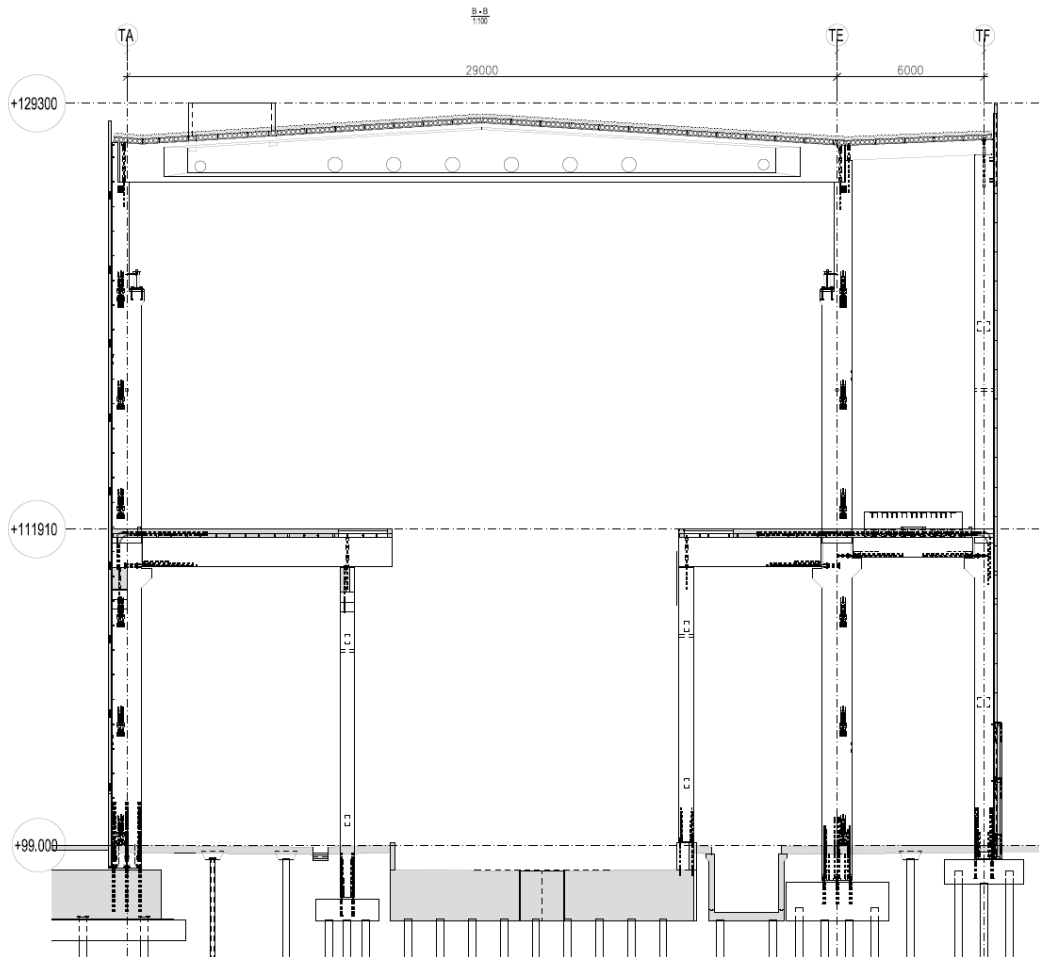
Puunjalostuslaitoksien runkorakenne ei ole elementtirakentamisen yleistyttyä juurikaan muuttunut. Toimiva runkoratkaisu kehitettiin 80-90 -luvuilla, eikä merkittäviä päivitystarpeita ole löytynyt.

Kuvio 15 on 90-luvulla toteutetun puunjalostuslaitoksen poikkileikkaus. Verrattuna 2010-luvulla toteutettuun vastaavaan (

Kuvio 16) laitokseen ei eroja ole juurikaan huomattavissa. Runko koostuu samoista elementeistä ja mittasuhteet ovat lähestulkoon samat. Suuria rakennukseen vaikuttavia muutoksia puunjalostusprosessissa ei ole tapahtunut ainakaan kuluneiden 30 vuoden aikana, mutta pientä muutostarvetta voi esiintyä projektikohtaisesti.



Kuvio 15 Tyypillinen 90-luvulla suunnitellun paperitehtaan poikkileikkaus (Hollo 1997)



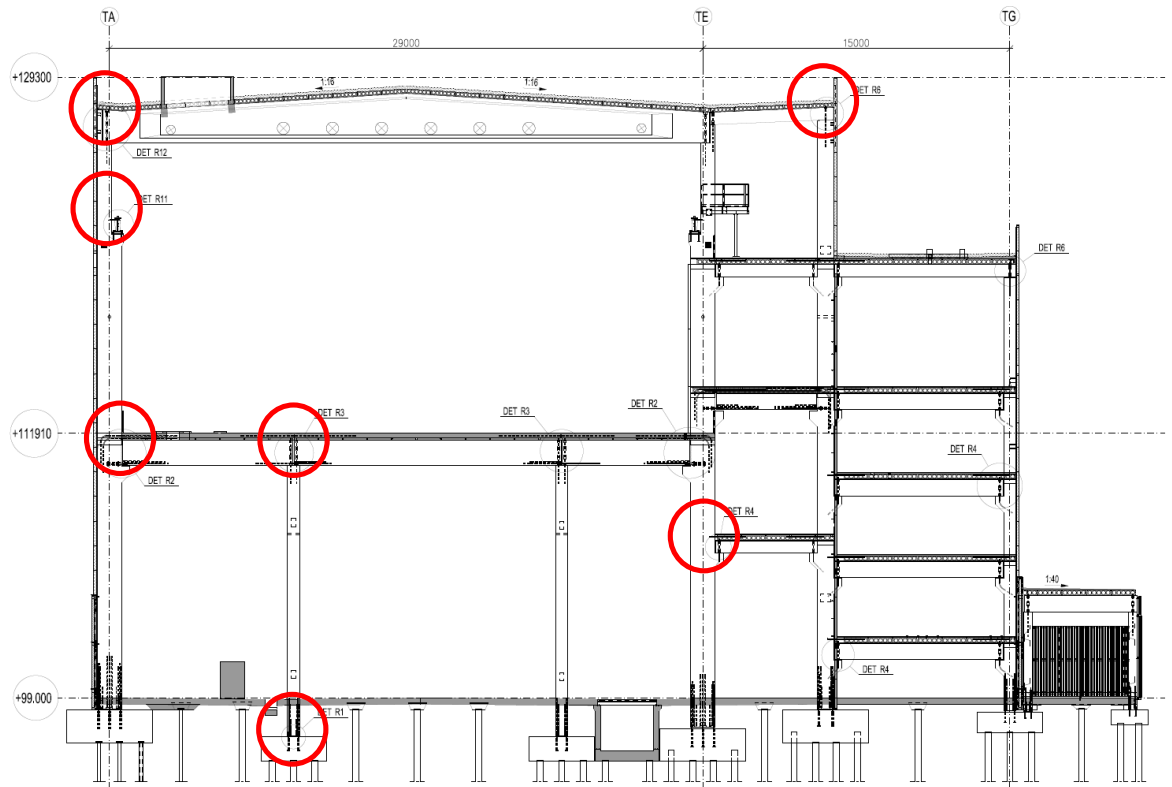
Kuvio 16 Tyypillinen 2010-luvulla suunnitellun paperitehtaan poikkileikkaus (Sweco 2017)

Molempien laitoksien runkoliitoksia tutkittiin opinnäytetyön ohella. Eroja löytyi lähinnä materiaaleissa, jotka ovat vuosien saatossa muuttuneet: 2010-luvulle mentäessä esimerkiksi betonitekniikka on kehittynyt merkittävästi (Nissinen 2017). Materiaalien lujuus on suurempi kuin aiemmin, joka vaikuttaa esimerkiksi rakenteiden geometriaan. Verrattaessa muihin rakennustyyppeihin rakenteet ja liitokset ovat enemmän näkyvissä kuin esimerkiksi toimisto- ja asuinrakennuksissa, koska arkkitehtuuri ei ohjaa teollisuusrakentamisen detajiiikkaa yhtä merkittävästi.

Haastatteleamalla Swecon teknisiä johtajia Holloa ja Nissistä (2017) kävi ilmi, että jo 70-luvulla kehitetyt liitokset ja tehdasmalli toimivat edelleen, eikä erityisiä muutostarpeita ei ole tullut. Nyt voitaisiin ennemminkin jatkokehittää koko suunnittelu- ja rakennusprosessin toimivuutta keskittymällä lean-strategian toteutumiseen.

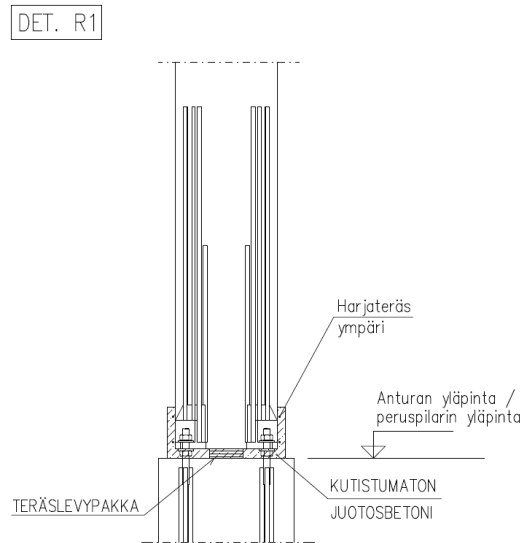
2.4.9 Runkodetailjit

Opinnäytetyön ohella tuotetusta vakiodetaljikirjastosta nostetaan esille muutamia paperitehtaan runkoon liittyviä detaljeja. Kuvio 17 on merkitty punaisella tärkeimmät rungon toimintaan vaikuttavat detaljit. Detailjit esitetään tarkemmin Kuvio 18 Kuvio 29. Detailjien esitystapaa on yksinkertaistettu tätä työtä varten.



Kuvio 17 Käsiteltävät runkodetailjit paperitehtaassa (Sweco)

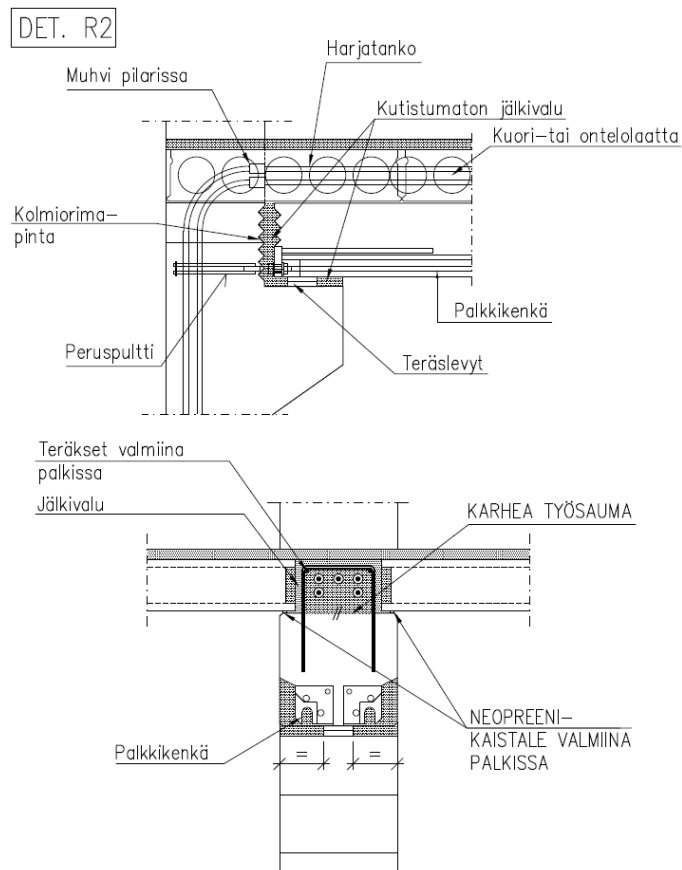
Pilari-elementin alapään kiinnitys (Kuvio 18) toteutetaan teollisuusrakenteiden ohella myös muissa pilarirunkoisissa rakennuksissa samalla tavalla. Pilari kiinnitetään pilari-kengästä peruspulteilla alapuoliseen anturaan ja liitos juotetaan juotosbetonilla.



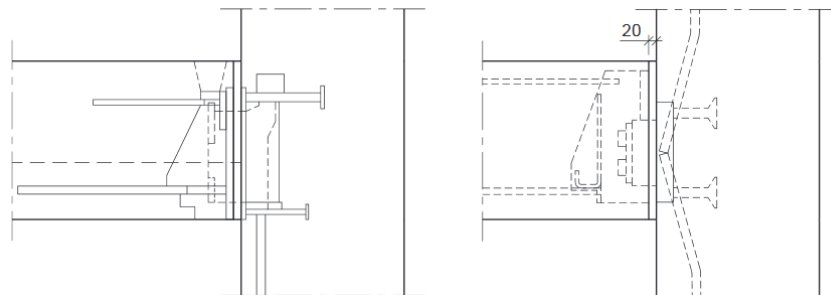
Kuvio 18 Pilari-elementin alapään kiinnitys

Yleensä elementtien väliset liitokset ovat nivellisiä. Teollisuusrakenteissa kuitenkin käytetään pilarin ja palkin välistä jäykkää liitosta (Kuvio 19). Kyseinen liitos on tyypillisempi teollisuusrakennuksille kuin muille rakennustyypeille. Esimerkiksi toimistorakennuksissa palkit liitetään pilareihin teräksisten piilokonsolien avulla, jotka luovat nivelisen liitoksen (Kuvio 20).

Teollisuudessa liitoksien tärkein tehtävä on voimien siirtäminen, eikä liitosten ulko- näöllä ole suuremmin merkitystä. Muissa rakennuksissa arkkitehtoninen näkökulma on merkittävämpi, ja rakenteet ja niiden liittymät halutaan yleensä piilottaa. Myös tästä johtuen tämä pilarin ja palkin välinen liitos poikkeaa usein teollisuus- ja toimistorakennuksien välillä.



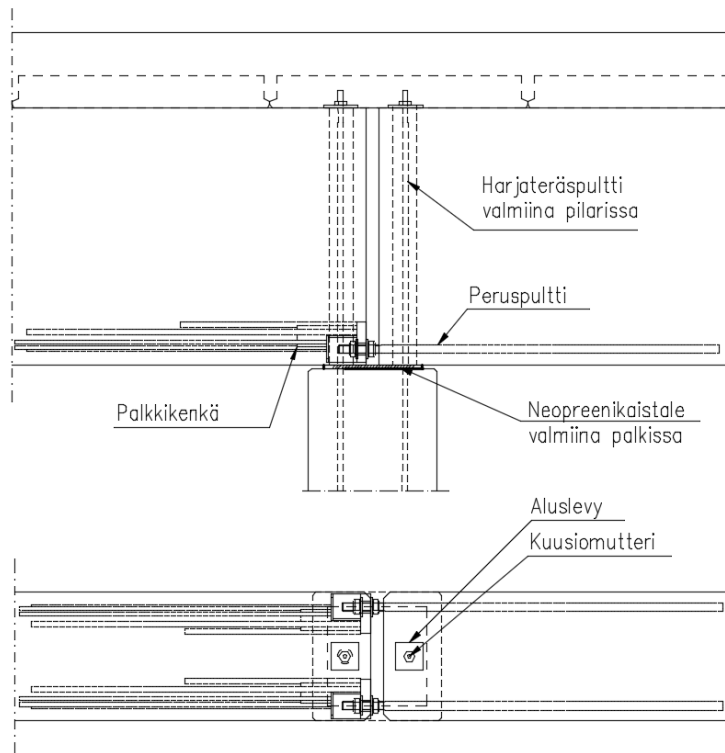
Kuvio 19 Pilarin ja palkin jäykkä liitos



Kuvio 20 Palkin tuenta pilariin teräksisillä piilokonsoleilla toimistorakennuksissa (RT 82-10821, 2004, 9)

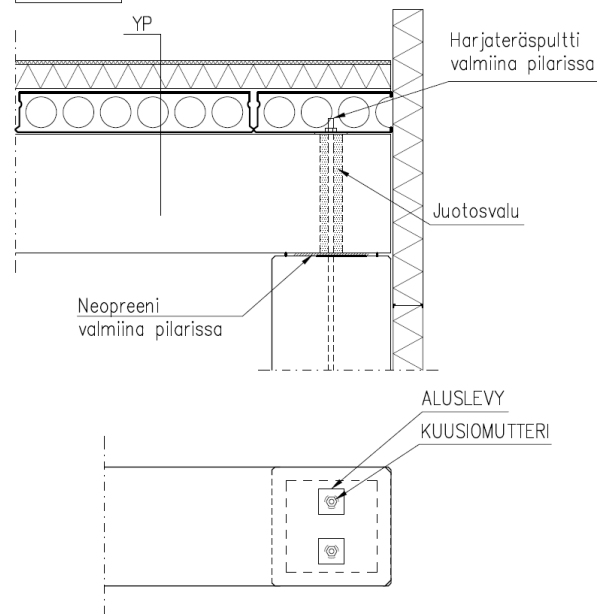
Kuvio 21 Kuvio 24 on esitetty puunjalostuslaitoksen poikkileikkaukseen (kuvio 17) merkittyjä muita runkodetaljeja. Eroina esimerkiksi toimistorakentamiseen on yksinkertaisuus ja liitoksien järeys. Toimistossa ja asuinrakennuksissa saatetaan käyttää arkkitehtuurin vaatimuksesta esimerkiksi poikkileikkaukseltaan pyöreitä pilareita, jotka eroavat teollisuusrakenteelle tyypillisestä ulkonäöllisestä karkeudesta ja suorakaiteisista muodoista.

DET. R3



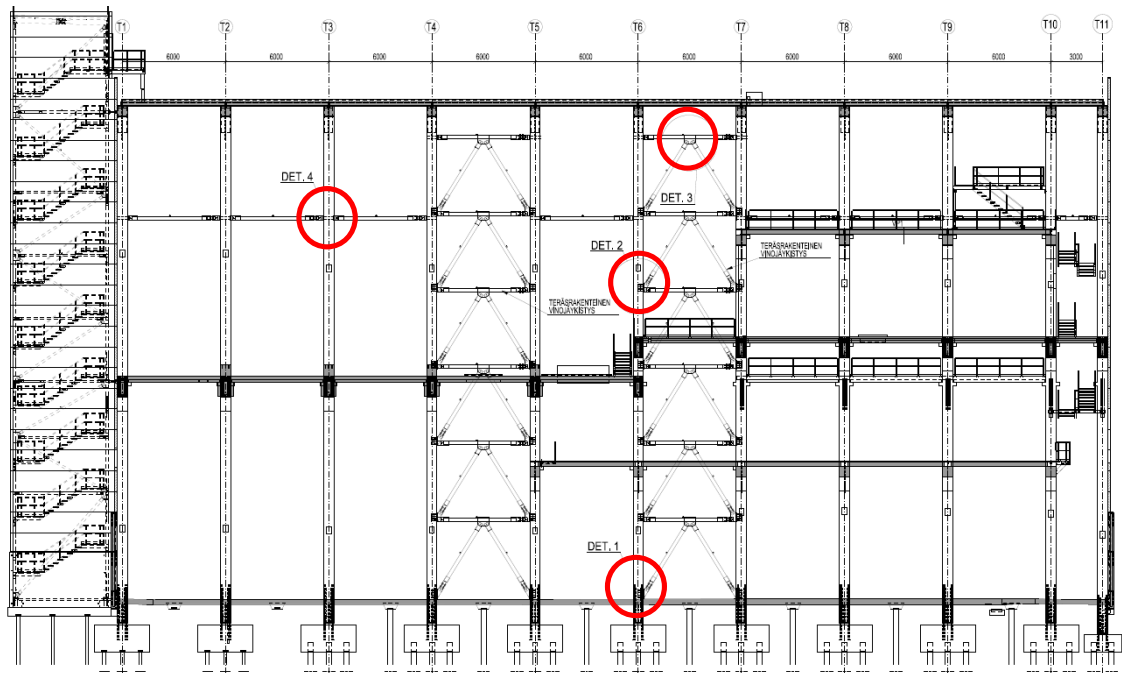
Kuvio 21 Palkkien jäykkä liitos keskipilarilla

DET. R6

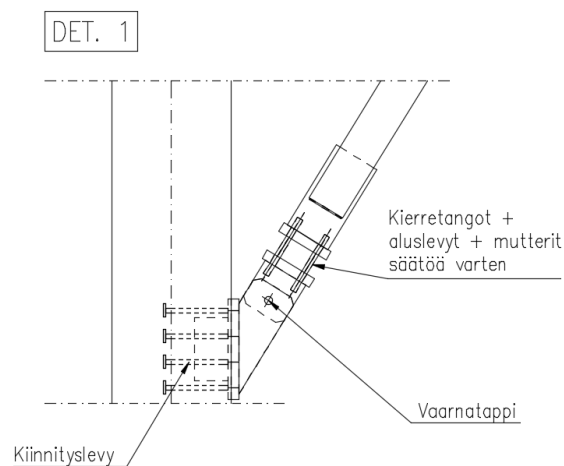


Kuvio 22 Palkin liitos pilariin vesikatolla

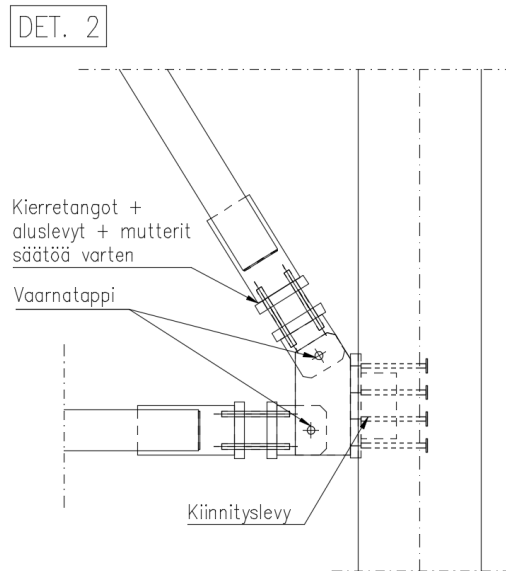
Kuvio 25 on merkitty paperitehtaan jäykistysosien liitosdetaljit. Jäykistysosien suunnittelussa on tärkeää huomioida, että jäykistävän siteen toinen pää on säädettävä. Tämä helpottaa ja nopeuttaa työmaalla tehtävää asennusta sekä toleranssien hallintaa. Siteet liitetään pilareihin kiinnitettyihin teräslevyihin vaarnatapeilla, jotka mahdollistavat kulmamuuutoksen (Kuvio 26-Kuvio 29).



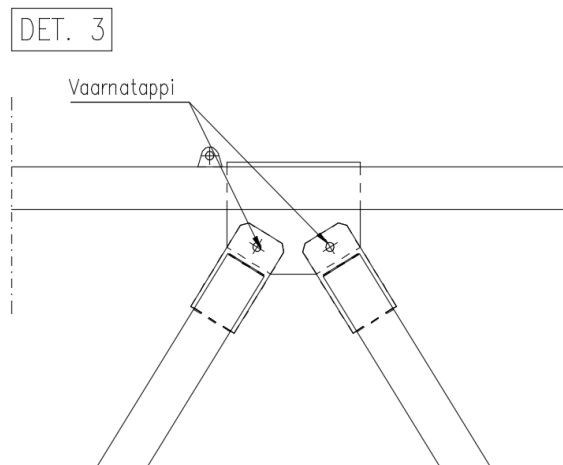
Kuvio 25 Paperitehtaan jäykistysosien liitokset (Sweco)



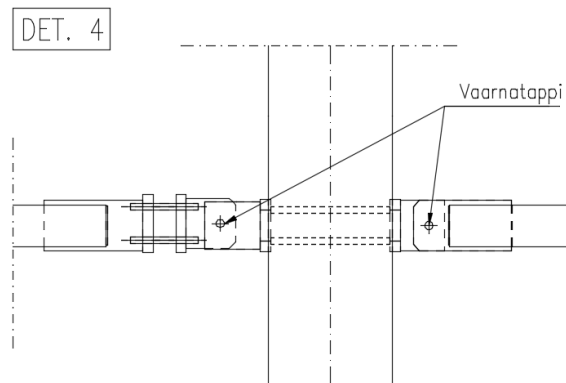
Kuvio 26 Jäykistys: Vinositeen alapään liitos säätövaralla



Kuvio 27 Jäykistys: Vinositeen alapään liitos säätövaralla



Kuvio 28 Jäykistys: Vinositeen yläpään liitos



Kuvio 29 Jäykistys: Vaakasiteiden liitos

3 LEAN-AJATTELUN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISUUSPROJEKTEISSA

3.1 Lean-rakentaminen

Teollisuuskohteiden rakennesysteemiä on jo kehitetty tehokkaaksi ja toimivaksi. Tuotekehitys oli teollisuusrakentamisen alkuvaiheessa voimakasta, kun etsittiin keinoja, joilla rakentamisaikaa ja suunnittelua voitaisiin lyhentää. Kokonaisuuden kannalta työn läpimenoaika työmaalla on minimoitu elementtirakentamisella ja esivalmistuksella. (Nissinen 2017.) Tällä hetkellä haasteita on suunnittelun, tuotannon ja tilaajan välisessä yhteistyössä sekä rakentamisprosessin sujuvuudessa. Jotta projekti tai prosessi saadaan tehokkaaksi, on huomioitava koko rakennusprosessi: kustannukset, tehdas-, ja rakennesuunnittelu, hankinnat ja rakentaminen. Lean-ajattelussa tulee keskittyä rakennusprojektin kokonaisuuteen ja kehittää yksityiskohtia sen ehdoilla.

Lean-rakentaminen on yksinkertainen ajatusmalli, joka yhdistelee olemassa olevia tuotannon tehostamisen periaatteita ja pyrkii välttämään ajan ja rahan haaskaamista projekteissa. Tuotantosysteemi ja organisaatio pidetään mahdollisimman yksinkertaisena ja hukkaa vältetään. Tuotanto- ja suunnittelutiimien välillä tulee olla toimiva tiedonvälitys ja koko prosessin tulee olla läpinäkyvä. (Melles 1997, 15.) Keskinäinen keskustelu ennen suunnittelua ja sen aikana on tärkeää.

Lean-ajattelun tuominen koko rakennusprosessiin on ollut jo jonkin aikaa ajatuksen tasolla, mutta strategian tuominen käytäntöön on ollut haasteellista. Asenteisiin täytyy saada muutosta, jotta tuotannon aikainen suunnittelutyö saadaan tehokkaaksi. (Melles 1997, 15.) Jotta lean-rakentaminen toteutuisi, olisi kaikki projektin osapuolet saatava kehitykseen mukaan. Riittävät työkalut ja toimivat ratkaisut on oikeastaan jo kehitetty, mutta jos ne jätetään hyödyntämättä, ei päästä haluttuun lopputulokseen.

Lean-ajattelu voidaan esittää viitenä periaatteena, joita kutsutaan usein myös leanin viideksi askeleeksi:

1. Arvon tunnistaminen: tuotteen tai palvelun arvo pyritään tunnistamaan asiakkaan näkökulmasta.

2. Arvoketjun kartoitus: pyritään löytämään ja eliminoimaan vaiheita, jotka eivät synnytä arvoa: hukkaa poistetaan.
3. Virtauksen synnyttäminen: arvoa synnyttävät vaiheet pyritään järjestämään mahdollisimman loogisesti ja etenemään katkeamatta.
4. Imu: tuotetta tai palveluita tuotetaan ainoastaan asiakkaan tarpeeseen ja juuri oikeaan aikaan.
5. Pyrkiminen täydellisyyteen: prosessia pyritään jatkuvasti parantamaan (Tegelman 2016.)

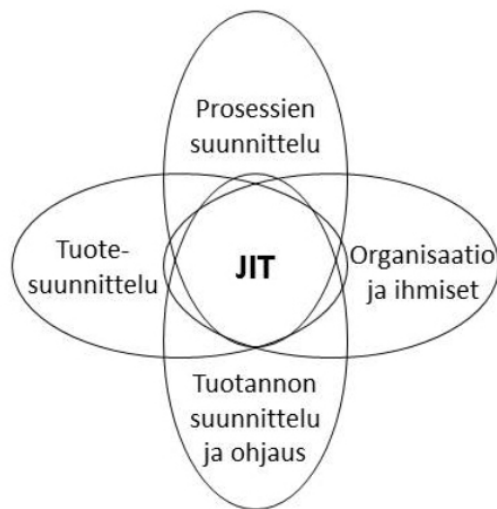
Seuraavissa luvuissa avataan tarkemmin, mitä nämä askeleet tarkoittavat teollisuusprojekteissa. Kappaleet käsittelevät niitä osioita, joihin voidaan vaikuttaa esimerkiksi suunnittelun tai projektinjohdon avulla. Näillä ei kuitenkaan yksin voida korjata projektin lean-strategian toteutumista, vaan ne ovat osana sitä. Tärkeintä on saada kokonaisuus kuntoon.

3.2 Imuohjaus

Teollisuusprojekteissa suunnittelutyö, laitehankinnat, rakentaminen ja laitteiden asennus tapahtuvat limitettyinä. Syynä tähän on aikataulun optimointi ja pyrkimys lyhentää rakentamisaikaa. Tärkeä osa prosessia on JIT-ajattelu (Just-In-Time) ja eri toimintojen yhteensovittaminen kokonaisuus huomioiden (Kuvio 30). Materiaaleja valmistetaan, siirretään ja kuljetetaan vain todellisen tarpeen mukaan. Asiakkaan päiväkohtaiseen kysynnän muutokseen tulee reagoida eikä luottaa tietokoneohjattuihin järjestelmiin tai aikatauluihin (Liker, 2011).

Tuotantopiirustukset tulisi tehdä kerralla valmiiksi ja välttää vaiheita, joissa tuotetaan puolivalmiita piirustuksia odottamaan julkaisua. Tarjoa tuotantoprosessin asiakkaille vain se mitä he haluavat, sen verran kuin he haluavat ja silloin kun he sen haluavat. Anna siis asiakkaan kulutuksen ohjata tuotantoa. Tähän perustuu ajattelutapa ”juuri oikeaan aikaan” (Liker, 2011). Suomessa aiheeseen yhdistetään usein myös JOT-ajattelu, joka tarkoittaa ”juuri oikeaan tarpeeseen”. Tätä on imuohjaus, jolla materiaalivirtaa yritetään hallita asiakkaan tarpeen mukaan, eikä ideaalitapauksessa mitään varastoitaisi. Suunnitteluprosessin tulee tukea itse rakennusprosessia: Esimerkiksi hankintasuunnitelmat tulee tehdä oikeaan aikaan ja tarvittavassa laajuudessa, joiden pohjalta alustavat

suunnitelmat voidaan täydentää toteutussuunnitelmiksi (Nissinen 2017). Jo hankinta-suunnittelussa tulee olla riittävät lähtötiedot käytössä.



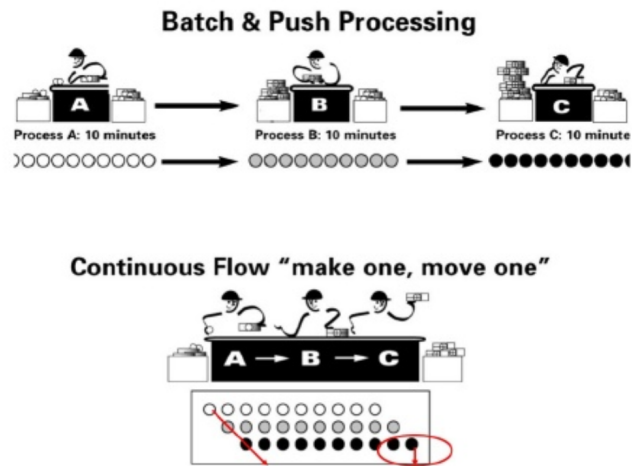
Kuvio 30 Just in time (Logistiikan maailma n.d.)

3.3 Jatkuva virtaus

Rakennesuunnitelmien virtauksessa esiintyy usein haasteita. Teollisuusprojekteissa on paljon eri alojen suunnittelijoita, jotka työskentelevät yhtäaikaaisesti. Lähtötietojen aika-
taulukko ja suunnitelmien yhteensovitus ovat tärkeitä. Suunnitelmissa voi ilmetä epäkoh-
tia tai ristiriitaisuuksia, jolloin niitä joudutaan revisioimaan. Revisiointi ei kuitenkaan
välttämättä johdu rakennesuunnittelijasta, vaan esimerkiksi laitemuutoksista tehtaalla.
Teollisuusprojektit etenevät nopeasti, mutta laitehankinnat tapahtuvat myöhään, mikä
hankaloittaa rakennesuunnittelua. Kysymys kuuluukin, onko lean-tehokkaampaa odot-
taa oikeita lähtötietoja vai arvata valistuneesti ja nopeuttaa suunnittelutyötä.

Myös työmaalla tehdään virheitä ja suunnitelmia saatetaan lukea väärin. Joskus toteu-
tuksessa noudatetaan rakennepiirustuksia rakennustehtäväpiirustusten sijaan, jolloin
lopputulos voi olla ristiriidassa halutun kanssa. Rakennepiirustus on saatettu tehdä hy-
vinkin ajoissa ennen lähtötietojen varmistumista, ja rakennustehtäväpiirustukset taas
viime hetkellä työmaatoteutusta varten. Tämä korjattaisiin sillä, ettei tietoa esitetä kah-
teen kertaan. Työmaalle toimitetaan vain yksi piirustus tietystä kohdasta, jolloin tiedon
siirtoon liittyvä virheriski eliminoidaan ja säästetään aikaa toteutuksen kriittisissä vai-
heissa. (Hollo 2016.) Tätä on imuohjaus: toimitetaan vai se, mitä tarvitaan ja milloin
tarvitaan.

Prosessi tulisi suunnitella jatkuvan virran periaatteella (Kuvio 31) pyrkimällä pääse-
mään eroon ajasta, jolloin projektit seisovat tai odottavat jonkun työpanosta. Avain jat-
kuvaan parantamisprosessiin on virtauksen toiminta koko projektin tasolla. Hyvä suun-
nittelutehtävien delegointi ja työntekijöiden päivittäinen yhteistyö tuovat varmuutta te-
kemiseen, jolloin suunnitelmat ovat parempia ja näin ollen niiden revisiolta vältytään.
Tähän vaaditaan suunnittelutiimin lisäksi yhteyttä myös muiden projektin osapuolien
kesken: vuorovaikutusta työmaalle on pidettävä yllä. Keskustelu urakoitsijoiden tar-
peesta liittyen esimerkiksi työmenetelmiin ja nostovälineisiin on tärkeää suunnitteluvai-
heissa. Jotta suunnitelmia ei revisioida väärin, ja ongelma ymmärretään perusteellisesti,
olisi paikan päälle mentävä henkilökohtaisesti. Prosessin parantaminen ja ongelmien
ratkaiseminen onnistuvat parhaiten tutustumalla ongelmiin itse, kuin esittämällä teori-
oita kuulemansa perusteella: kannattaa toimia henkilökohtaisesti vahvistetun tiedon
pohjalta (Leppämäki 2014, 22).



Kuvio 31 Jatkuvan virran periaate (Avperea 2011)

3.4 Hukan eliminointi

Hukan eliminointi on yksi lean-mallin ydinajatuksista. Hukalla tarkoitetaan turhia tai lisäarvoa tuottamattomia toimintoja sekä vaiheita, joihin käytetään aikaa ja resursseja. Toyota, lean-strategian kehittäjä, on tunnistanut 7 toiminnallista hukan tyyppiä liiketoiminta- ja valmistusprosessissaan:

1. ylituotanto
2. odottelu
3. tarpeeton kuljettelu
4. ylikäsittely
5. tarpeettomat varastot
6. tarpeeton liikkuminen
7. viat
8. työntekijän luovuuden käyttämättä jättäminen. (Liker 2011, 28-29.)

Teollisuusrakenteiden suunnittelussa, ja elementtisuunnittelussa yleisesti, hukan tyypeinä voidaan pitää:

1. ylituotantoa
2. odottelua
3. tarpeetonta suunnitelmien julkaisua
4. ylikäsittelyä
5. tarpeetonta varastointia
6. ongelmat suunnitelmissa
7. suunnitelmien revisioita (Leppämäki 2014, 17).

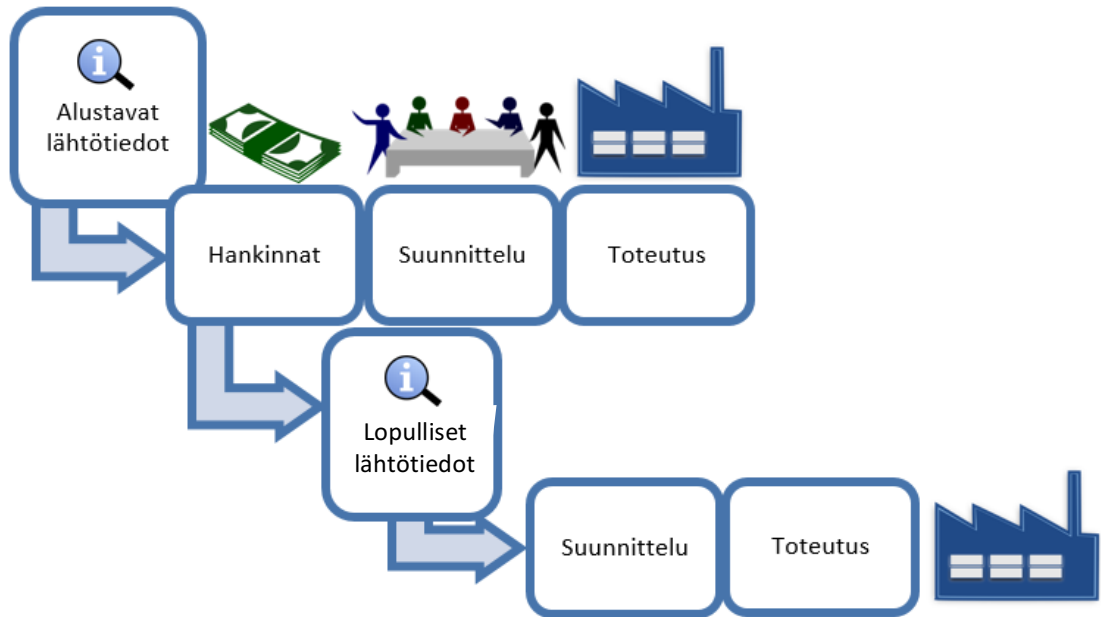
Luetellut ongelmakohdat eivät tuota asiakkaalle lisäarvoa ja siten ole tarpeellisia tuotannolle. Myös teollisuusprojektien suunnittelussa on tunnistetavissa nämä samat hukan tyypit: ylituotantona voidaan pitää kaikkea suunnittelua, joka ei kuulu suunnittelusopimuksessa määritettyihin suunnittelutehtäviin, tai toistuvia samojen detaljien työstöä eri suunnittelijoiden toimesta. Suunnitelmissa tulee esittää vain oleellinen halutun laadun saavuttamiseksi. Odottelu puolestaan johtuu talon sisäisistä tai ulkopuolisista lähtötietojen puutteesta. (Leppämäki 2014, 17.)

Tarpeetonta suunnitelmien julkaisua ovat suunnitelmat, jotka on lähetetty ennaikaisesti työmaalle, eikä juuri oikeaan aikaan (Kuvio 30). Tällöin voi ehtiä tapahtua muutoksia ja suunnitelman joutuu revisioimaan. Ylikäsittelyä voi olla suunnitelmien liiallinen visuaalinen työstö. Suunnitelmien tulisi olla yksiselitteisiä ja helposti luettavia, mutta ei yhtään enempää. Tärkeintä ovat selkeät lähtötiedot, jotka mahdollistavat suunnittelijoiden virtaavan ja määrätietoisien työskentelyn. (Leppämäki 2014, 17.)

Tarpeeton varastointi on suunnittelua, joka on tehty etukäteen, eikä noudata ”juuri oikeaan tarpeeseen” -ajattelua. Hyvällä projektisuunnittelulla tehdään kaikille osapuolille selkeät aikataulut, jotta suunnittelu on virtaavaa eikä tuottamatonta työtä tapahdu. Ongelmat suunnitelmissa ja niiden revisioinneissa on korjattavissa jatkuvan virran menetelmällä, josta kerrottiin tarkemmin kappaleissa *Jatkuva virtaus* ja *Imuohjaus*.

3.5 Lean-ajattelu rakennesuunnittelussa

Rakennusprojektin kokonaistehokkuus muodostuu kaikkien osapuolien yhteistoiminnasta ja sujuvasta vuorovaikutuksesta, ja rakennesuunnittelu on vain osa sitä. Teollisuusprojektien toteutus on limitettyä (Kuvio 32): prosessi- ja rakennesuunnittelu, hankinnat ja rakentaminen tapahtuvat yhtä aikaa (Nissinen 2017).



Kuvio 32 Teollisuushankkeen rakentamisprosessi

Teollisuusrakenteiden suunnittelun haasteena on nopean aikataulun ohella myös lähtötietojen saaminen oikeaan aikaan. Suunnittelu aloitetaan usein hyvin vähäisillä ja puutteellisilla lähtötiedoilla, muutoksia tulee paljon ja tilanteisiin vain tulee sopeutua suunnittelun edetessä. Rakenteisiin tehdään muun muassa paljon läpivientejä lopputuotteen prosessin vaatimuksista johtuen. Näitä ei suunnitteluvaiheessa vielä tarkasti tiedetä, joten suunnitelmat täydentyvät toteutusta kohti ja sen aikana.

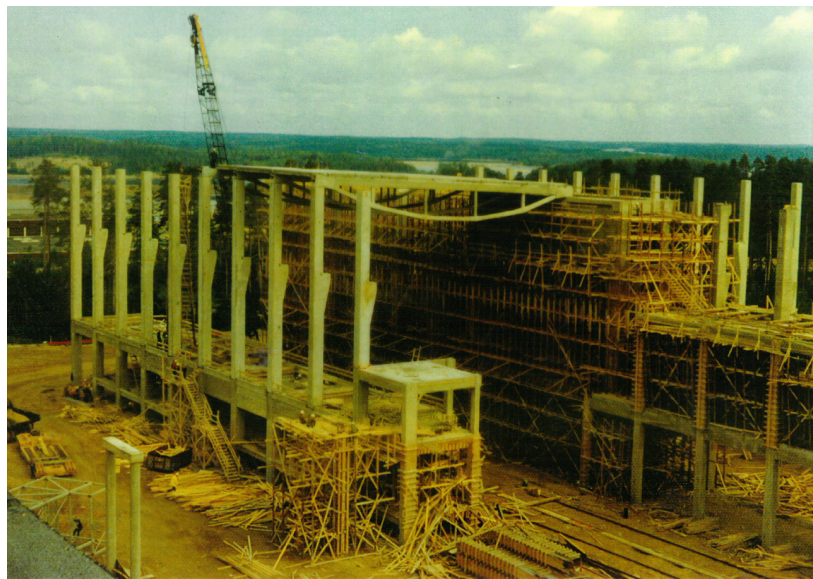
Laitehankinnat ohjaavat merkittävästi teollisuusrakennuksen suunnittelua ja tuotantoa. Suurin osa investoinneista tehdään vasta myöhäisessä vaiheessa projektia rahan säästämiseksi, jolloin lähtötiedot rakennesuunnittelulle jäävät vajavaisemmiksi, kuin mitä suunnittelussa tarvittaisiin. Yleensä vain päälaitehankinnat tehdään juuri ennen rakentamista. (Nissinen 2017.) Kun tietoja varmistuu, päätökset, rakenneratkaisut ja suunnittelun delegointi saatetaan tehdä paikoin hyvinkin lyhyellä tähtämellä. Rakennesuunnitte-

lun osalta lean-ajattelua voisi olla esimerkiksi rakenteiden standardisointi ja halutun laadun mukaisen suunnittelun mahdollistaminen. Liitosten osalta tämä olisi niiden yksinkertaistaminen, monikäyttöisyys ja variaatioiden vähentäminen. Kun detaljit ovat standardoituja, prosessissa on muuntojoustavuutta. Tärkeää rakennesuunnittelussa on ennakointi, varautuminen ja suunnitelmien yksinkertaistaminen.

Aikataulu- ja päätöksenteko-ongelmia voidaan välttää luomalla vaihtoehtoisia suhteita työryhmien välille. Jokainen hoitaa omat ongelmansa eikä luo uusia ongelmia ohjaamalla niitä muille osapuolille. Tärkeää on luoda toimiva yhteys tiedolle työryhmien välille, kuten esimerkiksi suunnittelijoiden ja tuotannon yksikölle. (Melles 1997, 15.)

3.5.1 Tehokkaat rakenneratkaisut

Teollisuusrakentamisen suurin edistysaskel rakennustehokkuudessa ja rakennusajan lyhentämisessä oli elementtitekniikan kehittyminen. Lähes täysin elementtirakenteista koostuvat tehtaot yleistyivät 90-luvulle mentäessä. Verrattuna paikallavalurakenteiseen tehtaaseen minimoi nykyinen menetelmä hukkaa ja tuottamatonta työtä (Kuva 12 ja Kuva 13). Myös laatu on parantunut, kun työ tehdään elementtitehtaissa työmaan sijaan. Työmaalla keskitytään vain asennustyöhön, kun muottitöitä ei juurikaan tarvita.

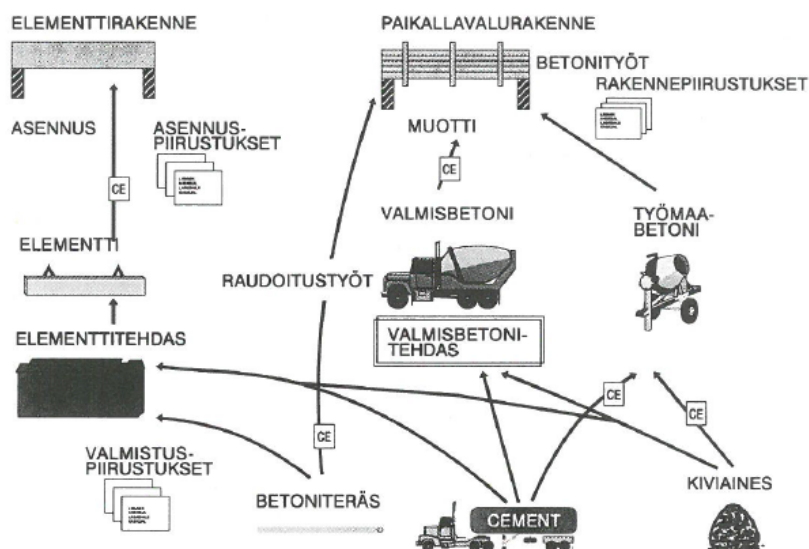


Kuva 12 Pitkälti paikallavaluna toteutettu paperitehdasrunko 60-luvulla (Jouni Hollo 2001)



Kuva 13 Erään paperitehtaan elementtirakenteinen runko 90-luvulla (Jouni Hollo 2001)

Kun runko tehdään elementeistä, rakennus rakennetaan lohkoissa ja liitokset vakioidaan, saadaan kohteen valmistusaika optimoitua. Elementit valmistetaan ja viimeistellään tehtaissa mahdollisimman pitkälle, jolloin työmaalla tehtävän työn määrä vähenee. Lean toimii tehokkaimmin, kun sitä noudatetaan koko arvoketjussa, aina asiakkaasta suunnittelupöydälle ja tehtaista alihankkijoihin. (Vakeva 2010.) Teollisuushankkeet ovat isoja projekteja, ja elementtirakentaminen on näissä ensisijaista. **Virhe. Viitteen lähdeä ei löytynyt.** on esitetty elementtirakenteisen rakennuksen tehokkuus verrattuna perinteiseen paikallavalurakentamiseen.



Kuvio 33 Betonielementti- ja paikallavalurakentamiset vaiheet ja standardit (Teollinen betonirakentaminen 1996, 140)

Kaikessa rakentamisessa tavoitteena tulee olla kerralla valmis -periaate. Rakennuksissa pyritään mahdollisimman korkeaan esivalmistusasteeseen, jolloin työtä voidaan siirtää sään armoilta parempiin olosuhteisiin (Kuva 14). Kaikkea väliaikaisrakentamista, kuten esimerkiksi työmaa-aikaista valaistusta ja portaita, vältetään (Kuva 15). Teollisuusrakentamisessa on mahdollista tehdä kaikki kerralla valmiiksi ja oikeaan aikaan. (Hollo 2014.) Rungon nopea pystytys on tärkeää myös siksi, että prosessilaitteiden ja putkistojen asennus päästään tekemään sisätiloissa, eikä erillisiä sääsuojia tarvita.



Kuva 14 Elementtirakenteisen tehtaan sisätilat saadaan nopeasti säältä suojaan (Veijo Timonen 1995)



Kuva 15 Lopullinen porras asennettuna jo rakennusvaiheessa (Veijo Timonen 1995)

Teollisuusrakenteissa pyritään yleisesti selkeyteen ja yksinkertaisuuteen. Arkkitehtuuri ei yleensä aseta kriittisiä vaatimuksia rakenteille, joten muutoksien toteuttamista saadaan helpotettua rakennesuunnittelijoiden puolesta muuntojoustavilla ratkaisuilla. Muuntojoustava rakenneratkaisu on esimerkiksi kuorilaatan käyttö isojen tehtaiden raskaasti kuormitetuilla välitasoilla, koska se on helppo rei'ittää ja reikävarauksiin voidaan varautua hyvällä jännepunossuunnittelulla. Lähtötietojen puuttuessa tulisi tilaajan kanssa päästä kompromissiin rakenteesta, jolloin suunnittelutyö jatkuu virtaavana ja muutoksien tullessa valittu rakenne on vaatimuksiin nähden riittävä, eikä suunnittelutyötä tarvitse tehdä uudestaan (Nissinen 2017).

3.5.2 Detaljikirjasto – standardoidut rakenneratkaisut

Standardoidut rakenneratkaisut ovat yksi rakennusprojektin tehostamiskeino. Jos liitokset ja detajjikka vakioidaan jo ennen suunnittelutyön aloittamista, se ohjaa koko prosessia ja mahdollistaa nopeat päätökset. Näin hukkaa (tuottamatonta suunnittelutyötä, turhaa suunnitelmien revisiointia ja työmaan jatkuvaa ohjaamista) vähennetään ja asiakasarvo maksimoidaan. Käytettävistä standardiratkaisuista voidaan sopia asiakkaan, muiden suunnittelijaosapuolien ja rakentajan kanssa jo projektin alussa, jolloin suunnittelua saadaan ohjattua oikeaan suuntaan koko prosessi huomioiden.

Jotta odottelua ja hukkatyötä voitaisiin välttää, tulisi kaikilla suunnittelijoilla olla käytössään yhtenäinen ja helposti saatavilla oleva kokoelma valmiista mallipiirustuksista sen sijaan, että jokainen tekee detajjin omaan kokemukseen perustuen. Tällöin lopullisia lähtötietoja odotellessa olemassa olisi jo joitakin suunnitelmia, joita voidaan hyödyntää projektissa. Näitä ovat muun muassa projektissa käytettävät liitokset sekä sekundääriset rakenteet, kuten kevyet seinät, kaiteet, lattiakanaalit, jälkivalut ja pienet laiteperustukset. Kun vanhoja projekteja ei tarvitse kaivella lähtötiedoksi, vaan on olemassa selkeä ja standardoitu aineisto, on uudemman suunnittelijan helppo päästä vauhtiin.

Miten lean-ajattelu liittyy juuri rakenneliitosten vakiodetajjikirjastoon? Lean-rakentamisen näkökulmasta detajjien tulisi olla niin pitkälle vakiinnutetuilla ratkaisuilla toteutettuja, kuin se on järkevää tehdä. Pienetkin variaatiot samankaltaisten detajjien välillä lisäävät työtä sekä suunnittelijoille että urakoitsijalle. Lean-ajattelu kehottaa panostamaan standardiratkaisuihin, joilla voitaisiin vähentää haasteita suunnittelussa, helpottaa työn

suoritusta, säästää aikaa ja parantaa laatua. Yhtenäiset rakenneratkaisut helpottavat esimerkiksi ohjeistusta työmaalla, kun opeteltavana ei ole kuin muutamia toteutustapoja sen sijaan, että liitoksissa ja rakenneosissa olisi enemmän variaatiota. Lisäksi valmiiden detaljikirjastojen käyttö vähentäisi stressiä työn suorituksessa lisäten työntekijöiden luottamusta tekemiseensä ja pienentäen asennusvirheiden mahdollisuutta työmaalla. Jos suunnittelijoilla ilmenee parannusehdotuksia valmiisiin standardeihin, olisi ne tuotava esille. Lean-rakentamisessa tärkeintä on projektin toteutusnopeus: standardoimalla rakennuksia mahdollisimman pitkälle päästään myös rakennesuunnittelun osalta osallistumaan valmistusajan minimointiin. Näin yhtenäisten liitosmaailman avulla päästään lyhentämään työstöaikaa sekä suunnittelu- että toteutusvaiheessa.

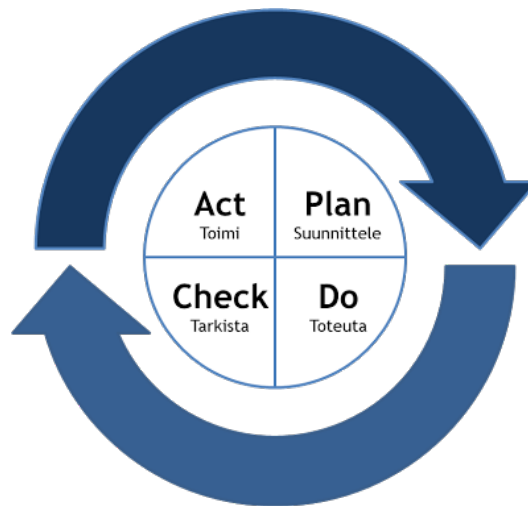
3.5.3 Säästöt rakennuskustannuksissa

Pieniä säästöjä voidaan tehdä suunnitteluratkaisuilla. Suunnittelussa voitaisiin keskittyä suurien volyymien suunnitteluun, kuten lattioihin, kantaviin holveihin, seiniin, vesikattoon ja perustuksiin. Kehävalit tulisi pyrkiä pitämään vakioina, jolloin voidaan parhaiten hyödyntää toistuvuutta muottityössä ja elementeissä. Merkittäviä säästöjä kuitenkin muodostuu vain, jos päätetään jättää jotain rakentamatta. Pääosa suunnitteluperusteista tulee viranomaismääräyksistä, joita ei voida ohittaa. (Hollo 2014.)

Kustannussäästöjä on löydettävissä myös laitetoimittajien ratkaisujen riittävän aikaisella tarkastelulla. Tiukkojen aikataulujen johdosta valintoja joudutaan kuitenkin tekemään aikataulun ja kustannusten välillä. (Hollo 2014.)

3.6 Jatkuva parantaminen

Jotta tuottamatonta työtä eli hukkaa havaitaan, voidaan sitä poistaa jatkuvan parantamisen prosessilla. Demingin ympyrä eli PDCA-sykli (Plan-Do-Check-Act) on systemaattinen jatkuvan parantamisen logiikka (Kuvio 34). Siinä edellytetään, että ongelmia tutkitaan, jotta ne ymmärretään huolella, ratkaisuvaihtoehtoja testataan, niiden toimivuutta seurataan ja toimivat ratkaisut viedään laajasti käytäntöön. (Logistiikan maailma, n.d.)



Kuvio 34 Demingin ympyrä (Mannila M. 2015)

Demingin ympyrä kuvastaa myös lean-ajattelun toimintamallia. Syklin Tarkista ja Toimi -vaiheet ovat hyvän suunnittelun ja toteutuksen lisäksi tärkeitä. Päätyneitä projekteja käydään läpi heti niiden valmistuttua. Projektista yritetään löytää mikä meni hyvin, missä on parannettavaa ja mitä suunnitelmia voitaisiin kehittää. Asiakkaan palaute on tärkeä osa, ja edellisistä projekteista opittu tieto siirretään seuraaviin. Luodun detaljikirjaston kannalta kehitys tarkoittaa sitä, että detaljeja päivitetään, jos projekteissa todetaan muutostarpeita. Jatkuvaa parantamista ovat myös yrityksen toimintaa kehittävät opinnäyte- ja diplomityöt, jotka esitellään yrityksen suunnittelijoille ja joissa pohditaan jakekehitysmahdollisuuksia.

4 POHDINTA

4.1 Tiedonhallinta ja työn vaiheet

Opinnäytetyön tiedonhallinta oli paikoin työlästä, koska teollisuusrakenteista ei aiemmin oltu tehty vastaavanlaisia tutkielmia. Lähdeaineiston etsinnässä meni kauan aikaa, ja lähdeaineiston vähäisyyden takia tutkimusmenetelmäksi valikoitui haastattelu. Kokeiden teollisuuden projektipäälliköiden haastattelemisen ohella työhön löytyi muutamia teoksia, joita pääosin käytettiin kirjalähteenä; RT-korttia (vuosi 2004), RIL-ohjetta (vuosi 1977) ja Valmisosarakentamisen teosta (vuosi 1995). Teokset RT-korttia lukuun ottamatta olivat kuitenkin suhteellisen vanhoja, ja osassa tiedoista oli päivittämisen tarvetta. Teemat eivät myöskään täysin käsitelleet työssä läpikäytävää raskaan teollisuuden rakennustekniikkaa. Haastattelut, suunnittelijoilta saadut standardit, piirustukset, artikkelit ja valokuvat vanhoista teollisuusprojekteista sen sijaan toivat sekä hyvää lähdeaineistoa työhön, että opettivat tekijää. Lähdeaineisto niin kirjoista kuin vanhoista projekteista on vanhimmillaan 70-luvulta, mutta tietojen oikeellisuus on todistettu haastatella yrityksen asiantuntijoita.

Työ aloitettiin keräämällä teollisuusyksikön vanhoja projektikansioita sekä verkkolevyiltä että paperiarkistosta. Löytyneestä aineistosta etsittiin tehdasrakennuksien vakiodetaljeja ja standardeja, jotka käytiin läpi teollisuusyksikön teknisen johtajan kanssa. Opinnäytetyöhön valittiin rungon toiminnan osalta merkittävimmät detaljit, ja ne liitettiin yksinkertaistettuina piirustuksina työhön. Opinnäytetyö kirjoitettiin aiemmin mainitun lähdeaineiston pohjalta, ja sen idea oli kertoa tärkeimpien runkoliitoksien taustalla oleva metsäteollisuuden tehdasrunkorakenne. Lisäksi keskityttiin lean-ajattelun hyödyntämiseen teollisuusprojekteissa, ja aiheeseen perehdyttiin kirjallisuuslähteiden avulla.

Työn aikataulu oli teeman mukaisesti lean-tehokas. Opinnäytetyön lisäksi siihen varustussa tiukassa kahden kuukauden ajassa etsittiin, kerättiin ja valikoitiin tuleviin projekteihin hyödynnettävä detaljikirjasto. Tästä seuraten tuli teollisuusrakentamisen laaja liitosmaailma tutuksi, sillä käsiteltävänäni oli satoja detaljeja. Opinnäytetyön ja detaljikirjaston ei todella annettu seisoa pöydällä, vaan työssä tehtiin Likerin (2011) lean-ajattelun mukaan ”se mitä he haluttiin, sen verran kuin haluttiin ja silloin kun haluttiin”.

4.2 Työn tavoitteiden toteutuminen

Opinnäytetyötä aloittaessa työn laajuutta oli vaikea rajata, mutta koska teollisuusrakenteista ei ollut vielä olemassa teoksia, päätettiin lean-ajattelua koskevan osion lisäksi käsitellä myös teollisuusrakentamista ja sen rakenteita kokonaisuudessaan. Teollisuus rajattiin koskemaan puunjalostuslaitoksia, jotka ovat ainakin tällä hetkellä yksikön yleisimpiä suunnittelukohteita. Myös lean-ajattelu pyrittiin pitämään rajoissa, jotka liittyvät teollisuusrakentamisen yksikön toimintaan.

Opinnäytetyöhön käytetty valokuva-arkisto oli erinomainen lähde, ja työhön liitetyt kuvat havainnollistavat teollisuusrakenteita ja rakennusprosessia mieleenpainuvasti. Teollisuusrakenteita käsittelevä kappale on hyödyllinen alan uusille suunnittelijoille, sillä teollisuusosastolla aloittaessani en vielä itsekään juuri tiennyt alan rakenteista. Ammattikorkeakoulujen opetussuunnitelmat eivät keskity tähän puoleen, eikä teoksia ole tehty koskien etenkin raskaan teollisuuden rakenteita. Harva on myöskään eksynyt tehdastyömaalle, joten valokuvat toivat työlle konkreettista sisältöä. Suosittelen työssä käsiteltyihin asioihin perehdyttämistä osaston uusille työntekijöille.

Projektipäälliköiden haastattelu avasi silmiä projektien laajuudelle, ja lean-ajattelun liittäminen tähän opinnäytetyöhön pisti miettimään. Projektin tehostamisessa on keskityttävä kokonaisuuteen, eikä vain yksittäisiin asioihin. Toimiva runkojärjestelmä on jo vuosia sitten kehitetty, mutta lean-ajatusmaailman tuominen koko projektiin on haastavampaa. Lean-ajattelu oli paikoin vierasta, mutta toimintamallin avaaminen niin teki jälle kuin muille osapuolille helpotti ymmärrystä. Eikö lean-ajattelussa ole vain kyse tehokkaasta työskentelystä? Käytännössä on, mutta kysymys onkin, miksei sitä tuoda käytäntöön. Ajattelutapa on yksinkertainen, mutta se täytyy vain tuoda kaikille ilmeiseksi.

Myös liitosmaailman kehittäminen eteenpäin toisi lisäarvoa suunnitteluun, ja jatkuva parantaminen on tärkeää. Teollisuusala kehittyy myös yksittäisten projektien ympärillä ja uusien menetelmien huomioiminen on erittäin tärkeää. Voi olla, että nykyinen liitosmaailma toimii nyt, mutta miten on sen laita tulevaisuudessa? Kehitystä ei kannata jättää kesken, koska muiden osapuolien kehitys ohjaa liitosmaailmaa, kuten esimerkiksi materiaalit ja työmenetelmät. Miten esimerkiksi 3D-tulostaminen vaikuttaisi liitoksen

suunnitteluun, kun se nykyisellä menetelmällä on tehokas? Jos tekniikka muuttuu olennaisesti, saatetaanko palata esimerkiksi paikallavalurakenteisiin?

Työ ja siihen liittyvä teollisuuden betonirakenteiden vakiodetaljikirjasto tulee Sweco Rakennetekniikan teollisuusyksikön käyttöön, ja se tullaan julkaisemaan yrityksen intranetissä. Opinnäytetyö teollisuusrakenteista perehdyttää uusia suunnittelijoita alan rakennustekniikan erityispiirteisiin ja parantaa nykyisten suunnittelijoiden työtehokkuutta työn ohella kootulla vakiodetaljikirjastolla, jota tullaan kehittämään edelleen ja ottamaan laajempaan käyttöön.

4.3 Jatkokehitysehdotukset

Swecon toimintamalli rakennetun teollisuuden asiantuntijayhtiönä perustuu asiakaslähtöisyyteen. Vision saavuttaminen edellyttää selkeää toimintatapaa, joka tuottaa lisäarvoa myös asiakasyrityksien liiketoiminnalle. (Swecon Eettinen toimintaohje, 3-7). Vastikään yhdistyneiden toimistojen tietämys tulisi yhdistää ja projektikokemus tulisi viedä tehokkaasti myös uusiin projekteihin, jotta asiakastyytyväisyyttä saataisiin parannettua entisestään.

Yksikössä voisi tuoda vakiodetaljikirjaston lisäksi kappaleessa 3 käsitellyt työn tehostamiseen liittyvät asiat selkeästi ilmi. Vastaisuudessa keskitytään tarkemmin siihen, että kuka tekee, mitä tekee ja mistä löytyy tieto. Tehdään työtä oikealla tavalla ja oikeaan aikaan (Just-in-time). Tuodaan ilmi, että oma tapa tehdä työtä voi olla hyvä, muttei välttämättä paras, ja keskitytään kokonaisuuteen: mikä on kuhunkin tarpeeseen tarkoituksenmukaisin ratkaisu. Suunnitteluprosessin suoritus olisi tehokkaampaa, jos irrallisista tehtävistä päästäisiin eroon ja suorittaminen toimisi enemmän jatkuvan virran periaatteella.

Projektin kokonaishallintaan voitaisiin keskittyä ennakkosuunnittelulla, jolla varaudutaan esimerkiksi rakenteissa ilmeneviin muutostarpeisiin. Varaudutaan joustavilla rakenteilla, suunnitellaan riittävällä ja tarkoituksenmukaisella kapasiteetilla ja käytetään standardiratkaisuja. Tutkitaan paikat, joissa ei voida käyttää standardiratkaisuja, ja tuodaan myös ne selkeästi ilmi. Revisioprosessi tuntuu olevan työläs, joten tähän voitaisiin asiakkaan kanssa kehittää lean-tehokas ratkaisu. Miten revisioprosessia saataisiin hallittua niin, ettei turhaa odottelua tapahdu ja työ sujuisi jatkuvan virran periaatteella?

Suunnittelupalavereita voitaisiin lisätä, ja niissä tulisi olla riittävästi projektissa vaikuttavia henkilöitä. Kokouksissa tulee kannustaa tuomaan myös omia mielipiteitä ilmi, jotta yksikön toimintaa saataisiin vielä kehitettyä. Jos keksit kehitettävää, miten sen ilmi tuomista saataisiin kannustettua? Suunnittelijoiden välistä yhteistyötä voitaisiin parantaa, ja etenkin suunnittelijoiden väliseen tiedonkulkuun voitaisiin kehittää jokin työkalu.

Seuraavana tutkielman aiheena ehdotan tämän opinnäytetyön aiheen jatkojalostamista. Ennen tätä opinnäytetyötä oltiin tietoisia siitä, mitä tarvitaan. Kun vakiodetaljiikka saatiin kasaan, tiedetään, mitä tehdään. Nyt tarvitsee enää toimia. Tutkielman sisältö ja ajatusmaailma voitaisiin tuoda käytäntöön kehittämällä kyseisille detaljeille Tekla-komponentit. Tämä nopeuttaisi suunnittelutyötä, ja rakenteet tulisivat varmasti oikein. Kun vakiodetaljit ovat löytyneet, tarvitsee suunnittelutyön tehokkuuteen vielä sen verran keskittyä, että kyseiset ratkaisut saadaan nopeasti mustana valkoiselle. Piirto-ohjelmista on alettu pikkuhiljaa luopua, sillä Tekla-ohjelmistolla tehdyn 3D-mallin käyttäminen mahdollistaa oikeastaan kaikkien suunnittelun alojen suunnitelmien yhdistämisen samaan malliin. Tällöin suunnitelmien ristiriitaisuusriskit saadaan minimoitua ja rakenne-suunnittelu tehokkaaksi, lean-ajattelua noudattavaksi prosessiksi.

LÄHTEET

- Avperea. 2011. Beyond Kanban: Lean Thinking for Agile Teams. Blogin kuvasarja. <https://www.slideshare.net/avperea/beyond-kanban-lean-thinking-for-agile-teams> (Viitattu 10.4.2017.)
- BY 201. Betonitekniikan oppikirja 2004. 2007. 5. uud. p. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto.
- By 202. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja, osa 3. 1992. 2. painos. Suomen Betoniyhdistys Helsinki: Suomen Betoniyhdistys.
- BY 210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. 2008. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki: Suomen Betonitieto.
- Elementtisuunnittelu. N.d. Runkorakenteet. Pilarit. Ulokkeet. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/pilarit/ulokkeet> (Viitattu 28.3.2017.)
- Elementtisuunnittelu. N.d. Teollinen valmisosarakentaminen. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen> (Viitattu 15.2.2017.)
- Finland – home of precast expertise. N.d. Pdf-tiedosto. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen> (Viitattu 16.2.2017.)
- Hekkala, J. 2008. Teräsrakenteisen hallin rakennesuunnittelu. Tutkintotyö. 8. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9548/Hekkala.Joel.pdf?sequence=2> (Viitattu 6.4.2017.)
- Hollo, J. 1997. Prefabrication – facing the new century. Luentomateriaali. International symposium 1-3 October 1997. Helsinki.
- Hollo, J. 2001. Paper mills. Aaro Kohonen. Luentomateriaali vuodelta 2001.
- Hollo, J. Korpela, K. 1996. Finnish design and concrete know-how for paper mills in the European Union. *Betoni-lehti* 3/96. 48-49.
- Hollo, J. Ristolainen, S. 2017. Sweco Rakennetekniikka Oy. Haastattelu 29.3.2017, Helsinki.
- Hollo, J. 2014. Sweco Industry Oy. Innovatiiviset rakenneratkaisut. Raportti.
- Hollo, J. 2016. Sweco Rakennetekniikka Oy. Suunnittelun revisioselvitys. Raportti.
- K. Liker, Jeffrey. 2011. Toyotan tapaan. Helsinki: Readme.fi
- LCI Finland. N.d. Mitä on lean-rakentaminen? <http://lci.fi/mita-on-lean-rakentaminen/> (Viitattu 28.3.2017.)

- Leppämäki, H. 2014. Elementtisuunnitteluprosessi ja suunnittelujärjestelmä. Opinnäytetyö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, rakennustekniikan koulutusohjelma. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73743/elementt.pdf?sequence=1>. (Viitattu 10.4.2017.)
- Leskelä, M. 2009. Betoni-lehti 1/2009. Jännitettyjen HI- ja I-palkkien suunnitteluohjeet. 43-44. <http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0903-s42-45.pdf> (Viitattu 28.3.2017.)
- Logistiikan maailma. N.d. JIT. [http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_\(Just-in-time\)_ja_imuohjaus](http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/JIT_(Just-in-time)_ja_imuohjaus). (Viitattu 10.4.2017.)
- Logistiikan maailma. N.d. Lean-ajattelu. <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Lean-ajattelu> (Viitattu 17.2.2017.)
- Luukka, Teemu. 2016. Helsingin sanomat. Talous. Suomen elättää pikkuriikkinen kuitu – jos sille löytyy korvaaja, Suomi on lirissä. <http://www.hs.fi/talous/art-2000005021936.html> (Viitattu 30.3.2017.)
- Mannila, M. 2015. Lean ja Lean startup. Kirjoitus Perheyrittäjyys – Family Business blogissa 8.12.2015. <http://tutkimu.blogspot.fi/2015/12/lean-ja-lean-startup.html> (Viitattu 27.3.2017.)
- Melles, Bert. 1997. What do we mean by lean production in construction? https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=dWF4AgAAQ-BAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=lean+construction&ots=ttlS8lBpgx&sig=PzArbG2Bnu7LvTLNVc4SD4AoozU&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Viitattu 10.4.2017.)
- Mittaviiva Oy. 2016. Kuva. <http://www.mittaviiva.fi/lean-rakentamisessa.html> (Viitattu 19.4.2017.)
- Nissinen, Hannu. 2017. Tekninen johtaja. Sweco Rakennetekniikka Oy. Opinnäytetyön ohjauskeskustelut. 3-4/2017. Helsinki.
- Rakennusteollisuus RT. 2016. Rakentamisen suhdanne 8/2016. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdannekatsaukset/2016/elokuu-2016/suhdannekatsauksen-kuviot-elokuu-2016.pdf> (Viitattu 27.3.2017.)
- Rakennusteollisuus RT. 2016. Suhdannekatsaus. 10/2016. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdannekatsaukset/2016/lokakuu-2016/suhdanne-syky-2016-net.pdf> (Viitattu 16.2.2017.)
- Rakennusteollisuus RT. 2017. Suhdannekatsaus. 3/2017. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdannekatsaukset/2017/maaliskuu-2017/2017-suhdanneliite_net.pdf (Viitattu 27.3.2017.)
- RT 82–10821. 2004. Rakennustieto. RT Net –tietopalvelu. Betonielementtirunkorakenteet. Viitattu 27.3.2017.

Betonelementtirakenteet. 1977. RIL 115. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto.

RTT Rakennustuoteteollisuus ry. 1995. Valmisosarakentaminen 1. Osa C. Rakennussuunnittelu ja rakennejärjestelmät. Lahti: Lahden kirjapaino ja Sanomalehti Oy.

Runko-BES. 1986. SBK. Julkaisu 7. Liitokset.

Sipiläinen, T. 2016. Betonelementtirakenteisen asuinrakennuksen vakiodetaljit. Opinnäytetyö, AMK. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. <https://www.theseus.fi/handle/10024/106430> (Viitattu 27.3.2017.)

Suomen suurlähetystyo. Helmikuu 2016. Talous ja elinkeinot. <http://www.finland.se/public/default.aspx?nodeid=36155&contentlan=1&culture=fi-FI> (Viitattu 16.2.2017.)

Sweco. 2015. Eettinen toimintaohje pdf- 3-7. http://www.sweco.fi/siteassets/tietoa-swecosta/vastuullisuus/sweco_finland_eettinen_toimintaohje.pdf (Viitattu 20.3.2017.)

Timonen, V. 1995. Valokuvakansio erään paperitehtaan rakennusvaiheista. Sweco Rakennetekniikka Oy.

Vakeva. 2010. Vakevan Lean-koulutusmateriaali Swecon koulutukseen 17.12.2010.

Tegelman, A. 2016. Lean-teoria ja rakennesuunnitteluprosessi. Opinnäytetyö, AMK. Tampereen ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. <https://www.theseus.fi/handle/10024/120839>. (Viitattu 28.4.2017.)

LIITTEET

Liite 1. Haastattelun kysymykset

Haastattelu
Helsinki 29.3.2017

Haastattelija: Julia Rahkonen
Haastateltavat: Hollo Jouni, Samu Ristolainen

Teollisuusrakentaminen - puunjalostuslaitokset

1. Minkälainen on tyypillinen (paperi/sellu-)tehtaan runkorakenne?
 - a) toiminta
 - b) vertailu esim. toimisto- tai asuinrakennukseen
2. Onko tehtaiden koko pysynyt samana?
3. Mikä on työläin tai aikaa vievin vaihe suunnittelussa?
4. Mitkä ovat haasteita rakennesuunnittelussa?
 - a) Mitä otetaan huomioon verrattuna esimerkiksi asuinrakennuksiin?
5. Materiaalivalinnat - miksi käytetään pääosin betonia?
6. Kuinka suuri osa koostuu elementtirakenteista?
7. Miten tehdasrakennus jäykistetään?
8. Teollisuusrakentaminen nyt verrattuna aiempaan – onko tilanne parempi vai huonompi?
9. Mitä tapahtuu lakkautetuille tehtaille?
 - a) Otetaanko purkumahdollisuus huomioon suunnittelussa?
10. Miten Lean-ajattelu voidaan huomioida teollisuusprojekteissa?