



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Paikallavalettavien- ja elementti- rakenteiden kannattavuusvertailu massiivisissa kohteissa

TEKIJÄ: Hanna Tarvainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Hanna Tarvainen	
Työn nimi Paikallavalettavien- ja elementtirakenteiden kannattavuusvertailu massiivisissa kohteissa	
Päiväys	29.2.2020
Sivumäärä/Liitteet	
Ohjaaja(t) Jarmo Taavitsainen pt.tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) KVR-Rakennus Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla sekä paikalla valettavan rakenteen että elementtirakenteen kustannuksia, aikataulutusta, toteutusta ja työturvallisuutta, kun rakenteet ovat massiiviset ja kantavuusvaatimukset suuret. Koottua aineistoa hyödynnettiin vaihtoehdoisen tarjouksen antamisessa rakennuttajalle. Opinnäytetyön tilasi KVR-Rakennus Oy.</p> <p>Kustannusvertailua varten koottiin molemmista rakennetyyleistä kaikki kokonaishintaan vaikuttavat tekijät, kuten työ ja rahti. Paikallavalettavan rakenteen kokonaishintaan vaikuttavat tekijät koottiin urakka-aineistosta. Elementtien kustannuksiin pyydettiin tarjouksia yhteistyökumppaneilta. Aikataulunvertailua varten tehtiin elementtirakentamisesta aikataulu, työaikamenekkejä hyödyntäen. Lisäksi tarkasteltavien rakenteiden toteutusta ja logistiikkasuunnitelmaa tutkittiin. Myös rakenteiden kannattavuutta, toteutuskelpoisuutta ja rakenteiden toteutuksen turvallisuutta selvitettiin. Työssä vertailtiin tilastoja rakentamistapojen työtapaturma määristä ja onnettomuuksien vakavuudesta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena selvisi, että elementtirakentaminen on turvallisuuden ja terveellisyyden kannalta riskialttiimpaa, kuin paikalla rakentaminen. Työtapaturmatilastoista selvisi rakentamistapojen suurimmat työturvallisuusriskit ja niiden todennäköisyys työskenneltäessä. Riskien tunnistaminen ja vaarojen ehkäisy todettiin olevan avainasemassa turvallisen työsuorituksen takaamisessa. Rakentamistapojen aikataulujen vertailussa ilmeni, että elementtirakentaminen olisi ollut noin viisi kertaa nopeampi toteuttaa kuin paikallavalettava. Rakentamistapojen kustannukset osoittautuivat odotusten mukaisiksi, eli paikalla valettava rakenne olisi hiukan elementtirakennetta edullisempi toteuttaa. Molemmissa rakentamistavoissa todettiin olevan etunsa kuin myös haittansa. Opinnäytetyön loppuun todettiin rakentamistapojen yhdistelyn olevan kannattava ratkaisu.</p>	
Avainsanat Elementti, paikallavalu, kustannus, aikataulu, työturva	

Abstract

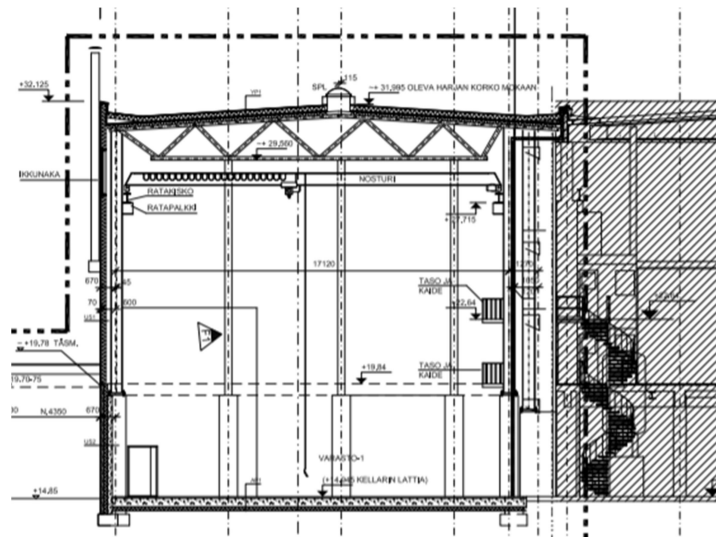
Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Hanna Tarvainen			
Title of Thesis Comparison of Cast-in-Place and Prefabricated Units in Massive Structures			
Date	February 19	Pages/Appendices	
Supervisor(s) Mr Jarmo Taavitsainen			
Client Organisation /Partners KVR-Rakennus Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to compare the costs, schedule, work safety and implementation at cast-in-place and prefabricated units. The project was commissioned by KVR-Rakennus Oy.</p> <p>The material was compiled to be used when giving an alternative offer. All the components affecting the total price were collected for the comparison. The information for the total price of the cast-in-place structure were taken from the contract documents. The business partners were asked to make offers for prefabricated units. The schedule for building with prefabricated units was made for comparing schedules. The comparison showed that building from prefabricated units would have been five times faster. In addition, the implementation of the structures, the logistic plan as well as the feasibility and implementability of structures were compared.</p> <p>Additionally, work safety was discussed as well. Statistics on accidents at work and regulations for ensuring work safety were taken into account. Risk assessment and preventing risks proved crucial to ensure safe working.</p>			
<p>Keywords cast-in-place, prefabricated, work safety, schedule, costs</p>			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	KOHDE	7
3	RAKENTEIDEN TOTEUTUS	8
3.1	Paikallavalettavanrakenteen toteutus.....	8
3.1.1	Logistiikkasuunnitelma.....	11
3.2	Elementtirakenteen toteutus.....	11
3.2.1	Logistiikkasuunnitelma.....	13
4	AIKATAULU.....	15
4.1	Paikallavalurakenteen aikataulu	15
4.2	Elementtirakenteen aikataulu.....	16
4.3	Yhteenveto.....	17
5	TYÖTURVALLISUUS	18
5.1	Paikallavalettavanrakenteen vaikutus työturvallisuuteen.....	18
5.2	Elementtirakenteen vaikutus työturvallisuuteen	21
5.3	Työturvallisuusriskien vertailu	23
6	RAKENTAMISTAPOJEN KUSTANNUKSET	25
6.1	Paikallavalettavatrakenteet.....	25
6.2	Elementtirakenteet	26
6.3	Yhteenveto.....	28
7	LOPPUTULOS	30
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	32
	LÄHTEET	34
	LIITE 1: ALUESUUNNITELMA.....	36
	LIITE 2: PAIKALLAVALLETTAVAN AIKATAULU.....	37
	LIITE 3: ELEMENTTIRAKENTEEN AIKATAULU	38
	LIITE 4: KUSTANNUSLASKEMAT (SALATTU)	38

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana on laajennusurakka Helsingin Pitäjänmäen ABB:n länsipäädyssä. Urakassa vanha toimistorakennus puretaan ja tilalle rakennetaan uusi puolilämmin 1 200 m² varastotila sekä toiseen kerrokseen konekorjaamolle noin 300 m² laajennus. Konekorjaamon toiminnan vuoksi, kantavuusvaatimukset rakenteille ovat suuret. Esimerkiksi suunnitelmien mukaan välipohjalaatan tulisi kantaa vähintään 50 kN/m², välipohjalaatta kuvassa 1. katkoviivalla.



Kuva 1. Leikkauspiirustus kohteesta (Arkkitehdit Tommila Oy: ARK_105015)

Rakennusurakassa pohdittiin, kuinka paljon vastaavissa kohteissa voisi säästää aikaa, jos paikallavalettavan toteutuksen sijaan rakenteet toteutettaisiin elementtirakenteena. Kohteen betonirakenteet on suunniteltu paikallavalurakenteina. Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla eri näkökulmista eroja paikallavalettavan- ja elementtirakenteen välillä, kun rakenteiden kantavuusvaatimukset ovat suuret ja betonirakenteiden koot ovat hyvin massiiviset. Tarkoituksena vertailusta on tuottaa suunnittelua ja laskentaa helpottava aineisto rakenteista. Vertailusta saadun aineiston perusteella tilaajan on helpompi antaa vaihtoehtoinen tarjous rakennuttajalle, vastaavissa kohteissa.

Opinnäytetyössä lähdettiin selvittämään aikataulun, kustannuksen, toteutuksen, logistiikan, työturvallisuuden ja lopputuloksen kannalta kannattavuutta vertailun rakenteille. Kustakin osa-alueesta on tarkoitus saada suunnittelua ja laskentaa helpottava aineisto, jonka perusteella voitaisiin rakennuttajalle antaa kaksi tarjousta ja aikataulua saman kaltaisista kohteissa.

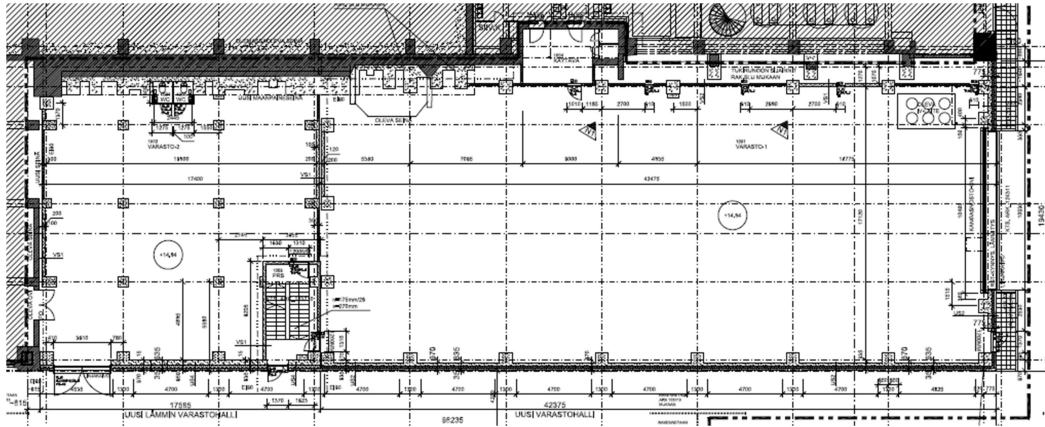
Opinnäytetyö tausta-aineistoa ovat rakennushankkeen suunnitelmat ja muu urakka-aineistot. Kohteen kuvat ja suunnitelmat on lähtökohta opinnäytetyön aloituksessa. Hintojen vertailussa hyödynnettiin laskuja, hinnastoja sekä sopimuksia, joista saatiin koottua paikallavalettavaan rakenteeseen vaikuttavat hintatekijät ja tästä kokonaishinta. Työturvallisuussuunnitelmaa kohteesta käytettiin sekä mallina, että vertailussa. Rakennushankkeen aikataulua käytettiin vertailussa ja laskelmissa.

Opinnäytetyössä syntynyttä tutkimusaineistoa on vertailtu tulokset aikataulusta, hinnoista, lopputuloksesta, toteutuksesta ja työturvallisuudesta. Kustannuksiin liittyvä aineisto on sovittu salassa pidettäväksi.

Opinnäytetyön tilaaja on KVR-Rakennus Oy. Pääkaupunkiseudulla ja tämän ympäryskunnissa toimiva rakennusliike, KVR-Rakennus Oy on perustettu vuonna 2004. KVR-Rakennus Oy tekee asuinrakennuksia, toimisto- ja liiketiloja sekä teollisuus- ja tuotantotiloja. KVR-Rakennus Oy:n urakointi muotoja ovat projektinjohto-, kokonais-, rakennus- ja KVR-urakointi sekä laskutyöt ja neuvottelu-urakointi.

2 KOHDE

Opinnäytetyössä tarkasteltavia betonirakenteita olivat talo 80-nimikkeistön litteraan 3 kuuluvat pilarit, palkit, välipohjalaatat ja seinän sisäkuori. Rakenteet olivat kuvattu arkkitehdin ensimmäisen kerroksen pohjakuvassa, kuva 2.



Kuva 2. 1krs pohjakuva (Arkkitehdit Tommila Oy: ARK_103013)

Konekorjaamon laajennuksen välipohjalaatalle asetetut kantavuusvaatimukset olivat 50 kN/m^2 . Välipohja oli hiukan yli 300 m^2 , ja sen valupaksuudeksi oli suunniteltu 500 mm . Betonimäärä tuohon oli laskelmien mukaan noin 160 m^3 . Raudoitusta oli välipohjaan suunniteltu $19\,000 \text{ kg}$.

17 m korkea ulkoseinä oli noin 80 m . Seinän alaosassa oli paikallavalettava sisäkuori viiden metrin korkeuteen asti, josta seinän sisäpuoli jatkuu pelti-villa-pelti rakenteella. Julkisivun ulkokuori toteutettiin tiilelementillä, millä jäljiteltiin vanhan rakennuksen julkisivua mahdollisimman tarkasti. Seinän betonisen sisäkuoren paksuus oli 200 mm . Betonia seiniin oli laskettu menevän noin 90 m^3 . Raudoitukseen oli puolestaan laskettu menevän $2\,300 \text{ kg}$ harjaterästä. Paksumpaa 300 mm seinää oli noin 12 m . Paksumpiin seiniin tuli laskujen mukana noin 20 m^3 betonia. Raudoitusta näille seinille oli laskelmien mukaan noin $1\,000 \text{ kg}$. Paksummat 300 mm seinät olivat rappukäytävän seinät.

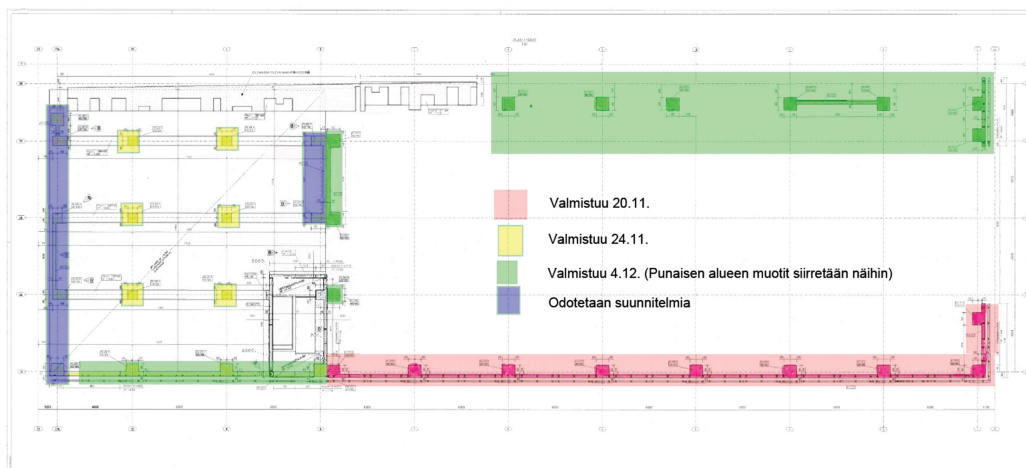
Pilareita oli 36 kpl . Laskettu betonimäärä näille oli lähes 100 m^3 ja raudoitusta jopa $12\,250 \text{ kg}$. Pilareiden koot olivat $600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$, $800 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, $500 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$ ja $600 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$. Pilarit olivat pääasiassa 5 m korkuisia, joiden päältä jatkettiin teräspilareilla ja teräskattoristikolla. Välipohjalaatan alle oli palkkeja suunniteltu 3 kpl . Laskettu betonimäärä oli reilut 30 m^3 ja raudoitus $5\,400 \text{ kg}$. Palkit olivat kooltaan $1000 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$, ja pituudeltaan noin 18 m .

3 RAKENTEIDEN TOTEUTUS

3.1 Paikallavalettavanrakenteen toteutus

Betoni on maailman eniten käytetty rakennusmateriaali muokattavuuden, kestävyuden ja turvallisuuden vuoksi. Betonista ei liukene sisäilmaan tai veteen päästöjä, mikä tekee siitä myös allergikoille sopivan rakennusmateriaalin. Betonin peruskoostumus on sementti, vesi ja kiviaines. Betonin luonnonmukaiset materiaalit ovat yksi syy materiaalin suosiolle. Betonin yksi pääaines, sementti koostui pääasiassa kalkkikivestä, mutta siihen sekoitetaan betonin ominaisuuksia muokkaavia lisäaineita käyttökohteen mukaan, kuten metallin valmistuksessa saatava sivutuotetta masuunikuonaa. Lisäaineilla betonin koostumusta voidaan muokata esimerkiksi hitaammin kovettuvaksi, itsestivistäväksi tai lisäaineilla lujuutta voidaan parantaa.

Opinnäytetyön tarkasteltava rakentamistavan, paikallavalun terveyshaitat liittyivät meluun, pölyyn ja emäksisyyteen. Betonin emäksisyys on todettu olevan haitallista iholle tai silmiin joutuessa. (Betoniteollisuus Ry: Tietoa betonista, turvallisuus). Ympäristöhaittoja, melua ja pölyä syntyy rakennustöiden yhteydessä. Paikallavalettavien betonirakenteiden töistä johtuvia ympäristöhaittoja oli pyritty vähentämään uusilla menetelmillä ja työvälineillä.



Kuva 3. Muottikiertosuunnitelma (KVR-Rakennus Oy työmaasuunnitelmat: Muottikiertosuunnitelma)

Kaikkien paikallavalettavien rakenteiden perustöiden työjärjestys oli sama, muotti- ja raudoitustyöt sekä valu. Betonin sitoutumisen jälkeen oli muottien purku, huolto ja siirto seuraavaan paikkaan sekä betonin jälkihoito.

Muotteina käytettiin muottijärjestelmän valmis osia, joista voitiin koota eri mallisia ja korkuisia muotteja. Muoteista saatiin koottua muotit kaikille tarkastelun rakenteille, kuten seinille, mutta myös esimerkiksi anturoille. Muoteilla saatiin betonipinnasta sileämpi ja saumattomampi, kuin puusta tehdyillä kertakäyttöisillä muoteilla. Muottijärjestelmän avulla voitiin myös vähentää huomattavasti muoteista syntyvän jätteen määrää, mikä paransi hiukan kohteen betonirakentamisen ympäristöystävällisyyttä.



Kuva 4. Muottien ensimmäisen sivun jälkeen tehtiin raudoitus (Tarvainen 2020).

Perinteisen työjärjestyksen mukaan muotit koottiin ensimmäisenä. Kuvan 4. mukaisesti korkeissa rakenteissa, eli seinät ja pilarit, jouduttiin raudoitukset tekemään ennen muotin umpeen kokoamista. Raudoituksen valmistuttua muottien toinen auki jätetty sivu koottiin loppuun. Raudoituksen dokumentointia varten raudoituksista otettiin kuvia, ennen muottien sulkemista ja valua. Matalien muottien kohdalla, eli palkit ja välipohjalaatta, voitiin muotit koota ensin täysin valmiiksi, jonka jälkeen raudoitus tehtiin. Muotit tuettiin muottilukoin ja vinotuin, kuvan 5. mukaisesti, jotta muotit kestivät betonin aiheuttaman paineen valutöiden aikana. Muottien varmistuksen ja tuennan jälkeen oli valutöiden vuoro.



Kuva 5. Muotit ja niiden tuenta (Tarvainen 2020).

Valut toteutettiin useassa osassa, suurten valumäärien ja valun tauotusten vuoksi. Valuja tarkasteltavissa rakenteissa oli yli 400 m^3 , joka vaati vähintään 40 säiliöautoa, sillä yhteen perinteiseen säiliöautoon mahtuu enintään 10 m^3 . Valut toteutettiin pumppuautolla, johon tuotiin betonimassa erillisillä säiliöautoilla. Betonia tuotiin kuhunkin valukertaan erikseen laskettu määrä. Osa valettavista rakenteista oli jopa viiden metrin korkuisia, joten oli betonikerrosten annettava välillä sitoutua, jotta muotin alaosaan ei kohdistunut liian suurta painetta ja muotit kestivät valut. Betoni painaa noin 2500 kg/m^3 , joten jos betonin ei olisi annettu välillä sitoutua, olisi muotin alaosaan kohdistunut hyvin suuri paine. Valutauotukseen riitti valukorkeudesta riippuen, puolesta tunnista kahteen tuntiin oleva tauko.

Betonin vesi-sementtisuhte vaikuttaa suuresti sitoutumisaikaan, kuin myös betonin kutistumaan. Betonin yleisin koestuslujuus aika oli 28 vuorokautta, tässä ajassa betonin voitiin katsoa saavuttaneensa vaadittu lujuus. Muotit voitiin kuitenkin purkaa tätä aikaisemmin, kun betoni oli sitoutunut riittävästi. Muottien purkamiseen perinteisesti rakennesuunnittelija antaa luvan, laskettuaan kuivumiselle keliolojen mukaan vaadittavan ajan. Betonin sitoutuminen ja lujuuden kehitys alkoi heti kun sementti-kiviaines-seokseen lisättiin vettä. Sementin laatu vaikutti betonin sitoutumisaikaan. Betonin lujuus jatkoi kehittymistä vielä pitkään tämän jälkeen, niin kauan kuin oli vapaata vettä ja reagoimatonta sementtiä jäljellä.

Kun betoni oli sitoutunut, voitiin muotit purkaa. Uudelleen käytettävät muotit siirrettiin seuraavaksi työstettävään kohtaan muottikiertosuunnitelman mukaan, kuva 3. Jotta muotit voitiin käyttää aina uudelleen, oli ne joka purun ja uudelleen käytön välissä puhdistettava huolellisesti ja öljyttävä muottiöljyllä. Muottiöljy helpotti muottien irrottamista sitoutuneesta betonista. Valutöiden valmistuttua, muotit putsattiin ja palautettiin vuokraamoon.

Valutyöt toteutettiin talviaikaan, jolloin betonin jäätyminen oli riskinä. Betonin jäätyminen olisi aiheuttanut betonin laadun ja lujuuden heikkenemistä sekä halkeilua. Betoni jouduttiin suojaamaan mahdollisen jäätyksen varalta. Matalat lämpötilat myös hidastivat betonin sitoutumista ja tavoitelujuuden saavuttamista. Betonin sitoutuminen olisi voinut lähes pysähtyä, mikäli ympäröivä ilma olisi laskenut pakkasen puolelle, joten lämpötilaa oli nostettava ja ylläpidetä muilla keinoin. Talvi betonointiin oli saatavilla talvilaatua olevaa betonia, jota suositeltiin ja usein jopa vaadittiin käytettäväksi talviolosuhteissa.

Betonin huolellinen jälkihoito oli tärkeä tekijä betonin laadukkaalle lopputulokselle. Jälkihoidon aikana betonirakenteet tuli suojata liialta kuivumiselta, sillä liian nopea betonin kuivuminen olisi aiheuttanut halkeilua. Betonin sitoutuminen on veden ja sementin välinen reaktio, jonka vuoksi veden liika haihtuminen tulee estää. Betonin huolellisella jälkihoidolla voitiin estää liika kuivuminen. Betonin kuivuminen oli vähäisempää, kun kelit olivat viileät. Talviolosuhteiden vuoksi ei betonia voitu suoraan kastella, joten betonin kosteutta ylläpidettiin peittämällä valut muoveilla, mikä esti veden haihtumisen.

Paikallavalettavan rakenteen toteutuksessa aikataulut oli tärkeää. Uuden betonierän oli aina tultava oikeaan aikaan, jotta tauotus oli oikea, mutta ei syntynyt turhaa työn seisahtumista. Paikallavalettava rakenne vaati suuren joukon työntekijöitä, jotta aikataulussa oli mahdollista pysyä.

3.1.1 Logistiikkasuunnitelma

Paikallavalettavan rakenteen toteutus oli logistiikan kannalta huomattavasti helpompaa, kuin elementtirakenteen. Paikallavalettavaanrakenteeseen liittyvät kuljetukset ja rahdit eivät tarvinneet erillistä logistiikkasuunnitelmaa, mutta tarvitsi aikataulun materiaalien saapumisesta työmaalle.

Muottien osat tuotiin työmaalle paria päivää ennen muottityön alkua. Muotit varastoitiin niin, etteivät ne tulleet työskentelyn tielle ja nosturi päästiin ajamaan tarvittavalle paikalle. Muotit on tarkoitettu käytettäväksi ulkona, joten varastoinnin aikaista suojausta ei tarvittu.

Harjateräksset tuotiin myös pari päivää ennen raudoitustöiden alkua. Teräksiä ei saanut tuoda työmaalle liian aikaisin, sillä terästen varastointi työmaalla tarpeettoman pitkään olisi aiheuttanut varastointiin liittyviä ongelmia. Teräksiä tarkasteltaviin rakenteisiin tuli 40 000 kg, joten näin suuri määrä olisi ollut työskentelyn tiellä tai vaati hyvin laajat varastointialat. Myös liian pitkää varastointiaikaa taivasalla tuli välttää ja olisi teräksset vaatineet kuivan ja suojatun paikan varastoinnin ajaksi. Liian pitkä altistus kosteudelle ja sään vaihteluille olisi aiheuttanut teräksen korroosiota, mikä heikentäisi teräksen lujuutta.

Betonimassat tuotiin valupäivinä sovittuihin aikoihin. Betonimäärät laskettiin kunkin valukerran tarpeen mukaan. Valuihin betoni tuotiin yleensä säiliöautolla ja pumppaus suoritettiin erillisellä pumpuautolla, jolla yletyttiin tekemään valut korkeisiin rakenteisiin ongelmitta. Betoni valuja tuli tarkasteltaviin rakenteisiin yli 400 m³ ja valut toteutettiin useassa osassa.

3.2 Elementtirakenteen toteutus

Betoniteollisuus Ry:n mukaan betonielementtien laatu on usein parempi, kuin paikallavaletun rakennusosan laatu. Elementtirakentamisella voitiin myös vähentää rakentamisesta johtuvia ympäristöhaittoja, kuten melua ja pölyn leviämistä. Elementtirakentaminen on myös ilmaston kannalta parempi vaihtoehto, sillä elementtien valmistuksessa tehtaalla voitiin vähentää materiaalihukkaa ja betonirakentamisessa syntyvän jätteen määrää. Betonivalmisosiin oli myös mahdollista käyttää paremmin eri ominaisuuksia tarjoavia betonilaatuja, kuten värjättyä betonia, itseivivistävää betonia tai korkeamman lujuuden tarjoavaa betonia (Betoniteollisuus Ry: valmisosat).

Elementtirakenteissa työvaiheita olisi vähemmän, mutta työn haastavuuden ja elementtien massiivisten kokojen vuoksi, vaatisi työnsuoritus tarkat suunnitelmat. Elementtien asennus vaatisi työaika laskemien mukaisesti kolmen rakennusammattimiehen asennusporukan, taulukko 3. Elementtien asennusta varten tulisi tehdä työturvallisuuden ja laadun takaavat suunnitelmat. Elementtitoteutus vaatisi rakennesuunnittelijalta elementtisuunnitelmat.

Välipohjalaatan toteutus elementeillä olisi myös hyvin haastavaa, sillä suunnitelmien mukainen välipohja oli 500 mm paksu. Välipohjalaatat tulisi tehdä palkkijaon mukaan, eli kolmessa osassa, tai tätä kapeampina. Välipohjalaattajako riippuisi käytettävästä elementtityypistä. Eri välipohjalaatta elementtityyppien leveysvaihtoehtoja tulisi tarkastella elementtejä suunnitellessa ja elementtien painoja tarkasteltaessa. Palkkijaon mukaan tehdyn yhden välipohjaelementin panoksi tulisi arviolta lähes 136 000 kg, taulukko 1. joten voisi elementtien jakaminen pituussuunnassa puoliksi olla toteutusta helpottava tekijä. Välipohjaelementtien jakaminen mahdollisimman kevyiksi ja pieniksi kappaleiksi helpottaisi elementtien asennusta ja kuljetusta. Välipohjanlaatan perinteisistä elementtivaihtoehtoista liittolaatta ja massiivilaatta olisivat voineet olla kosteeseen soveltuvia vaihtoehtoja. Ontelolaatan paksuus olisi kasvanut liian suureksi, ennen kuin sillä olisi saavutettu vaaditut kantavuusvaatimukset 50 kN/m². Kohteen välipohjalaatan suunnittelu elementeillä olisi vaatinut tarkat laskelmat ja vertailut eri laattaelementti vaihtoehtoista.

Elementtilaattojen yhdistäminen vanhaan rakenteeseen olisi vaatinut omat suunnitelmansa, kantavuuden ja tasaisen liitos sauman onnistumiseksi. Elementin ja vanhan välipohjan saumasta olisi tullut saada hyvin tasainen ja kestävä. Sauma olisi voinut kenties vaatia pienen valun saumakohtaan onnistuakseen.

Pilareiden ja seinien toteutus elementeillä olisi ollut selkeämpää ja helpompaa. Rakennesuunnittelija olisi laskenut ja suunnitellut tarvittavat pilarit. Pilareiden kappalepaino olisi pysynyt hallittavissa mitoissa. Painavin pilarelementti olisi painanut arvioivien laskelmien mukaan noin 8 000 kg, taulukko 1. Seinät eivät olleet kantavia rakenteita, joka olisi helpottanut seinien sisäkuoren elementtitoteutuksen suunnittelua sekä pitänyt seinäelementit keveämpinä ja helpommin työstettävänä.

Palkit olivat kooltaan 1 000 mm * 600 mm ja 18 000 mm pitkiä. Palkkeja oli suunniteltu kolme kappaletta, mutta jos palkit olisi toteutettu elementeillä, olisi palkkien jakamista pienempiin osiin tullut pohtia, jotta siirrot, nostot ja asennukset olisi voitu toteuttaa turvallisesti. Jo esimerkiksi palkkien kahtia jako olisi keventänyt asennettavan palkin painoa inhimillisiin rajoihin. Vaikka palkit olisi ollut jaettu kahtia, olisi paino ollut arvioivien laskujen perusteella noin 13 500 kg kappaleelle, taulukko 1. Tällaisena palkin asentaminen olisi hyvin haastavaa ja olisi tuonut riskejä työturvallisuuteen kuin myös kuljetukseen. Palkkielementit olisi asennettu näiden alle tulevien pilareiden jälkeen. Palkit olisi istutettu pilarelementteihin tehtyihin kiinnitystappeihin.

Taulukko 1. Elementtien koot ja painoarvot

Elementti	Koko	Kpl	Kg/kpl	m ³	Rauditus kg	Betoni kg	Paino (kg)
Pilarit laatan alle	600*600	7	3638	10	1277	24192	25469
Pilarit seinä	800*800	24	8085	77	9727	184320	194047
Pilarit	600*900	4	5458	9	1094	20736	21830
Pilarit	600*500	1	3032	1	152	2880	3032
Palkit	1000*600	6	13500	32	5400	75600	81000
Välipohjalaatat	4910*16800	6	67917	162	19000	388500	407500
Paksut seinät	300*5000*6000	2	22075	18	950	43200	44150
Ohuet seinät	200*5000*6000	9	14654	54	2286	129600	131886
Porraskäytävän seinät	200*5000*6205	4	15142	25	1000	59568	60568
Porraskäytävän seinät	200*5000*3655	2	8897	7	250	17544	17794
Yhteensä		59		394	39886	946140	987276

Elementtirakenteen toteutusta varten tehtiin aluesuunnitelma. Aluesuunnitelmaan laadittiin nostureiden sijainnit nostoetäisyyksien perusteella, sekä varastointialueet elementeille. Aluesuunnitelma tehtiin rakennushankkeen käytössä olleeseen aluesuunnitelmaan, mikä muokattiin tilanteeseen sopivaksi. Nosturi olisi valittu elementtisuunnitelman mukaisten elementtipainojen mukaan. Nosturi olisi valittu elementtisuunnitelman perusteella, jossa olisi ilmoitettu elementtien painot, koot ja asennus sijainnit. Elementtien asennukseen on laskuissa arvioitu riittävän ajoneuvoalustainen nosturi.

Elementit olisi asennettu asennussuunnitelman mukaisessa järjestyksessä. Asennus olisi aloitettu välipohjan alle tulevista pilareista. Seuraavaksi asennettaisiin palkit ja välipohjalaatat, jotta välttäisiin nosturin edestakaiselta siirtelyltä. Tästä jatkettaisiin loppujen pilareiden asennuksella ja seinäelementtien asennuksella. Elementit olisi tuotu työmaalle logistiikkasuunnitelman mukaan.

3.2.1 Logistiikkasuunnitelma

Elementit olisivat olleet suurikokoisia ja erittäin painavia, joten elementtitoiteutus olisi vaatinut logistiikkasuunnitelman. Vertailua varten tehtiin kevyt logistiikkasuunnitelma, taulukko 2. Tehtaalta kulki päivittäin suuria määriä tavaraa, mikä vuoksi kulkuyhteydet alueelle olivat hyvät, ja kiertoreittejä ajoneuvoille ei olisi ollut tarpeellista pohtia.

Logistiikkasuunnitelmassa tässä tilanteessa merkittävintä oli tarkastella elementtien työ- ja tuontijärjestystä sekä kuljetusten määrää. Elementit tuotaisiin työmaalle käyttöjärjestyksessä, sopivan pienissä erissä. Tuontijärjestys pyrittäisiin suunnittelemaan niin, että asennetut rakenteet eivät tulisi työskentelyn tielle. Myös nosturin turhaa edestakaista siirtelyä olisi pyrittävä välttämään työjärjestystä suunniteltaessa. Elementtien tulo olisi pitänyt ajoittaa niin, ettei työtä olisi tarvinnut seisauttaa elementtien odotuksen vuoksi.

Myös elementtien pitkäaikaista varastointia työmaalla vältettäisiin, ja elementit pyrittäisiin asentamaan mahdollisimman pian työmaalle tuonnin jälkeen. Mikäli elementtejä oli jouduttu varastoimaan työmaalla, olisi ne pitänyt suojata asianmukaisesti. Elementtien altistus sään vaihteluille voisi vaurioittaa elementtiä, sillä jatkuva pitkäaikainen kosketus kosteuden kanssa voisi aiheuttaa kosteusvaurion jo ennen asennusta, tai korroosion teräksiseen nostokoukkuun, minkä jälkeen nostoja ja asennusta ei olisi voinut toteuttaa turvallisesti. Elementtien liian aikainen tuonti työmaalle olisi vaatinut myös suuren varastointitilan.

Ensimmäisenä työmaalle tuotaisiin välipohjalaatan alle tulevat pilarit. Pilarit jaettaisiin tarvittavan moneen kuljetuskertaan. Pilarit tuotaisiin niin, että asennus sujuisi mahdollisimman mutkattomasti. Pilarit olivat viiden metrin korkuisia, joten ne olisivat mahtuneet kuljetukseen hyvin. Välipohjan alle tulevat palkit olisi asennettava näiden pilareiden jälkeen. Välipohjalaatat olisivat kannattavaa asentaa seuraavaksi. Palkkien ja välipohjalaattojen kuljetusta olisi tullut suunnitella myös näiden elementtien pituuskien kannalta. Rakenteet olivat noin 18 m pitkät, ja mikäli ne olisi toteutettu yhtenä-

sinä elementteinä, olisi tullut pohtia sopiva kuljetusvaihtoehto näille elementeille. Tämän jälkeen nosturi voitaisiin siirtää seuraavaan sijaintiin ja jatkaa elementtien asentamista.

Loput pilarit, eli seinälinjalle tulevat pilarit olisivat kannattavaa asentaa seuraavana. Betonipilareiden päälle asennettiin suunnitelmien mukaisesti teräspilarit, jotka olisivat siis kannattavaa asentaa seuraavaksi. Teräspilareiden päälle asennettaisiin teräsristikot kattoa varten tässä vaiheessa. Viimeisenä tuotaisiin ja asennettaisiin seinäelementit. Seinäelementtien kuljetus olisi tullut suunnitella tarkoin, jotta elementit olisivat kestäneet kuljetuksen. Seinäelementit olisivat olleet kooltaan 5m*6m, joten elementit olisi tullut kuljettaa hiukan kallellaan, että olisivat mahtuneet kuljetusautoon. Elementtien tuenta olisi ollut varmistettava kuljetuksen ajaksi, ettei elementit olisi murtuneet tai muuten hajonneet kuljetuksessa.

Elementtitoteutuksen logistiikkasuunnitelma olisi tehty elementtien asennussuunnitelman perusteella. Elementtien hyvin tehdyn asennussuunnitelman avulla voitaisiin vähentää nosturin turhaa siirteilyä ja varastointi ongelmia sekä näin ollen tehdä asennustyöstä sujuvampaa. Betonielementtien asennusjärjestystä suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon myös betonirakenteiden yläpuolelle tulevat rakenteet ja niiden asennus.

Taulukko 2. Logistiikkasuunnitelman ajojärjestys

Ajot työmaalle	Kyydissä olevat elementit
1.	600*600pilarit, 600*900pilarit ja 600*500pilari
2.	Palkit
3.	800*800pilarit
4.	300mm seinät
5.	200mm seinät erä1.
6.	200mm seinät erä2.

4 AIKATAULU

Opinnäytetyön oletuksena oli, että elementtirakenteet olisivat paikallavalurakennetta huomattavasti nopeampi toteuttaa. Aikataulun vaikutus oli tärkeänä lähtökohtana opinnäytetyölle, sillä haluttiin selvittää, kuinka paljon näillä menetelmillä voitaisiin vastaavissa kohteissa kirä aikataulua. Työn aikataulu ja etenkin kesto vaikutti myös rakenteen kustannuksiin.

4.1 Paikallavalurakenteen aikataulu

Paikallavalettavassarakenteessa oli useampia hyvin työläitä työvaiheita, jotka hidastivat työtä huomattavasti. Työvaiheet karkeasti jaoteltuna oli muotti-, raudoitus-, valu- ja jälkihoitotyöt. Töitä rakennuskohteessa pyrittiin jouduttamaan töiden limityksellä, eli esimerkiksi raudoittaja lähti hiukan muottien kokoajien perästä tekemään, sen sijaan että odottaisi kaikkien muottien valmistumista. Työtä pyrittiin jouduttamaan myös usealla yhtäaikaisella työporukalla.

Betonierän tai jonkun muun materiaalin myöhästyminen olisi saattanut sotkea koko aikataulun ja aiheuttaa työn viivästymistä. Puolestaan betonierän liian aikainen saapuminen työmaalle olisi voinut aiheuttaa hetkellisen ruuhkan ja täten myös työturvallisuus riskin.

Aikataulun mukaisesti tarkasteltavien paikallavalettavienrakenteiden tekoon meni 47 työpäivää, eli noin 10 viikkoa. Rakenne oli hidas toteutettava kookkaiden valujen vuoksi. Työvaiheita oli limitettävä, niin paljon kuin suinkin mahdollista. Paikallavalettavanrakenteen työvaiheista muotti- ja raudoitus-työt veivät eniten aikaa. Valutyöt voitiin tehdä suhteellisen nopeasti. Valutyötä tauotettiin, jotta valukerrokset ehtivät välillä sitoutua.

Paikallavalettavienrakenteiden aikataulu oli tehty rakennusurakkaan ja otettiin urakka-aineistosta tarkastelua ja vertailua varten. Aikataulu oli koko urakkaa koskeva aikataulu, johon oli eroteltu kaikki työvaiheet, kuten paikallavalettavat seinärakenteet. Urakka-aikataulu oli seurantaviiva-aikataulu ja se oli tehty PlaNet-aikatauluohjelmalla.

4.2 Elementtirakenteen aikataulu

Elementtien asennus on lähtökohtaisesti paikallavalettavaa nopeampaa. Asennusta kyseisessä kohteessa hidastaa elementtien massiivinen koko. Aikataulu tehtiin RATU aikataulukirjan työaikamenekkien perusteella. RATU aikataulukirjaan on koottu eri rakennusvaiheiden työaikamenekit laskentaa varten. Työaikamenekit ovat arvio rakenteen tai työvaiheen toteutukseen kuluva ajasta. Työaikamenekkeihin laskettiin kaikki työvaiheet, joita elementtien asennuksessa tulisi tehdä. Kootut työaikamenekit kerrottiin asennettavien elementtien määrällä, rakenne kerrallaan. (RATU Aikataulukirja 2016). Elementtien asennuksen kestoksi saatiin laskettua vajaa 8 työpäivää kolmen rakennusammattimiehen työporukalla, eli noin 170 tth, taulukko 3. Elementtien asennuksen voisi siis suorittaa vajaan kahden viikon aikana.

Taulukko 3. Elementtirakenteen aikataulu

Rakenne	määrä	yksikkö	tth/kpl	resurssit	tth	tv
Pilarit	36	kpl	2,55	3+0	92	4
Palkit	6	kpl	1,65	3+0	10	0,4
Välipohjalaatta	6	kpl	3	3+0	18	1
Seinät	17	kpl	3,05	3+0	52	2
Yhteensä	65	kpl	10,25	3+0	171,55	7

Elementtien valmistuksen ja toimituksen hitaus tulisi ottaa huomioon aikataulua suunniteltaessa, jotta elementtien tilaus tulisi hoitaa hyvissä ajoin. Elementtien toimitusaika tulisi sopia ajoissa, jotta elementtivalmistajan ajojärjestelijä saisi elementtien toimituksen järjestettyä oikeaan aikaan työmaalle. Elementtien valmistuksessa oli myös lähes jokaisessa paikassa jonot, mitkä aiheuttivat viivästyksiä elementtien valmistukseen, ellei elementtejä ollut ajoissa tilattu. Elementtien valmistukseen on tehtaalla varattava tilat ja tarvittava kapasiteetti, jota ei välttämättä oltu saatavilla, jos tilaus tehtiin liian myöhään.

Betonin sitoutumiseen kuluu 28 vuorokautta, jonka jälkeen betonin voidaan katsoa saavuttaneensa vaadittu lujuus. Betonin tulee olla saavuttanut suurin osa tavoite lujuudestaan, ennen työmaalle toimitusta, jotta se kestäisi nostot ja siirrot. Betonielementtien valmistus tili ajoittaa niin, että betoni ehtii sitoutua riittävän ajan ennen toimitusta. Elementtien liian myöhäinen tilaus tai kuljetuksen myöhästyminen olisi voinut sotkea aikataulun pahasti ja aiheuttaa jopa myöhästymisen kokonaisaikataulusta.

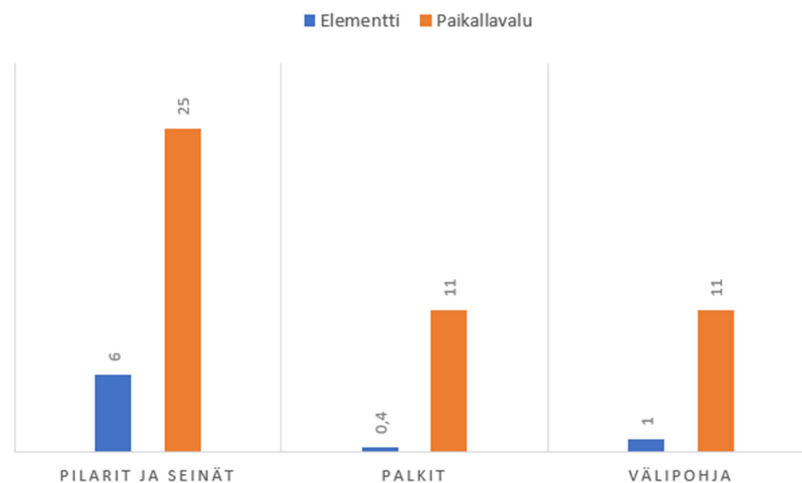
Elementtien aikataulu tehtiin taulukko muotoon, mitä oli helpompi sitten hyödyntää opinnäytetyön eri työvaiheissa, kuten kustannusten laskennassa elementtien asennuksen osalta. Aikataulu laskettiin kullekin tarkasteltavalle rakenteelle RATUn elementtiasennuksen työaikamenekkien mukaan (RATU

työaikakirja). Työaikamenekkiin on laskettu nostoon, asennukseen, kiinnitykseen ja juotoksiin sekä saumauksiin menevä työaika.

4.3 Yhteenveto

Opinnäytetyön hypoteesi osui oikeaan ja elementtirakenteella paikallavalettavanrakenteen korvaamien jouduttaisi työtä huomattavasti. Elementtirakenne olisi tullut kokonaisuudessaan aikataulun mukaisesti lähes viisi kertaa nopeammaksi, kuin paikallavalettava rakenne. Vastaavissa kohteissa olisi siis aikataulullisesti huomattavaa hyötyä paikallavalettavanrakenteen korvaamisella elementein, ainakin siltä osin, mikä olisi toteutuksen kannalta kannattavaa. Jo pelkästään esimerkiksi seinien ja pilareiden korvaaminen elementeillä olisi kirinyt aikataulua huomattavasti. Kuviossa 1. on näytetty rakentamistapojen kesto kunkin rakenteen kohdalla.

Kuvion 1. mukaisesti, paikallavalettavien pilareiden ja seinien aikataulun mukaiseen toteutukseen meni yhteensä 25 työpäivää, kun puolestaan elementti toteutuksella laskelmien mukainen kesto olisi ollut 6 työpäivää. Niin paikallavalettavien palkkien kuin välipohjalaatankin paikallavalu toteutukseen kului aikataulun mukaisesti 11 työpäivää kumpaankin. Elementtirakenteella palkkien asennukset olisi saatu tehtyä työpäivässä, kuten myös välipohjalaattojen asennukset. Yhteen laskettuna aikataulun mukaisesti tarkasteltaviin paikallavalettaviinrakenteisiin kului 47 työpäivää, kun taas elementtirakenteisiin alle kahdeksan työpäivää. Seinien ja pilareiden aikataulusäästö olisi ollut lähes viisinkertainen, kun taas palkkien ja välipohjalaattojen aikataulusäästö olisi ollut jopa kymmen kertainen.



Kuvio 1. Aikataulu vertailu

5 TYÖTURVALLISUUS

Kaikki työt rakennustyömaalla tulee suorittaa Valtioneuvoston asetuksen 205/2009 rakennustyön turvallisuudesta mukaisesti. Asetus 205/2009 pohjautuu sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön työturvallisuuslakiin 738/2002 (Rakennustyön turvallisuus 205/2009). Tätä 205/2009 asetusta sovelletaan kaikissa rakennustöissä niin maan alla, maan päällä kuin myös vedenalla, oli rakentaminen sitten uudisrakentamista, korjausrakentamista tai kunnossapitoa.

5.1 Paikallavalettavanrakenteen vaikutus työturvallisuuteen

Rakennushankkeeseen oli tehty työturvallisuussuunnitelma sekä riskikartoitus, joissa listattu työturvallisuuden riski tekijät. Niin työturvallisuussuunnitelmassa, kuin riskikartoituksessa oli otettu huomioon myös paikallavalun aiheuttamat riskit. Paikallavalurakenteisiin liittyvistä töistä ei ollut kuitenkaan tehty erillistä työturvallisuussuunnitelmaa. Työmaan työturvallisuudesta oli vastuussa päätoteuttajan valitsema vastaava työnjohtaja sekä rakennuttajan edustajana työturvallisuuskoordinaattori.

Työmaalla työnteon turvallisuutta pyrittiin edistämään työmaaperehdytyksellä, se oli vastaavan työnjohtajan laatima ja sen piti joku työmaan työnjohtajista kaikille työmaalle tuleville. Perehdytys vaaditaan kaikilla työmailla, kaikille työntekijöille pidettäväksi. Perehdytyksessä perus turvallisuusohjeiden ja työmaakerroksen lisäksi käytiin läpi työntekijän työtehtävät ja menossa oleva työvaihe. Kuhunkin työtehtävään oli tarkennetut ohjeet työn turvallisen suorituksen takaamiseksi.

Merkittävimmäksi nimenomaan valutöihin liittyviä riskejä oli mainittu telineiltä työskentely ja liikenne (KVR-Rakennus Oy työmaasuunnitelmat: Riskikartoitus). Osa valuista jouduttiin toteuttamaan korkeilta telineiltä työskennellen, kuvan 6. mukaisesti, jolloin ilman asianmukaisia putoamissuojia työskentely olisi vaarallista. Toimenpiteet telineillä työskentelyn turvallisuuden takaamiseksi oli telineiden huolellinen sekä asianmukainen kokoaminen ja tarkastus, riittävät kaiteet ja henkilökohtaiset valjaat, jokaisella korkealla työskentelevällä. Telineillä työskentelyn työturvallisuuden takaamisesta oli määrätty Valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta, asetus 205/2009 (Rakennustyön turvallisuus 205/2009). Kaikki telineet, valjaat ja putoamissuojat tuli tarkastaa ennen töiden aloitusta. Telineiden ja putoamissuojien ynnä muiden työssä käytettävien välineiden ja koneiden tarkastus kuului myös viikoittaiseen työturvallisuusmittaukseen.



Kuva 6. Valutyöt jouduttiin toteuttamaan telineiltä käsin (Tarvainen 2020).

Toinen valutöiden merkittävä riski, liikenne aiheutui useiden säiliöautojen sekä pumppuautojen yhtäaikaista toiminnasta kohteessa. Työmaan aiheuttaman liikenteen lisäksi, liikenteen aiheuttamaan työturvallisuusriskiä kasvatti tehtaalta kulkeva tavaraliikenne. Risteävä liikenne oli huomioitava työskennellessä. Riskiä pyrittiin hallitsemaan valvonnalla ja erityisellä varovaisuudella työskennellessä. Työmaalla osoitettiin ajoneuvoille ja jalankulkijoille omat reitit, siinä määrin, kuin mahdollista.

Työturvallisuusriskin paikallavalettavien rakenteiden toteutuksessa työmaalla aiheutti useiden toimijoiden yhtäaikaista toimintaa. Alueella oli yhtäaikaista muotti-, raudoitus- ja valutyöt käynnissä. Tämän työturvallisuusriskin minimoimisessa oli avainasemassa perehdytyksen kohdistaminen työvaiheisiin sekä työvaiheiden aikataulutus, jotta päällekkäisyyksiltä vältyttiin.

Betonointityöhön liittyvä terveysriski, betonin emäksisyys aiheutti usein lieviä ihovaurioita ja tämän vuoksi betonityössä tuli aina käyttää asianmukaisia suojavarusteita. Betonityössä tuli suojata iho ja silmät mahdollisilta roiskeilta ja jos betonia pääsi iholle tai silmiin, tuli se pestä heti pois. Betoniteollisuus Ry:n mukaan betoniroiskeet voivat aiheuttaa vakavia silmävaurioita, mikäli silmiä ei suojata ja roiskeita ei pikimmiten huuhdota. (Betoniteollisuus Ry: Tietoa betonista).

Myös betonin pölyn aiheuttamilta terveyshaitoilta oli suojauduttava asianmukaisin hengityssuojaimin ja pölynhallinta menetelmin. Kvartsipölyn, eli betonipölyn hienoimman osan hallintaan ja poistoon ei riittänyt pelkkä imuri. Kvartsipölyä muodostuu betonin hiomisesta, leikkaamisesta ja piikkaamisesta, eli kaikista käsittelyistä ja työvaiheista, joita kovettuneelle betonille tehdään. Kvartsipölyn haittoja voi ehkäistä työtilan hyvällä ilmanvaihdolla, hengityssuojaimilla, ilmavirtojen estämisellä, betonin kastelemisella enne käsittelyä ja sen aikana, jotta pöly ei nouse ilmaan sekä työpisteen yleisellä siisteydellä. Betonipölyn ja etenkin kvartsipölyn terveysvaikutukset ovat vakavampia kuin usein uskotaan. Kivipohjainen pöly rasittaa keuhkoja ja voi aiheuttaa jopa keuhkojen tulehduksen tai silikoosin, ja se nostaa myös riskiä sairastua eri syöpiin, kuten keuhko- tai nielusyöpään. Turvavartin mukaan betonista tuleva kvartsipöly luokitellaan erittäin suureksi työterveysriskiksi (Turvavartti, kvartsipöly).

Lisäksi Betoniteollisuus Ry mainitsee turvallisuus tiedotteessaan betonin tiivistämisen aiheuttaman työturvallisuus- ja terveysriskin. Betonin tiivistys täryttämällä on aiheuttanut rasisvammoja työntekijöille. Tiivistämistyön haittavaikutuksia on pyritty ehkäisemään koneellisella tärytyksellä ja uudella itsetiivistävällä betonilla. (Betoniteollisuus Ry: Tietoa betonista). Itsetiivistävää betonia on käytetty elementtien valmistukseen, mutta paikallavalutöihin työmaalle, sitä harvemmin tilataan, sillä tuotetta on kaiketi mainostettu liian vähän tai se toisi liian suuren hinnan nousun betonille.

Kuormien purku aiheutti työturvallisuus riskin paikallavalurakenteen toteutuksessa. Kun kuormat purettiin, oli materiaali nostettava autosta varastoalueelle niin, ettei se päässyt tippumaan. Kuormien kuljetusten yhteydessä sattui rakennusosalalla valitettavan usein vakavia onnettomuuksia, kun lastattava tai purettava kuorma pääsi tippumaan henkilön päälle. Myös kuorman huono sitominen ja kiinnitys oli voinut aiheuttaa kuorman ennenaikaisen purkautumisen, jolloin oli jonkun vaara jäädä kuorman alle.

Kuvassa 7. kuvatut muotit koottiin massiivisista valmismuottielementeistä, jotka aiheuttivat työturvallisuusriskin kokonsa vuoksi. Ilman asianmukaista tuentaa olisi muotit voineet kaatua ja alle jäänyt henkilö loukkaantua tai jopa kuolla. Muottien painon ja korkeuden vuoksi oli myös siirrot ja nostot tehtävä nosturin avustuksella. Nostojen aikana oli turvallisuus riskinä muotin tai sen osien putoaminen. Tämä turvallisuusriski oli elementtien asennuksesta johtuvan kaatumis- ja putoamisriskin kaltainen.



Kuva 7. Muotit olivat hyvin kookkaita ja painavia, nostoon tarvittiin apuvälineitä (Tarvainen 2020).

5.2 Elementtirakenteen vaikutus työturvallisuuteen

Elementtien nostot, siirrot ja asennus tuli suorittaa valtioneuvoston asetuksen 578/2003 pykälien mukaisesti. Asetus 578/2003 on tehty sosiaali- ja terveysministeriön työturvallisuuslain 738/2002 nojalla. Elementtirakentamisessa tulee noudattaa sekä 578/2003 että 205/2009 asetuksia rakennustyön turvallisuudesta. Asetusta 578/2003 sovelletaan kaikissa rakennustöissä, joissa joko kokonaan tai osittain rakennetaan elementeillä. Työturvallisuus laki on tullut voimaan vuoden 2003 alussa. Laissa määritetään turvallisuuden takaava suoritus suunnittelemissa toteutukseen. Asetuksessa 578/2003 sovellettiin rakennustyön turvallisuudesta sekä työtelien ja putoamisen estävien suojarakenteiden käytöstä annettuja päätöksiä. (Elementtirakentamisen työturvallisuus laki 578/2003).

Nopeuden kasvaessa, vahinkojen määrä kasvaa. Tämän vuoksi, kaikista vaarallisiksi luokitelluista töistä tulee päätoteuttajan tehdä työturvallisuutta ja toteutusta koskevat suunnitelmat sekä riskien arviointi ennen töiden aloitusta. Elementtien asennus on itsessään luokiteltu vaaralliseksi työksi, putoamis- ja kaatumisriskin vuoksi. Elementtien massiivinen koko ja paino vaikuttaisi osaltaan myös työturvallisuuteen. Elementtien asennuksesta, nostoista sekä kuljetuksesta tehtäisiin suunnitelmat työturvallisuuden takaamiseksi. Elementtien asennuksessa ja siirrossa olisi oltava tarkkaavainen, sillä elementit painaisivat hyvin paljon. Esimerkiksi yksi 1 000 mm * 600 mm * 18 000 mm palkki olisi painanut jopa noin 27 000 kg. Elementtirakentamisen vakavimmat työtaturmat ovat johtuneet elementin päälle tippumisesta tai kaatumisesta, joka on johtanut vakavaan loukkaantumiseen tai jopa kuolemaan.

Myös elementtien asennusta varten olisi työmaalla pitänyt vastaavan työnjohtajan laatia tarkennetut ohjeet asennuksesta perehdytyksen yhteyteen. Perehdytys olisi tullut pitää perinteiseen tapaan kaikille työmaalla työskenteleville. Perehdytyksessä olisi elementtien asentajille selostettu asennussuunnitelma ja työturvallisuusohjeet toteutukseen liittyen. Perehdytyksen yhteydessä varmistetaan, että työntekijä sisäistävät työturvallisuus ohjeet ja aikovat toimia niiden mukaisesti. Vastoin työturvallisuusohjeita ja -sääntöjä toimiva työntekijä tuli poistaa välittömästi työmaalta. Myös muille työmaalla yhtäaikaisesti työskenteleville olisi käytävä läpi kaikki elementtirakentamiseen liittyvät turvallisuus tekijät, jotta muiden yhtäaikainen työskentely ei loisi vaaratilanteita.

Elementtien kuormaus, purku ja kuljetus oli suunniteltava ja toteutettava erityistä tarkkuutta ja huolellisuutta noudattaen. Elementtien tippuminen näissä tilanteissa aiheutti vuosittain vaaratilanteita ja jopa vakavia onnettomuuksia. Kaikki elementtien nostoihin, siirtoihin ja varastointiin käytettävä kalusto oli tarkastettava ennen käyttöä, jotta viallisten välineiden aiheuttamilta onnettomuuksilta vältyttäisiin. Kalusto tulee myös tarkistaa viikoittain työturvallisuusmittauksen yhteydessä ja aina kun kalustoon oli tehty jotain muutoksia.

Elementtirakenteen toteutus tulisi ottaa huomioon niin työturvallisuussuunnitelmassa kuin riskikartoituksessa. Näiden lisäksi elementtien asennuksesta olisi tehtävä nosto- ja asennussuunnitelma. Näissä suunnitelmissa käytäisiin läpi nostoon ja asennukseen liittyvät riskit ja niiden torjunta. Elementtien nostoon ja asennukseen liittyvien suunnitelmien tarkoituksena olisi taata työn turvallinen suoritus.

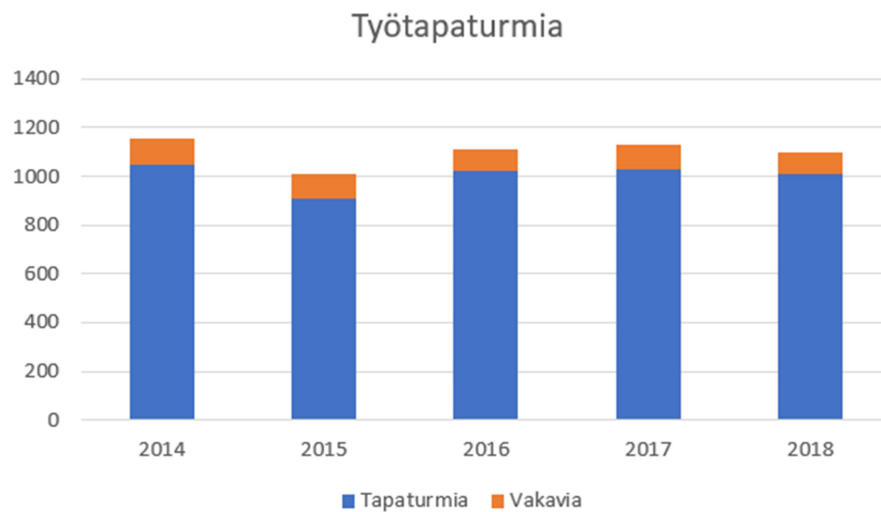
Elementtien asennuksen suurin työturvallisuusriski oli elementtien putoaminen tai kaatuminen. Elementtien nostot ja tuennat oli tehtävä niin, että ne eivät päässeet tippumaan tai kaatumaan. Asennukset oli suunniteltava myös niin, ettei riskialueella, eli elementtien alla, tulisi missään tilanteessa työskennellä. Elementtiasennuksessa alamiestyöskentely oli vaarallisin työtehtävä. Alamiestyöskentelyllä tarkoitetaan elementtien asennuksessa ja nostoissa elementin alaosan ohjausta, kiinnitystä ja tuentaa. Elementtirakennuksessa alamies oli jatkuvasti niin sanotulla vaaravyöhykkeellä.

Elementtien valmistus itsetiivistyvällä betonilla poistaisi työturvallisuutta ja -terveyttä koskevan riskin tärytyksestä johtuvista vammoista. Elementtien valmistukseen oli alettu käyttää itsetiivistyvää betonia, jolloin vältyttiin työterveyteen vaikuttavilta haitoilta. Tehtailla betonisten valmisosien tärytys oli mahdollista toteuttaa myös koneellisesti.

Tehdasvalmisteinen betonivalmisosa rajaisi osan terveysriskeistä tehtaalle, missä työskentely oli tarkasti kontrolloitua ja muuttuvia tekijöitä oli työmaata vähemmän. Betonin käsittelystä tulevan kvartsipölyn aiheuttama työterveysriski jäisi elementtirakentamisessa vähemmälle, kuin paikallavalettavan rakenteen toteutuksessa, sillä kovettuneen betonin käsittely oli vähäisempää ja pölyn hallinta tehdasympäristössä oli helpompaa. Samoin betonin emäksisyydestä johtuvat terveysriskit rajautuisivat tarkasti kontrolloituun tehdasympäristöön. Betonin käsittely tapahtuu tehtailla suurelta osalta koneellisesti ja työntekijöillä oli hyvät suojarusteet, jottei betonin emäksisyydestä päässyt koitumaan haittaa niin paljoa, kuin työmaalle tehtyjen valujen yhteydessä.

5.3 Työturvallisuusriskien vertailu

Niin elementti- kuin paikallavalettavanrakenteen toteutukselle oli molemmilla omat työturvallisuus riskinsä. Molemmissa tapauksessa riskien tunnistaminen ja vaarojen ehkäisy todettiin olevan tärkeää, jotta kaikilta työtapaturmilta voitaisiin välttyä, tavoitteena nolla tapaturmaa. Rakennusteollisuus yhdistyksen mukaan rakennustyömailla vuonna 2018 tapahtui kaikkiaan 1098 onnettomuutta, joista 89 onnettomuutta oli vakavia (Rakennusteollisuus Ry:n tiedote, Työturvallisuuskyselyt ja tulokset), onnettomuuksien määrä oli siis hiukan laskenut vuoden 2014 luvuista, jolloin sattui 1155 onnettomuutta, joista 105 onnettomuutta oli vakavia.



Kuvio 2. Työtapaturmien määrä vuosin 2014-2018 (Rakennusteollisuus Ry:n tiedote, Työturvallisuuskyselyt ja tulokset).

Työturvallisuuden parantamiseksi kehitetään jatkuvasti uusia lakeja ja säädöksiä. Kaaviossa 2. on esitetty lähivuosien, 2014 - 2018 muutoksia rakennustyömaan työturvallisuudessa työtapaturma-tilastona. Valtioneuvoston asetus 205/2009 rakennustyön turvallisuudesta koski niin paikallavalurakentamista (Rakennustyön turvallisuus 205/2009), kuin myös elementtirakentamista. Työturvallisuusasetus oli ylisesti kaikkea rakennustyötä koskeva turvallisuussäädös. Elementtirakentamista varten oli määritetty tarkempi työturvallisuuslaki asetuksen 205/2009 pohjalta. Valtioneuvoston asetus 578/2003 (Elementtirakentamisen työturvallisuus laki 578/2003) koskee kaikkea osin tai kokonaan elementeillä toteutettavaa rakentamista.

Niin elementtirakentamisessa, kuin paikallavalurakentamisessa oli samat perusmääräykset työmaan turvallisuudesta. Kaikilla työmailla rakennuttajan työturvallisuusedustaja, eli työturvallisuuskordinaattori laatii työmaalle kirjalliset yleistä työturvallisuutta koskevat säännöt ja menettelyohjeet. Päättöteuttajan vastuulla olevista työmaanturvallisuuteen liittyvistä asioista oli vastuussa päätöteuttajan valitsema vastuuhenkilö, vastaava työnjohtaja. Päättöteuttajan vastaava työnjohtaja sitten rakennuttajan sääntöjen ja menettelyohjeiden nojalla laatii työmaata koskevat tarkemmat työturvalli-

suus asiakirjat, muun muassa aluesuunnitelman ja riskikartoituksen, sekä kyseistä kohdetta koskevat työturvallisuussuunnitelmat ja perehdytys materiaalit. Erona määräyksissä paikallavalettavan- ja elementtirakenteen vertailussa oli, että elementtirakentamiselle oli asetettu tarkennettu työturvallisuuslaki rakennustyön turvallisuudesta ja terveellisyydestä.

Elementtirakentamisen työturvallisuusriskejä oli pyritty vuosien saatossa hallitsemaan lakimuutoksin ja ohjeistuksin. Elementtiasennuksissa tapahtui Rakennuslehden julkaiseman artikkelin mukaan vielä vuonna 1974 jopa 37 kuolemaan johtanutta onnettomuutta, tätä lukua oli sittemmin pyritty pienentämään kaikin tavoin. Vain kolme vuotta myöhemmin elementtirakentamista koskevat turvallisuusohjeet saatiin valmiiksi, vuonna 1977, minkä myötä työturvallisuus alkoi parantua. (Seppo Mölsä 2017). Tot-tietojärjestelmän mukaan kuolemaan johtaneita työtapaturmia, jossa elementti kaatui tai tippui henkilön päälle, sattui vuonna 2015 viisi onnettomuutta, osassa tapauksissa kuolonuhrin lisäksi muita henkilöitä loukkaantui vakavasti, lähinnä raajojen jäätyä kaatuvaan elementin alle (Tot-tietojärjestelmä 2015). Työturvallisuuden parantumisesta huolimatta aluehallintaviraston tiedotteen mukaan vielä vuonna 2018 elementtiasennuksissa sattuneiden vakavien onnettomuuksien määrä oli niin suuri, että kahden viikon ajan työsuojeluviranomaiset suorittivat tehovalvontaa, ongelmien esittämiseksi ja kartoittamiseksi elementtirakentamisen työturvallisuudessa (Aluehallintaviraston tiedote 2018).

Puolestaan raudoitus- ja betonointitöissä tapahtuneita onnettomuuksia vuosien 2005 ja 2015 välillä oli tapaturmavakuutuskeskuksen vuonna 2017 julkaiseman tilaston mukaan 34kpl, eli keskimäärin 3 tapaturmaa vuodessa (Mari Kaari 2017). Raudoitus- ja betonointitöissä sattuneiden onnettomuuksien määrä kymmenen vuoden aikana oli siis pienempi, kuin elementtirakentamisessa sattuneiden vakavien onnettomuuksien määrä pelkästään vuonna 1974. Vaikkakin elementtirakentamisen työtapaturmien määrä oli saatu tästä laskuun, oli raudoitus- ja betonointityössä sattuneiden onnettomuuksien määrä tästä huolimatta huomattavasti pienempi. Myöskään raudoitus- ja betonointityössä sattuneet onnettomuudet eivät ole olleet niin vakavia, kuin elementtirakentamisessa tapahtuneet onnettomuudet.

Elementtirakenteen toteutukseen liittyvät pahinta vahinkoa aiheuttavat työturvallisuusriskit olivat korkealta putoaminen ja elementin putoaminen tai kaatuminen työntekijän päälle. Paikallavalun työturvallisuus riskeistä suurinta vahinkoa aiheuttavat onnettomuudet puolestaan ovat korkealta putoaminen, kaatuminen raudoituksiin ja materiaalien tippuminen päälle nostoissa, kuten terästen. Lieviä onnettomuuksia betonityössä aiheutti useinkin betonin emäksisyys, mikä voi iholla aiheuttaa ärtymistä, ihottumaa tai muita reaktioita ja silmiin joutuessa jopa vakavia silmävaurioita sekä betonin käsittelystä tuleva kvartsipöly, joka ilman asian mukaista suojautumista ja poistoa voi aiheuttaa vakavia terveydellisiä ongelmia.

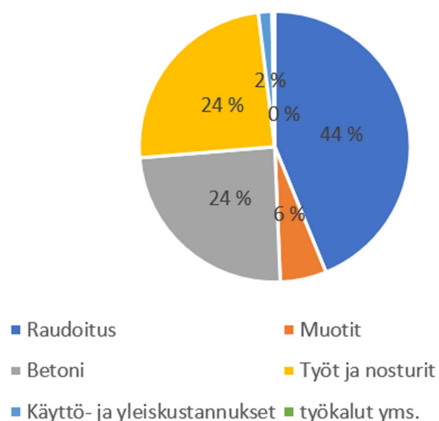
6 RAKENTAMISTAPOJEN KUSTANNUKSET

Opinnäytetyössä painotettiin kustannusosuuden merkitystä, sillä tämän avulla rakennuttajalle voitaisiin antaa vaihtoehtoinen tarjous kohteen rakenteista. Hintojen vertailuun koottiin molempien rakenteiden osalta kaikki hintaan vaikuttavat tekijät, kuten paikallavalettavanrakenteen kohdalla muotit ja betonit. Paikallavalettavan rakenteen kokonaishintaan vaikuttavat tekijät saatiin kerättyä urakka-aineistosta. Elementtirakenteen hintaan pyydettiin tarjouksia yhteistyökumppaneilta ja laskettiin opinnäytetyön tilaajan hintojen perusteella. Opinnäytetyön oletuksena oli, että paikallavalettava rakenne on edullisempi toteuttaa. Kustannukset litteroitiin Talo 80-nimikkeistön mukaan. Kaikki kustannuksiin liittyvät materiaalit ja aineistot oli sovittu salassa pidettäviksi.

6.1 Paikallavalettavatrakenteet

Paikallavalettavanrakenteen kustannukset koostuvat monesta eri tekijästä, raudoituksista, muoteista, betonista, rahdista, töistä, nostimista, telineistä, käyttö- ja yleiskustannuksista sekä työkaluvuokasta. Rahtia ei ollut eroteltu, vaan se sisältyi kunkin materiaalin kustannuksiin. Paikallavalettavanrakenteen kustannukset koottiin urakka-aineistosta. Kaaviossa 3. oli jaoteltu paikallavalettavan rakenteen kokonaiskustannuksesta kunkin hintatekijän osuus.

Paikallavalettavan hinta



Kuvio 3. Paikallavalettavanrakenteen kokonaiskustannus jaoteltuna osatekijöihin

Talo 80-nimikkeistön litteraan 3010 kuuluvat muotit olivat ensimmäinen kustannuserä, punaruskealla kuviossa 3. Muotteina käytettiin vuokrattavia valmismuotteja. Muotit koostuivat erilaisista uudelleen käytettävistä valmisisista, joista saatiin yhdisteltyä oikean kokoisia ja mallisia muotteja. Muotteilla oli kappalehinnat, joista koottiin viikkokohtainen vuokrahinta. Muottien vuokra muodosti noin 6% paikallavalurakenteen kokonaishinnasta.

Talo 80-nimikkeistön litteran 8 ja 9 mukaisia työmaan käyttö- ja yleiskustannuksia arvioitiin eri työvaiheiden mukaan. Talo 80-nimikkeistön litteraan 8510 kuuluvia työkaluja haettiin eri työvaiheisiin

vuokraamosta, mikä lisättiin mukaan vertailuhintaan. Käyttö- ja yleiskustannukset, työkalut mukaan luettuna olivat pienin menoerä ja kattoivat yhteen laskettuna viimeisen prosentin kokonaishinnasta. Toinen kustannuserä olivat raudoitukset, mikä muottien ja muiden materiaalien tavoin kuuluu Talo 80-nimikkeistön päälitteraan 3, tarkempi littera oli 3021, raudoitus sinisellä kuviossa 3. Raudoituksesta oli kilpailutettu paras kilohinta, josta laskettiin tarvittavan raudoitusmäärän perusteella kokonaishinta. Pelkästään raudoitusta tarkasteltaviin rakenteisiin tuli lähes 40 000 kg, joten raudoitus töineen oli suurin yksittäinen kustannuserä. Raudoituksen osuus kokonaishinnasta oli lähes puolet, jopa 44 %.

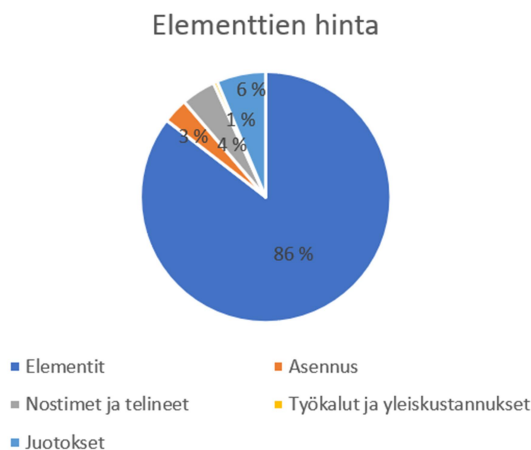
Litteraan 3 Talo 80-nimikkeistössä kuuluu kaikki runkorakenteisiin liittyvät materiaalit ja työt, mukaan lukien betonointi litteralla 3022. Betonit olivat yksi suurimmista menoeristä, sillä valuja tarkasteltaviin rakenteisiin tuli reilu 400 m³. Betoneista kilpailutettiin edullisin kuutiokohtainen hinta. Betonin osuus kokonaishinnasta oli noin neljännes, eli 24 %, harmaalla kuviossa 3. Betonin hinta koostuu betonimassan kuutiohinnasta, kuljetuksesta, työmaalla kuluva ajasta ja muista sivukuluista.

Työt ja nostimet olivat betonin kanssa toiseksi suurin menoerä, keltaisella kuviossa 3. Työt lasketaan Talo 80-nimikkeistössä kuuluvaksi työn kohteen litteraan, mikä tässä tilanteessa oli litteralla 3, runkorakenteet. Nostimet ja telineet kuuluvat Talo 80-nimikkeistön mukaan litteroihin 8810, 8820, 8830 ja 8840. Töistä pyydettiin kokonaishintainen urakka tarjous. Urakkaan kuului muottien kokoaminen, purku ja huolto, raudoitustyöt, valutyöt sekä kaikki työssä tarvittavat nostimet, telineet ynnä muut vastaavat. Töiden osuus kokonaishinnasta oli 24 %, eli saman verran kuin betonin osuus.

6.2 Elementtirakenteet

Elementtirakenteen kokonaishinta oli selkeämpi ja enemmänkin nimenomaan materiaaleista koostuva, vertailuhinnan muodosti elementit, rahti, asennus, nostimet ja telineet, työvälineet, yleiskustannukset sekä juotokset ja saumat. Elementtien kokonaishinta koottiin tarjouksista ja taulukko hinnoista. Elementtirakenteen kokonaishinnan tekijät on jaoteltu prosenttiosuuden mukaan kuviossa 4.

Osa kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä, kuten juotokset ja saumat, jouduttiin arvioimaan, sillä juotoksiin ja saumauksiin tarvittavan massan määrä riippuisi suuresti elementtien mallista, määrästä ja koosta. Juotokset kattoivat laskujen arvion mukaan noin 6 % kokonaishinnasta, juotokset ja saumat on vaaleansinisellä kuviossa 4.



Kuvio 4. Elementtirakenteen kokonaiskustannus jaoteltuna osatekijöihin

Talo 80-nimikkeistön litteran 8 ja 9 mukaisista yleis- ja käyttökustannuksista, työkaluista sekä välineistä arvioitiin määrät ja hinnat elementtiasennus työn ajalle. Kustannukset näistä olivat myös elementtirakenteen kokonaiskustannusten pienin osuus ja kattoivat vain noin yhden prosentin, yleis- ja käyttökustannukset ovat keltaisella kuviossa 4.

Elementit kuuluivat Talo 80-nimikkeistön litteraan 3, runkorakenteet. Elementeistä pyydettiin suuntaa antava tarjous, josta saatiin tehtyä vertailuun hinta-arvio. Tarjous pyydettiin Parma Oy:ltä. Parma Oy on Suomen suurin betonielementtien valmistaja, ja kuuluu kansainväliseen Consolis konserniin. Elementeistä saatiin kuutiohinnat rakennetyypeittäin kaikille tarkasteltaville rakenteille. Elementtien kuutiohintaan ei sisällynyt suunnittelua, mutta elementtien rahti sisältyi kuutiohintaan ja oli arviolta 5 % hinnasta. Elementtien kuutiohinnan avulla on tulevaisuudessa helppo laskea vaihtoehtoinen tarjous urakasta rakennuttajalle. Elementit kattoivat suurimman osan kokonaishinnasta, jopa 86 %, elementit ovat sinisellä kuviossa 4.

Välipohjalaatan elementtityyppi vaikuttaisi suuresti kustannuksiin. Esimerkiksi 500 mm paksu ontelolaatta oli reilu 4 kertaa edullisempi kuin massiivilaatta, vaikkakin ontelolaatta oli kantavuusarvojen vuoksi pois suljettu vaihtoehto. Välipohjan kohdalla tulisi pohtia elementtivalintojen ominaisuuksia kohteen vaatimuksiin verraten. Välipohja olisi voinut olla mahdollista toteuttaa massiivilaattana tai liittolaattana.

Elementtien asennukseen tarvittaisiin nosturi, jonka kantokyky ja ulottavuus tulisi sopia niin kuormien purkuun, betonielementtien asennukseen, kun myös tämän jälkeen asennettavien teräspilareiden ja -kattoristikoiden asennukseen. Betonielementtien asennukseen olisi elementtisuunnitelmien mukaan, todennäköisimmin riittänyt ajoneuvonosturi. Nosturin ja kuljettajan hinta oli tuntikohtainen. Kustannuksiin arvioitiin elementtien asennuksen ajalle nosturin tarve ja tästä sitten kokonaishinta nosturista kuljettajineen. Nostureista ja henkilönostimista pyydettiin hintatiedot vertailua varten. Henkilönostinten hintatiedot saatiin Storent Oy:lta. Nosturit, nostimet ja telineet olivat noin 4% kokonaishinnasta, nosturit ja nostimet ovat harmaalla kuviossa 4.

Talo 80-nimikkeistön litteraan 3150 elementtien asennuksen aiheuttamat kustannukset laskettiin työaikamenekkejä hyödyntäen. Laskelmissa apuna käytettiin RATUn työaikamenekkejä (RATU Aika- taulukirja 2016). Työaikamenekeillä laskettiin työhön menevä aika, josta tehtiin myös element- tiasennuksen aikataulu. Asennukseen lasketut työtunnit kerrottiin opinnäytetyön tilaajan tuntihinnal- la, jolloin saatiin vaihtoehtoiseen tarjoukseen soveltuva hinta elementtien asennuksesta. Asennukset aiheuttivat vain noin 3 % kokonaishinnasta, työkustannukset ovat punaruskealla kuviossa 4.

6.3 Yhteenveto

Opinnäytetyön oletus rakenteiden kustannuksista piti paikkansa. Oletus oli, että paikallavalettava ra- kenne on edullisempi toteuttaa. Paikallavalettavan rakenteen ja elementtirakenteen hintaero oli kui- tenkin pienempi, kuin alussa oletettiin. Elementtien materiaalien hinta oli kalliimpi, kuin paikallavalet- tavan betonin, mutta kaikki hintaan vaikuttavat tekijät huomioon otettuna ero oli suhteellisen pieni. Paikallavalettavan kokonaishinta muodostui muoteista, raudoituksesta, betonista, työstä, työkaluista, nostimista ja telineistä sekä yleis- ja käyttökustannuksista, kustannukset kerättiin urakka-aineistosta. Elementtirakenteen kokonaishinta puolestaan muodostui tarjouksena saaduista elementtien ja nos- tinten hinnoista, sekä lasketuista työkaluvuokrasta, asennuksesta, juotoksista, saumauksista sekä käyttö- ja yleiskustannuksista. Elementtirakenne oli laskujen perusteella kaikkiaan noin 40 % kal- liimpi toteuttaa, kuin paikallavalurakenne.

Suurelta osalta hintaeron vähyyteen vaikutti rakenteiden toteutukseen kuluva aika. Paikallavalettava rakenne oli huomattavasti hitaampi toteuttaa ja vaati enemmän työvoimaa, jolloin työlle muodostu- va hinta oli paikallavalettavassa rakenteessa huomattavasti suurempi, kuin elementeillä toteutettu- na. Elementtirakenteen toteutus olisi vaatinut vajaa kahdeksan työpäivää ja työhön vain kolme ra- kennusammattimiestä, jolloin työtunteja kokonaisuudessaan olisi tullut noin 175 tth, taulukko 3. Pai- kallavalettavan rakenteen toteutuksessa oli puolestaan vaihtelevasti työn aikana noin viidestä kym- meneen rakennusammattimiestä ja työt kestivät kymmenen viikkoa, siis paikallavalettavien raken- teiden toteutukseen meni huomattavasti enemmän työntekijätunteja. Elementtirakenteen kustan- nuksista asennukset aiheuttivat vain noin 3 % kokonaishinnasta, kun taas paikallavalurakenteen ko- konaishinnasta työt olivat toisiksi suurin menoerä, jopa 24 %.

Talo 80-nimikkeistön mukaiset kustannukset työmaan käyttö- ja yleiskuluista, litteroiden 8 ja 9 mu- kaisista kuluista. Elementtitoeteuksen kesto olisi vain noin kahdeksan työpäivää, kun taas paikalla- valurakenteessa toteutuksen kesto oli jopa kymmenen viikkoa, tämä vaikuttaisi työmaan käyttö- ja yleiskustannuksiin, sillä työn kesto määrittää kyseiseen työvaiheeseen tarpeen käyttö- ja yleiskus- tannuksille, kuten sosiaalituloille. Jättekustannukset elementtirakenteessa olisivat myös pienemmät, sillä syntyvän jätteen määrä on pienempi, lähinnä muottijätteen pois jäädessä. Vaikkakin paikallava- lurakentamisen jätteen määrää oli pyritty vähentämään uudelleen käytettävää muottijärjestelmää käyttämällä. Talo 80-nimikkeistön litteran 8 mukaisia työmaan käyttökuluja olivat tässä kohteessa esimerkiksi 8030 suojaustyöt, 8050 varastointi, 8110 henkilökohtaiset suojavarusteet, 8210 työmaa- rakennukset ja 8610 mittaukset. Puolestaan litteraan 9 kuuluvia yleiskustannuksia oli esimerkiksi 9200 avustavat rakennustyöt, työnjohto, vakuutukset ja 9700 työntekijöiden palkkoihin lisättävät

korvaukset työmatkoista ja työkaluista. Työkaluvuokra olisi elementtirakenteelle hiukan pienempi, sillä vuokra-aika olisi lyhempi kuin paikallavalurakentamisen työkaluvuokra-aika.

Kuutiokohtaisen elementtien tarjoushinnan avulla on tilaajan helppo antaa jatkossa vaihtoehtoinen tarjous rakennushankkeen betonirakenteista. Kustannukset oli sovittu salassa pidettäviksi. Hintaverailussa ja vaihtoehtoisen tarjouksen antamisessa tulee ottaa kuitenkin huomioon, että elementtien hinta ei sisältänyt suunnittelua.

7 LOPPUTULOS

Tarkasteltaessa kummankin rakennetyypin toteutusta, oli kummassakin hyvät ja huonot puolensa. Paikallavalettavarakenne oli hyvin työläs, hidas ja tarkasti aikataulutettava. Elementtirakenteessa työturvallisuusriskit olivat suuremmat ja tämän vuoksi vaati tarkat työturvallisuutta koskevat suunnitelmat ja ohjeistukset, lähinnä elementtien massiivisuuden vuoksi ja elementtien asennukseen liittyvän yleisen hankaluuden ja riskien vuoksi.

Kohteen tarkasteltavat rakenteet olisivat kaikki vertailun tulokset huomioon ottaen kannattavaa ja kaa osittain elementteihin ja osittain paikallavalettaviin rakenteisiin. Osaan rakenteista, elementti toteutus olisi todennäköisesti jouduttavaa ja huomattavasti helpompaa, kuin taas osan rakenteiden toteutus elementtirakenteena mahdollisesti heikentäisi rakenteen kantokykyä tai olisi tarpeettoman hankala toteuttaa ja toisi tarpeettomia työturvallisuusriskejä. Tarkasteltavista rakenteista elementeillä olisi mahdollisesti kannattavaa toteuttaa pilarit ja seinät. Kun taas palkit ja välipohjalaatat olisivat helpompi ja kannattavampi toteuttaa suunnitelmien mukaisesti paikallavalettavina.

Rakenteiden kustannusero oli yllättävän vähäinen. Hintaeroon vaikutti merkittävimmin toteutukseen kuluva aika ja tarvittava työvoima. Mikäli tarkasteltaisiin vain rakenteen materiaalien kustannusta, olisi paikallavalettavarakenne huomattavasti edullisempi. Elementtien asennukseen vaadittaisiin vähemmän työvoimaa ja -aikaa, kuin paikallavalettavaan rakenteeseen. Elementtirakenteen toteutus onnistuisi kolmen rakennusammattimiehen ja yhden nosturikuskin työporukalla. Puolestaan paikallavalettavan rakenteen toteutuksessa oli työvoiman tarve huomattavasti suurempi, koko työvaiheen aikana oli töissä vaihtelevasti viidestä kymmeneen rakennusammattimiestä sekä rakennusmiestä samanaikaisesti. Elementtirakenne oli kaikkiaan noin 40% kalliimpi toteuttaa, kuin paikallavalettava rakenne.

Rakenteiden vaikutus aikatauluun oli hypoteesin mukainen. Elementtirakenne olisi huomattavasti nopeampi toteuttaa, ja sen todettiin olevan jopa viisi kertaa paikallavalettavaa rakennetta nopeampi. Elementtirakenteen aikataulun nopeuteen vaikutti useiden työvaiheiden poisjäänti paikallavalettavaan rakenteeseen verrattuna. Elementtirakenteen asennukseen ei kuulunut muuta kuin elementin paikalleen nosto, kiinnitys sekä juotokset ja saumat. Puolestaan paikallavalettavan rakenteen aikataulua hidasti useat työläät työvaiheet, kuten muotitus ja raudoitus. Elementtien pystytys oli laskelemien mukaan nopeaa, esimerkiksi yhden pilarin asennukseen meni vain noin 2,55tt, taulukko 2. Jo pelkästään pilarien ja seinien toteutus elementeillä olisi tuonut jopa 19 työpäivän säästön urakka-aikatauluun, tämä vastaa lähes neljän viikon aikataulusäästöä.

Rakenteiden toteutuksen vaiheet vaikuttivat suuresti työn toteutuksen keston. Paikallavalettavan rakenteen toteutuksessa oli paljon enemmän työvaiheita kuin elementtirakenteessa, ja työvaiheet olivat pitkäkestoisempia ja enemmän työvoimaa vaativia. Paikallavalettavan rakenteen toteutuksen päävaiheet muotit, raudoitus, valutyöt ja jälkityöt kestivät kaikki jo yksittäisinä työvaiheina elementtien asennusta kauemmin. Paikallavalettavan rakenteen työvaiheet olivat myös toteutuksellisesti

haastavampia, sillä työjärjestystä, aikataulutusta ja töiden päällekkäisyyksiä tuli suunnitella ja valvoa tarkasti. Paikallavalettavanrakenteen väli dokumentointi oli myös hyvin oleellista, sillä esimerkiksi raudoitusten todistaminen oikein tehdyksi oli haastavaa tai jopa mahdotonta ilman kuvia raudoitusvaiheesta.

Rakenteiden toteutuksen vaikutusta työturvallisuuteen lähdettiin pohtimaan urakan työturvallisuussuunnitelman kannalta. Työturvallisuussuunnitelmassa oli otettu huomioon kaikki työvaiheet sekä tehtaan yhtäaikainen käyttö. Myös elementtiteutuksen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tehtaan käyttäjät ja jatkuva risteävä liikenne työmaan edestä. Elementtien asennukseen vaadittava ala olisi rajattava ja turvattava niin ettei tahtaan yhtäaikainen käyttö häiriintyisi ja työt voitaisiin toteuttaa turvallisesti. Elementtien asennuksessa työturvallisuuden kannalta olisi olennaista varmistaa, ettei elementit pääse putoamaan ja elementtien alapuolella ei jouduttaisi työskentelemään, ja myös kiinnityksen aikainen elementtien tuenta varmistettava. Elementtirakentamisen alamies työskentelyyn olisi tullut kiinnittää tarkkaavaisuutta, sillä se olisi ollut vaarallisin työtehtävä. Elementtirakenteen pienempi työporukka helpottaisi työturvallisuuden hallintaa, sillä muuttuvia tekijöitä olisi näin työmaalla vähemmän. Tästä huolimatta elementtirakentamisessa työturvallisuusriskien aiheuttamat onnettomuudet ovat yleisempiä ja vakavampia, kuin raudoitus- ja betonointityössä sattuvat työtapa-turmat. Työturvallisuutta koskevia säädöksiä ja lakeja uudistetaan jatkuvasti työturvallisuuden parantamiseksi. Elementtirakentamisen onnettomuuksia on pyritty vähentämään tiukentamalla tai tarkentamalla lakeja ja ohjeistusta sekä ylläpitämällä tarkkaa valvontaa työmailla. Ensimmäinen elementtirakentamisen työturvallisuutta koskeva laki tuli voimaan vuonna 1977 (Seppo Mölsä 2017). Elementtirakentamisen nopeuden varjopuolena on huomattu, että rakentamisen nopeutuessa, kasvaa myös onnettomuuksien määrät, varomattomuuden ja ainaisen kiireen myötä.

Työmaan työturvallisuutta säätelevien lakien todettiin parantavan turvallisuutta. Jo ensimmäisen työturvallisuutta koskevan lain voimaan tultua vuonna 1977, lähti työtapaturmat vähenemään. Paikallavalurakenteen työturvallisuuden hallinta oli jokseenkin helpompaa, kuin elementtirakentamisen. Tämän vuoksi elementtirakentamiseen oli asetettu tarkennettu laki elementtirakentamisen työturvallisuudesta. Paikallavalun aikana ei opinnäytetyön perustana toimivalla työmaalla sattunut onnettomuuksia. Raudoitus- ja betonointityöhön liittyvien työturvallisuusriskien tunnistaminen ja vaarojen ehkäisy edesauttoi turvallisen työn suorituksen saavuttamista. Työmaalla työskentelevien perusteellinen perehdytys työhön ja alueeseen sekä työn valvonta estivät työtapaturmia tapahtumasta.

Välipohjalaatat olisivat olleet hyvin suuria ja painavia, mikä vaikeuttaisi asennusta ja kuljetusta sekä aiheuttaisi työturvallisuusriskin. Välipohjalaatan paksuus ei saisi kasvaa suunnitelmista tilanpuutteen vuoksi. Välipohjalaatta oli suunnitelmien mukaan 500 mm. Ontelolaatoilla ei näillä paksuuksilla olisi ollut riittävät kantavuusarvot, joten välipohjalaattaelementti vaihtoehdoiksi olisi jäänyt liittolaatta ja massiivilaatta. Laatan leveydet olisi tullut suunnitella laattaelementtityypin mukaan.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää paikallavalurakentamisen ja elementtirakentamisen kannattavuutta ja eroja kohteen lähtötietoihin verraten. Opinnäytetyön hypoteesit osuivat oikeaan niin aikataulun kuin kustannustenkin kohdalla. Kustannuksia koskeva hypoteesi oli, että paikallavalettavarakenne on edullisempi, kuin elementtirakenne. Kustannusten osalta hintaero kylläkin yllätti, sillä oli pienempi kuin alussa oletettiin. Elementtirakenteelle oletus korkeasta hinnasta perustui rakenteen massiivisuuteen ja kantovaatimuksiin. Paikallavalettavien rakenteiden kustannuksiin laskettiin urakka aineistosta, kaikki kokonaishintaan vaikuttavat tekijät keräten. Paikallavalettavan rakenteen kokonaishintaan sisältyi muottijärjestelmä, raudoitus, betonit, työ, nostimet ja telineet, työkalu vuokrat sekä työmaan yleis- ja käyttökustannukset kyseisen työn ajalta. Elementtien hintaa varten pyydettiin tarjous, jonka avulla hintaa päästiin muodostamaan. Elementtien kokonaishinta koostui elementeistä, rahdista, asennuksesta, nostimista ja telineistä, työkalu vuokrasta ja työn aikaisista yleis- ja käyttökustannuksista. Vaikkakin elementtien asennuksessa säästettäisiin paikallavalettaviin rakenteisiin verrattuna, oli paikallavalettava rakenne itsessään jonkun verran edullisempi.

Opinnäytetyön hypoteesi aikataulusta osui myös oikeaan. Opinnäytetyön oletus oli, että elementtirakenne olisi huomattavasti nopeampi toteuttaa, ja asennus olisi laskelmien mukaan jopa noin viisi kertaa paikallavalettavaa nopeampi. Säästöt työajassa muodostuivat elementtien asennuksen nopeudesta. Mikäli kaikki tarkasteltavat rakenteet toteutettaisiin elementeillä, olisi työaika laskelmien perusteella noin kahdeksan työpäivää, eli puoli toista viikkoa. Paikallavalettavien rakenteiden toteutukseen meni aikataulun mukaisesti 47 työpäivää, mikä vastaa noin kymmentä viikkoa.

Elementtirakenteiden suunnittelu seinien ja pilareiden kohdalla voisi olla jokseenkin helppoa, sillä näille rakenteille olisi löytynyt helposti hyviä vaihtoehtoja valmiista elementtimalleista. Palkkien suuri koko ja kantavuusvaatimus olisi voinut olla haastavaa niin suunnitella kuin toteuttaa. Välipohjalaatan toteutus elementein olisi ollut haastavaa useasta eri syystä ja vaatisi tarkat laskelmat ja suunnitelmat toteutusta varten.

Välipohjalaattaa suunniteltaessa elementtitoteutuksella, tulisi elementtilaattoja tarkastella eri välipohjalaattavaihtoehtojen kantavuuksien, paksuuksien ja muiden ominaisuuksien mukaan. Yleisimmistä välipohjajaelementeistä liittolaatta ja massiivilaatta olisi kannattavaa tarkastella sopivuutensa puolesta. Ontelolaatalla riittäviin kantavuusarvoihin pääsy vaatisi liian suuren paksuuden laatalle, mikä ei sitten enää mahtuisi sille suunniteltuun tilaan. Myös hybridilaatta olisi kohteessa voinut olla toimiva vaihtoehto. Hybridilaatassa liittolaatta jäisi paikallavalulaatan alle, niin sanotuksi kantavuutta lisääväksi muotiksi. Hybridilaatta nostaisi kustannuksia pelkkään paikallavalulaattaan verrattuna, kuitenkin ilman merkittävää hyötyä kohteeseen.

Vertailun perusteella kannattavin vaihtoehto olisi ollut rakenteiden toteutukselle niin sanottuna hybridirakenteella, eli yhdistellen niin paikallavalettavaarakennetta kuin elementtirakennetta. Hybridi ra-

kenteella olisi saatu molemmista rakenteista parhaat hyödyt rakennushankkeeseen, samalla välttämättä suurimmat työturvallisuusriskit ja työn hankaloitukset. Kohteen seinät ja pilarit olisi ollut kannattavaa toteuttaa elementeillä, mikä olisi tuonut jo useamman viikon ajallisen säästön. Kun taas palkit ja välipohjalaatta olisi ollut kannattavampaa toteuttaa paikallavaluna, jotta kantavuusvaatimukset olisi saatu toteutettua. Näillä keinoin saataisiin rakenteiden vaatimuksista pidettyä kiinni ja nopeutettua aikaa ilman kustannusten kohtuutonta kasvua tai tarpeetonta työn hankaloitusta. Elementtirakenteen aiheuttamat työturvallisuusriskit pienenisivät, jos rakenteita olisi yhdistellyt ja elementein olisi toteuttanut vain rakenteet, joiden kuljetus, nostot ja asennus olisi ollut mahdollista toteuttaa turvallisesti ja helposti.

LÄHTEET

Aluehallintaviraston tiedote 2018, Elementtirakentaminen tehovalvontaan koko Suomessa vakavien turvallisuusriskien takia. <https://www.avi.fi/web/avi/-/elementtirakentaminen-tehovalvontaan-koko-suomessa-vakavien-turvallisuusriskien-takia>. Viitattu 17.3.2020.

Arkkitehdit Tommila Oy, kohteen 1kr pohjapiirros: ARK_103013. Dokumentti yrityksen hallussa. Viitattu 31.3.2020.

Arkkitehdit Tommila Oy, kohteen leikkauskuva: ARK_105015. Dokumentti yrityksen hallussa. Viitattu 30.3.2020.

Betoniteollisuus Ry. Tietoa betonista, turvallisuus. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/turvallisuus/>. Viitattu 22.3.2020.

Betoniteollisuus Ry. Tietoa betonista, valmisosat. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/valmisosien-kaytto/>. Viitattu 22.3.2020.

Elementtirakentamisen työturvallisuuslaki 578/2003.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030578>. Viitattu 15.3.2020.

Muottikiertosuunnitelma: Työmaasuunnitelmat KVR-Rakennus Oy. Dokumentti yrityksen hallussa. Viitattu 20.3.2020.

Rakennusteollisuus Ry:n tiedote, Työturvallisuuskyselyt ja tulokset.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Tyoturvallisuus/Tyoturvallisuuskysely-ja-tulokset/>. Viitattu 17.3.2020.

Rakennustyön turvallisuuslaki 205/2002. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>. Viitattu 24.3.2020.

RATU Aikataulukirja. Työaikamenkit 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. Viitattu 31.3.2020.

Riskikartoitus: Työmaasuunnitelmat, KVR-Rakennus Oy. Dokumentti yrityksen hallussa. Viitattu 30.3.2020.

Seppo Mölsä, Rakennustyömaat ovat 50 vuodessa muuttuneet sotatantereista siisteiksi ja monikan-sallisiksi työpaikoiksi, Rakennuslehti 2017. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/01/rakennustyomaat->

ovat-50-vuodessa-muuttuneet-sotatantereista-siisteiksi-ja-monikansallisiksi-tyopaikoiksi/. Viitattu 17.3.2020.

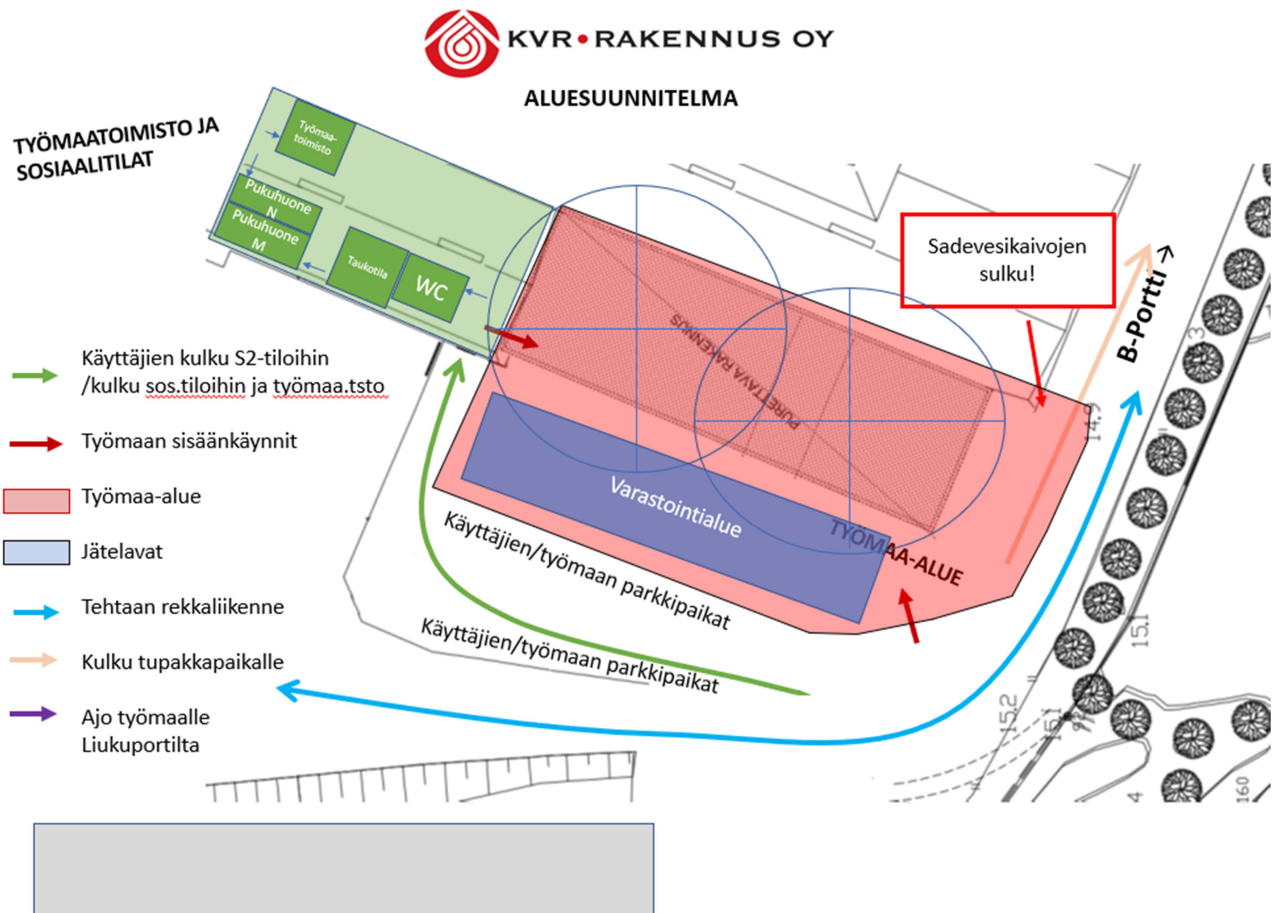
Tot-tietojärjestelmä teematutkinta, Elementti- ja suurmuottiasennuksessa sattuneet työpaikka-kuolemantapaukset. <http://totti.tvk.fi/totcasepublic.view?action=caseReport&unid=935>. Viitattu 19.3.2020.

Turvavartti, kvartsipöly 2015. Pdf-tiedosto. Julkaistu 07.11.2015. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/07-Turvavartti_Kvartsipoly.pdf. Viitattu 30.3.2020.

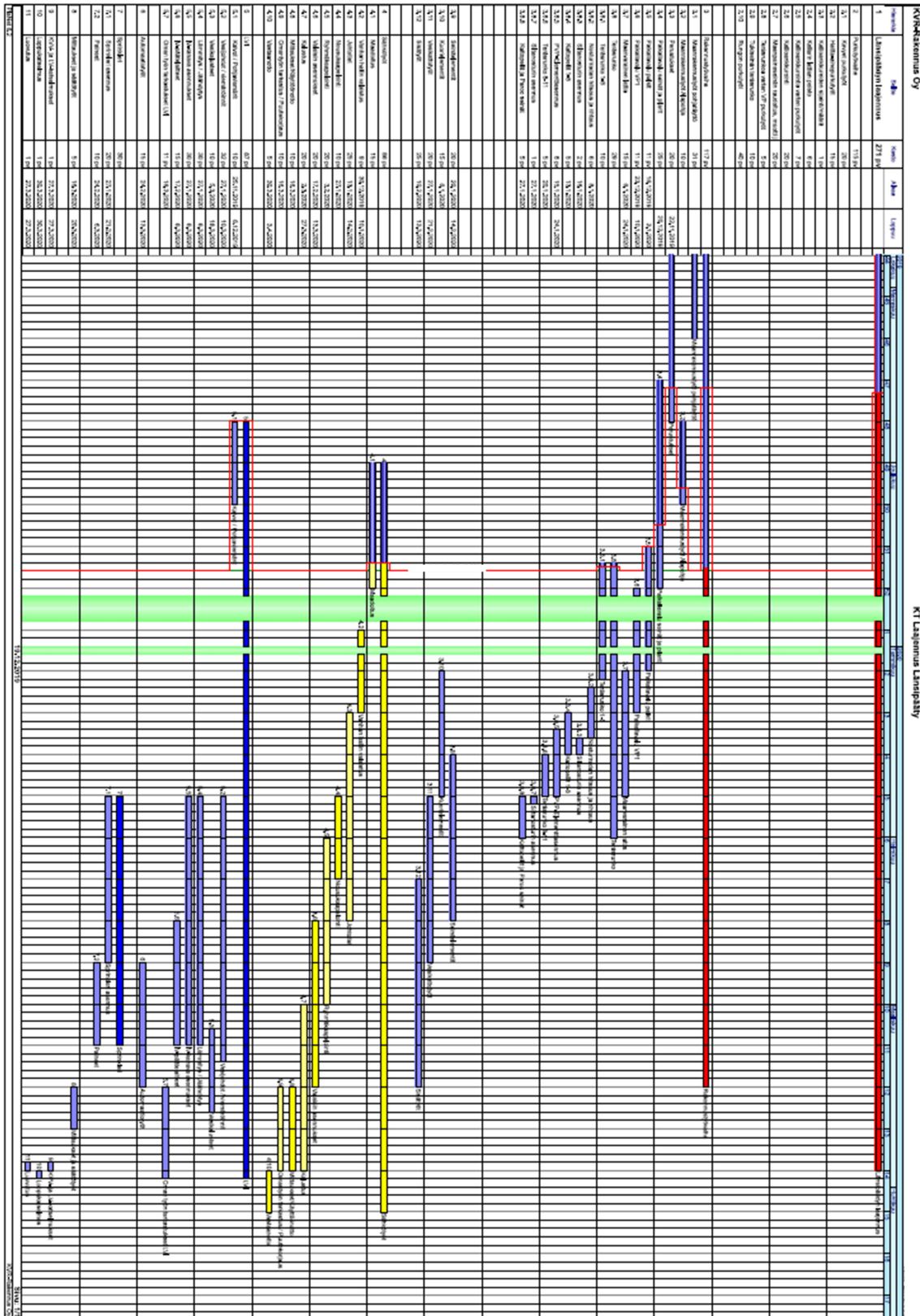
Tutkimuspäällikkö Mari Kaari, Tapaturmavakuutuskeskus: Työtapaturmatilastot 2005-2015. Pdf tiedosto. Viitattu 15.3.2020.

Työturvallisuussuunnitelma: Työmaasuunnitelmat, KVR-Rakennus Oy. Dokumentti yrityksen hallussa. Viitattu 20.3.2020

LIITE 1: ALUESUUNNITELMA



LIITE 2: PAIKALLVALETTAVAN AIKATAULU



LIITE 3: ELEMENTTIRAKENTEEN AIKATAULU

Rakenne	määrä	yksikkö	tth/kpl	resurssit	tth	tv
Pilarit	36	kpl	2,55	3+0	92	4
Palkit	6	kpl	1,65	3+0	10	0,4
Välipohjalaatta	6	kpl	3	3+0	18	1
Seinät	17	kpl	3,05	3+0	52	2
Yhteensä	65	kpl	10,25	3+0	171,55	7

LIITE 4: KUSTANNUSLASKEMAT (SALATTU)