



MAANALAISTEN PYSTYKUILUJEN TOTEUTUSTAVAT

Ville Sillanpää

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentaminen

SILLANPÄÄ, VILLE:

Maanalaisten pystykuilujen toteutustavat

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2013

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä lähinnä maanalaisissa tiloissa sijaitseviin maanalaisten pystykuilujen rakentamiseen louhinnan jälkeen. Tällaisia pystykuiluja ovat esimerkiksi hissi- ja ilmanvaihtokuilut ja ne ovat yleensä muutamia kymmeniä metrejä syviä. Näihin kuiluihin rakennettavien rakenteiden valintaan on syytä perehtyä huolellisesti ja suunnittelussa tulee huomioida toteutuksen helppous, kustannukset ja lopputuloksen laatu. Lisäksi tulee pohtia, miten työmiehet käytännössä pääsevät työskentelemään paikoin korkeallakin sijaitseviin kohteisiin työturvallisuutta laiminlyömättä. Opinnäytetyön tilaajana toimi Lemminkäinen Infra Oy ja työtä on tarkoitus käyttää apuna suunniteltaessa Oulun keskustan alle tulevan Kivisydän-pysäköintiluolaston pystykuilujen toteutustapoja.

Kuilurakenteiden tarkastelu painottui yleisimmin käytettyihin menetelmiin eli paikalla-valu-, elementti-, valuharkko- ja teräsrakenteisiin. Lisäksi työssä vertailtiin rakentamisen mahdollistavaa kehätelinettä ja mastonostinta. Kustannusvertailun avulla molemmista kokonaisuuksista löydettiin edullisin vaihtoehto. Tämä vertailu toteutettiin kustannusten ja rakennusaikojen suhdetta vertailemalla. Lisäksi kaikkien menetelmien työturvallisuuteen kiinnitettiin huomiota.

Työn lopussa saatiin tulos, jossa valuharkkorakenne osoittautui edullisimmaksi vaihtoehdoksi mastonostimelta rakennettuna. Valuharkkorakenteen valitsemiseen johti edullisin hinta ja lyhyt rakennusaika. Mastonostimen valintaan vaikuttivat edullinen hinta, nopeat pystytys- ja purkamisajat sekä hyvä työergonomia.

Saatujen tulosten pohjalta työn tekijä suosittelee edellä mainittujen menetelmien käyttämistä Oulun Kivisydän-pysäköintiluolastossa, vaikka näihin tarkasteltuihin kuiluihin saadut tulokset eivät välttämättä toimi yleispätevästi kaikissa kuiluissa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Construction Engineering
Option of Civil Engineering

SILLANPÄÄ, VILLE:
Different Options of Vertical Underground Shafts

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 5 pages
May 2013

In this thesis, writer orientates mainly in vertical underground shafts construction after mining. These vertical shafts are located in underground caverns and they are for example elevator- and ventilation shafts. Shafts are usually couple dozens of meters deep. Engineer must think careful about the coming structures to these shafts and planning must take into account of work's ease, expenses and final quality. Also, man must think how the workers can practically reach the work site situated mostly high above without risking occupational safety. The order of this thesis was Lemminkäinen Infra Oy and this thesis was made to help the planning of the vertical underground shafts in coming Kivisydän-parking facility situated in Oulu, Finland.

The examination of shaft structures concentrated in generally used methods, which are cast-in-place reinforced concrete structure, precast concrete element, concrete block structure and steel structure. Thesis also includes comparing about methods that make the construct possible between modular scaffolding system and single mast climbing work platform. With the help of cost comparison, writer found the most reasonable choices from the ensembles. This comparison made by comparing the ratio of expenses and construction times. Thesis also took notice in occupational safety of every examined methods.

At the end of this thesis, the result was that the most reasonable structure is concrete block structure built from the single mast climbing work platform. Reasons for choosing this concrete block structure were the lowest construct price and short construction time. Reasons for choosing mast climbing work platform were low rent price, fast installation- and disassembling time and worker friendly work ergonomics.

With the help of gained results, the writer of this thesis recommends using of these methods chosen above in vertical underground shafts construction in Kivisydän-parking facility, although the results in these examined shafts aren't necessary valid in every different shafts.

Key words: elevator- and ventilation shafts, vertical underground shafts, modular scaffolding system, mast climbing work platform

SISÄLLYS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 5 |
| 1.1 | Työn tausta..... | 5 |
| 1.2 | Työn tavoitteet | 5 |
| 1.3 | Työn rajaukset..... | 6 |
| 1.4 | Työn tilaaja | 7 |
| 2 | LÄHTÖKOHDAT..... | 8 |
| 2.1 | Oulun Kivisydän-pysäköintiluoasto | 8 |
| 2.2 | Hissikuilut | 8 |
| 3 | TUTKITTAVAT KUILUJEN RAKENNEVAIHTOEHDOT..... | 12 |
| 3.1 | Paikallavalurakenne | 12 |
| 3.2 | Elementtirakenne | 21 |
| 3.3 | Valuharkko..... | 28 |
| 3.4 | Teräsrakenne | 34 |
| 4 | RAKENTAMISEN EDELLYTTÄMIEN APULAITTEIDEN VERTAILU | 38 |
| 4.1 | Kehäteline | 38 |
| 4.2 | Mastonostin..... | 42 |
| 5 | KUSTANNUSVERTAILU | 47 |
| 5.1 | Kustannusvertailun perusteet..... | 47 |
| 5.2 | Tulosten yhteenveto | 47 |
| 5.3 | Tulosten tarkastelu | 49 |
| 6 | POHDINTA..... | 52 |
| 7 | YHTEENVETO | 55 |
| | LÄHTEET | 56 |
| | LIITTEET | 57 |
| | Liite 1. Tyypipiirustus kuilusta 16.2 | 57 |
| | Liite 2. Tyypipiirustus kuilusta 31.1 | 58 |
| | Liite 3. Paikallavalurakenteen aikataulu..... | 59 |
| | Liite 4. Valuharkkorakenteen aikataulu | 60 |
| | Liite 5. Teräsrakenteen aikataulu | 61 |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tilojen sijoittaminen maan alle on globaalisti vahvistuva trendi. Suomalaiset toimijat kuuluvat alan kirkkaimpaan kansainväliseen kärkeen. Maanalainen rakentaminen ei rasita ympäristöä, vaan päinvastoin se mahdollistaa maanpäällisen tilan muuhun käyttöön, kuten virkistykseen. Maanalaisen tilan käyttö on myös kestävä — kalliokiviaines korvaa harjuista kaivetut luonnon sorat, joita on aiemmin vielä kuljetettu pitkien matkojen takaa. (Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys 2013.)

Maanpäällisen tilan vähentyessä tarkastelun kohteeksi on otettu maanpinnan alapuoliset käyttömahdollisuudet. Mikäli kallioperä ja muut olosuhteet sallivat tilojen sijoittamisen maan alle, näistä rakennettavista tiloista on toteutettava esteetön kulku hisseillä, portaila tai rampeilla jopa 50 metriä korkeammalla sijaitsevalle maanpinnalle. Näitä kulureittejä kutsutaan kuiluiksi tai ajorampeiksi. Tässä työssä perehdytään kuiluihin.

Kuilurakentaminen on monimuotoista työtä jo pelkästään rakennettavien kuilutilojen ahtauden sekä jo olemassa olevien maan päällä sijaitsevien rakennusten ja muiden esteiden takia. Juuri tästä syystä jo suunnitteluvaiheessa täytyy tarkkaan miettiä, mitä materiaaleja ja rakennusmenetelmiä työssä tulee käyttää ja ennen kaikkea mitkä ovat oikeasti toteutuskelpoisia ratkaisuja. Tällä huolellisella suunnittelulla savutetaan mahdollisimman edullinen ratkaisu työn toteuttamisen kannalta.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli tutkia ja vertailla käyttökelpoisia ratkaisuja maanalaisten pystykuilujen toteutustavoista neljää yleisintä rakennetyyppiä vertailemalla. Vertailussa keskitytään lähinnä rakenteen edullisuuden erilaisissa tilanteissa.

Tässä tapauksessa edullisuudella tarkoitetaan yhdistettyjä kokonaiskustannuksia sisältäen

- materiaalit
- palkkakustannukset

- apulaitekustannukset
- alihankinnat.

Työssä esitellään rakenteet ja rakennusmenetelmät yleisesti sekä tutkitaan niiden rakentamiseen kuluvia aikoja ja kustannuksia. Tavoitteena on myös saada aikaan tarkastelua työturvallisuuteen liittyen ja vertailua työergonomian välillä.

Työmaalla perinteisesti käytetyn kehätelineen tehokkuus on kyseenalaistettu kuilurakentamisessa. Tästä syystä yhtenä tavoitteena on myös kehätelineen ja mastolavan vertailu työtehokkuuden sekä kustannusten selvittämiseksi. Tavoitteena on vertailla myös nostimien sekä menetelmien työturvallisuutta.

Tässä työssä kuilun rakenteiden vertailu on toteutettu CASE-luonteisena Ouluun rakennettavan Kivisydän-pysäköintiluolaston suunnitelmien pohjalta. Tavoitteena on, että tässä työssä saatuja tuloksia voitaisiin jo hyödyntää kyseisen projektin tulevassa toteutuksessa.

1.3 Työn rajaukset

Tässä työssä vertailtavat rakennevaihtoehdot rajattiin neljään yleisimmin käytettyyn tyyppiin, jotka ovat

- paikallavalurakenne
- elementtirakenne
- harkkorakenne
- teräsrakenne.

Rakenteissa ei niinkään ole puututtu suunnitteluperusteisiin, vaan keskitytty saamaan karkeasti kustannustietoa rakenteiden välillä. Rakenteet oletettiin yhtä kantaviksi ja massiivisiksi sekä kuilujen ylä- että alapäissä.

Hinnoittelussa käytettiin sovellettuna Lemminkäisen omia pysäköintiluola P-Hämpissä Tampereella toteutuneita yksikköhintoja sekä työaikoja. Apulaitteiden kustannukset saatiin niin ikään sovellettuna toteutuneista sekä myös valmistajan ilmoittamista kustannuksista.

Työssä ei tarkastella kuilujen louhimista, vaan tarkastelu painottuu nimenomaan tilanteeseen, jolloin kuilut ovat jo olemassa ja valmiina rakenteiden toteuttamiseen.

Ouluun suunnitellussa ja rakenteilla olevassa Kivisydän-pysäköintiluolastossa on yhteensä kahdeksan erilaista kuilua. Näistä porras- ja hissikuilusuunnitelmista on valittu kaksi mahdollisimman erilaista vaihtoehtoa, että pystyttäisiin saamaan laskennan ja tarkastelun jälkeen monipuoliset, vaihtelevat lähtökohdat huomioivat tulokset. Useamman kuilun tutkiminen ei tässä tilanteessa ole tarpeen, koska jo näiden kahden kuilun tuloksista päästään hyvin selville tulevista suuntaa-antavista kustannuksista.

Telineet ja nostimet on rajattu kahteen eri vaihtoehtoon, jotka ovat kehäteline ja mastonostin. Näihin vaihtoehtoihin on päädytty siksi, että ne ovat yleisimmin käytetyt kuilurakentamisessa ja mahdollistavat hyvin pääsyn kymmenien metrien korkeuksiin suhteellisen turvallisesti. Näiden osalta työturvallisuuden vertailu on rajattu vain päätyövaiheisiin työn toteutuksen kannalta.

1.4 Työn tilaaja

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimi Lemminkäinen Infra Oy, joka on osa Lemminkäinen Oyj konsernia ja palvelee infrarakentamisen kaikilla osa-alueilla. Nämä osa-alueet ovat: päällystys-, hoito-, kunnossapito- ja kiviainestoiminta, urheilu-, maa- ja väylärakentaminen, sekä pohja-, insinööri- ja kalliorakentaminen. Muut konsernin toimalat ovat: talonrakentaminen, talotekniikka sekä kansainväliset toiminnot. Lemminkäinen Infra urakoi vuosittain lukuisia kohteita Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Venäjällä, Virossa, Latviassa ja Liettuassa. Kansainvälisen liiketoiminnan osuus onkin noin puolet yhtiön koko liikevaihdosta, joka on yhteensä noin miljardi euroa. Yhtiön henkilöstömäärä on keskimäärin 1800 työntekijää.

Tämän työn tekijä toimi kesän 2012 yhtiön palveluksessa insinöörirakentamisen puolella työnjohtoharjoittelijana Tampereella Pysäköintiluola P-Hämpissä, jossa tekijä työskentelee myös tämän opinnäytetyön tekemisen aikana.

Lemminkäinen Infra Oy rakentaa vuosittain noin 3-10 maanalaisista kuilua riippuen siitä, kuinka paljon maanalaisia kalliotiloja on työn alla.

2 LÄHTÖKOHDAT

2.1 Oulun Kivisydän-pysäköintiluolasto

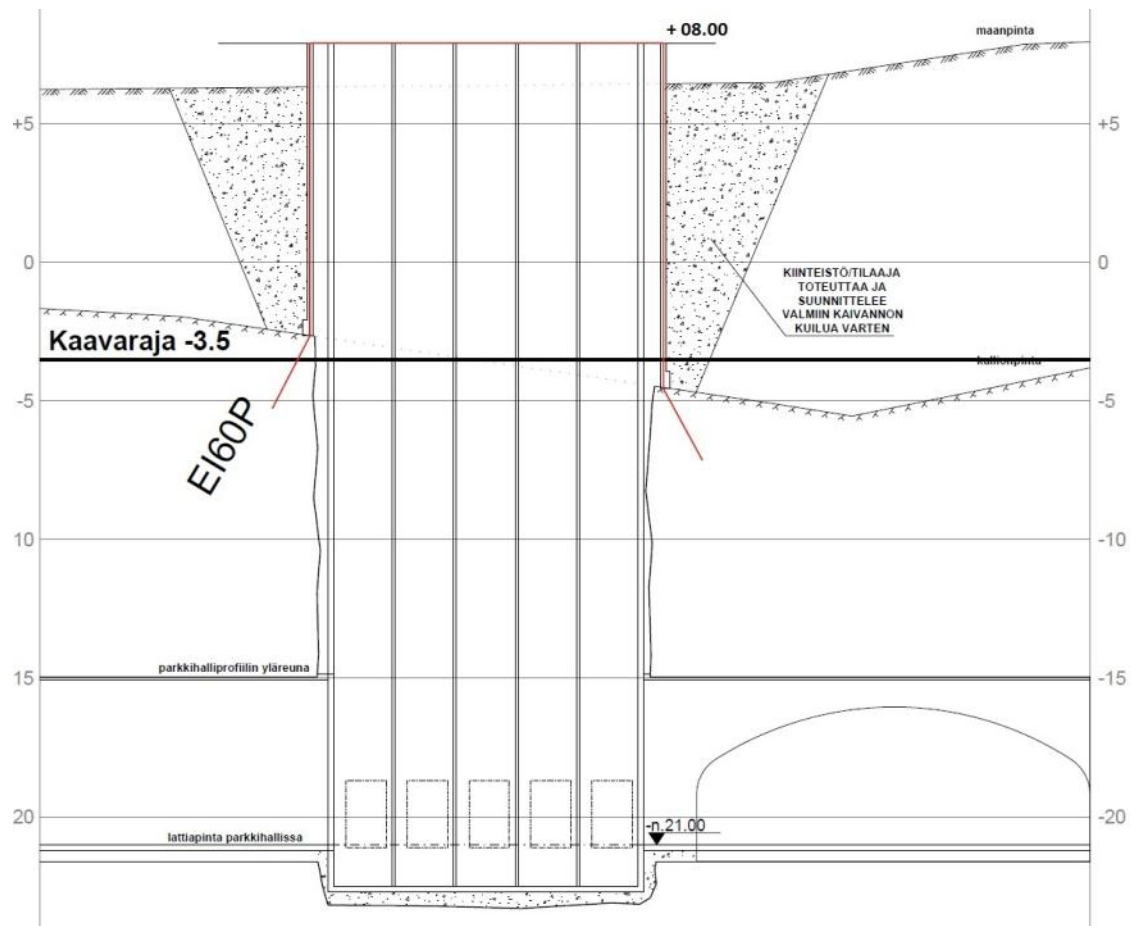
Oulun keskustan alle noin 30 metrin syvyyteen rakenteilla oleva Kivisydän-pysäköintiluolasto on 900 autopaikkaa ja 3000 henkilön väestönsuojan käsittävä kokonaisuus. Rakennuttajana hankkeessa toimii Oulun Pysäköinti Oy ja KVR-urakoitsijana Lemminkäinen Oyj. Henkilöyhteyksiä, eli käytännössä hissejä, keskustan alueen kiinteistöihin ja katualueelle tulee 16 yhteensä 8:aan eri kuiluun. Luolastoon tulee myös keskustan alittava huoltokatu sekä kortteleiden huoltotilat erikseen sovittavassa laajuudessa. (Kivisydän 2013.) Luolasto tulee muuttamaan Oulun keskustan toimivuutta oleellisesti niin yksittäisen henkilön kuin yleisten palvelujenkin kannalta. Tämä tavoite kuvaankin hyvin hankkeen kotisivuilla luolaston merkitystä painottaen.

Kivisydän on jo rakennusvaiheessaan enemmän kuin pysäköintiluolasto. Se on infraratkaisu, joka sysää käyntiin maanpäällisen kaupunkikeskustan kokonaisvaltaisen kehittämisen ja tuo Oulun 2010-luvulle.
(Kivisydän 2013.)

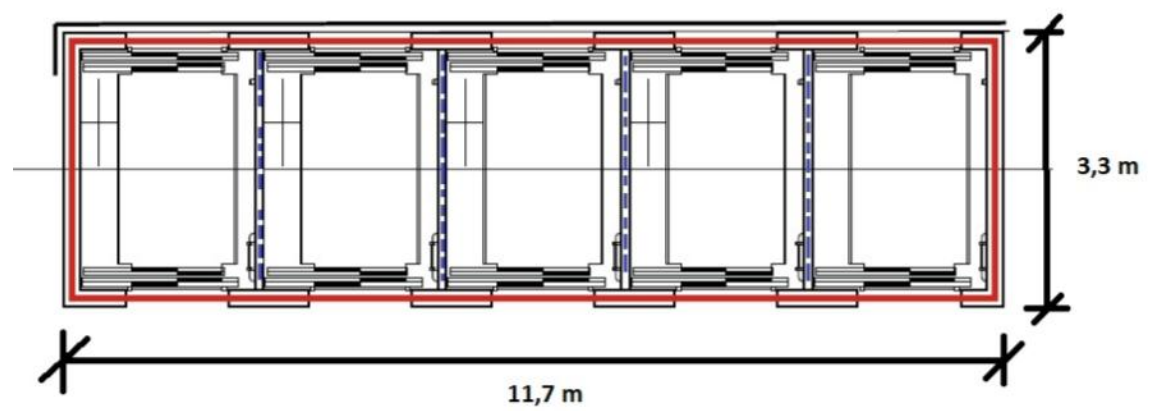
2.2 Hissikuilut

Pysäköintiluolaston kahdeksasta kuilusta on valittu kaksi mahdollisimman erilaista vaihtoehtoa, joita on järkevä vertailla mahdollisimman monipuolisen lopputuloksen saamiseksi. Nämä kaksi kuilua ovat suunnitelmissa numeroilla 31.1 sekä 16.2. Kuiluista on esitetty leikkauskuvat päämittoineen.

Kuilu 31.1 (kuvat 1 ja 2) on perusrakenteeltaan yksinkertainen, sillä siihen sisältyy selkeästi vain 5 hissiä. Sen tarkasteltavien rakenteiden yhteispinta-alaksi on laskettu 870 m² sekä hissien verkkoväliseinien pinta-alaksi 348 m². Rakenteet on merkitty kuvaan 2 punaisella sekä verkkoväliseinät sinisellä värillä. Näitä määriä käytetään vertailun laskelmissa lähtötietoina. Kuiluun tulevia tarkasteltavia rakenteita laskettaessa korkeustasoina on käytetty alapäässä parkkihallin lattiapintaa -21.00 ja yläpäässä +08.00 tasoja. Nämä korkeustasot on rajattu näkyviin kuilun tyyppipiirustuksessa numero 20535-1015. Korkeustasot huomioiden kuilun korkeudeksi on määritelty 29 metriä. Kuilun tyyppipiirustus numero 20535-1015 löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1.

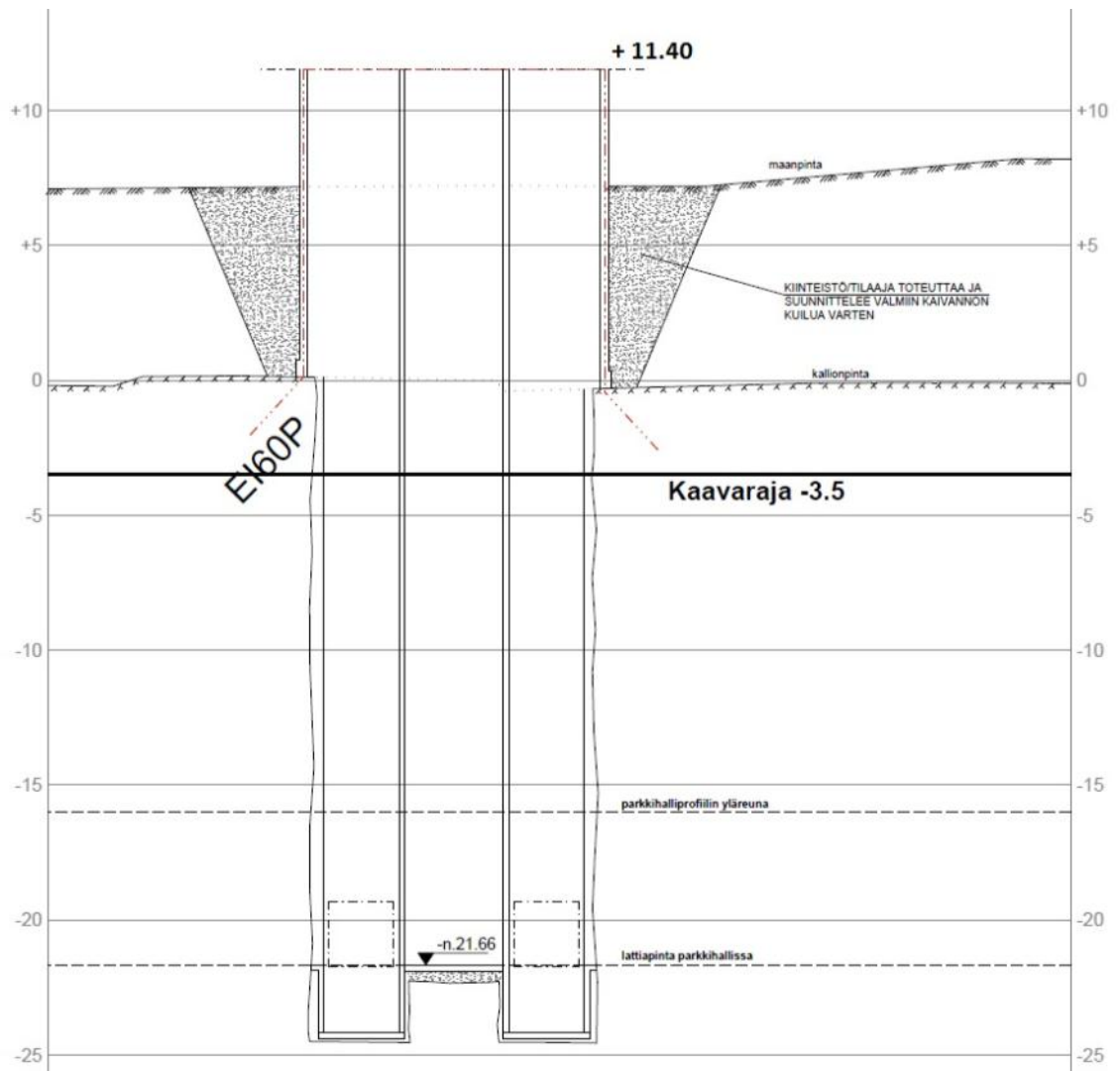


KUVA 1. Kuulun 31.1 leikkaus (Sito-yhtiöt 2013)

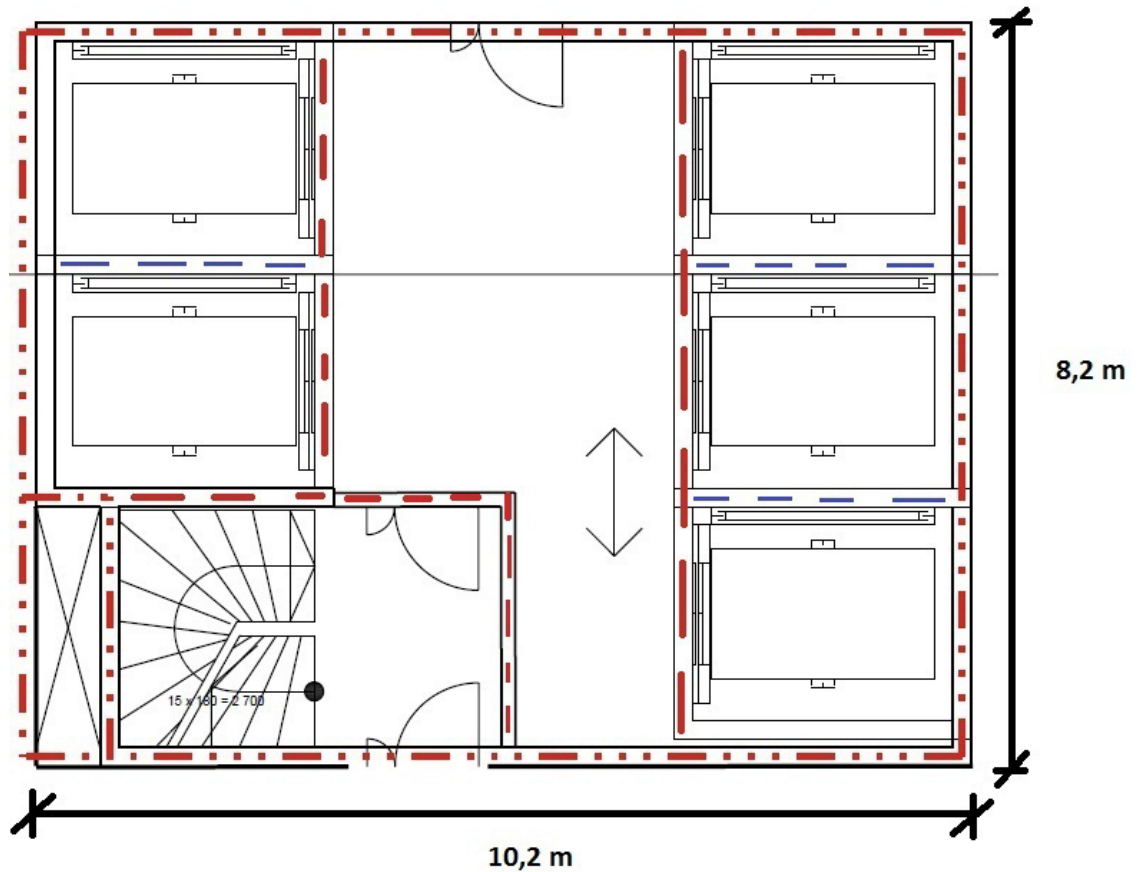


KUVA 2. Kuulun 31.1 leikkaus ja päämitat (Sito-yhtiöt 2013)

Kuilu 16.2 (kuvat 3 ja 4) on rakenteeltaan hieman monimuotoisempi. Siihen kuuluu 5 hissiä, hätäpoistumistieportaikko sekä tekniikkakuilu. Tämän kuilun kantavien rakenteiden yhteispinta-alaksi muodostui 1709 m² ja verkkoväliseinien pinta-alaksi 277 m². Kantavat rakenteet on merkitty kuvaan 4 punaisella ja verkkoväliseinät sinisellä värillä. Laskelmissa korkeustasoina on käytetty alapäässä parkkihallin lattiapintaa -21.66 ja yläpäässä kuvaan rajattua +11.40 tasoa. Näiden tasojen avulla kuilun kokonaiskorkeudeksi on saatu 33 metriä. Kuilun tyyppiirustus numero 20535–1011 löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 2.



KUVA 3. Kuilun 16.2 Leikkaus



KUVA 4. Kuilun 16.2 leikkaus ja päämitat (Sito-yhtiöt 2013)

Molemmat kuilut on mahdollista rakentaa yläkautta, sillä niiden yläpuolella sijaitsevat nykyiset rakennukset tullaan purkamaan ennen varsinaisen rakennustyön aloittamista. Tämä mahdollistaa käytännössä elementtirakentamisen käytön, mikäli kyseenomainen vaihtoehto valitaan toteutukseen, koska alakautta rakennettaessa elementtirakenne tulee huomattavasti kalliimmaksi. Kuilujen parkkihallin lattiapinnan korkoa on käytetty laskennassa siksi, että hissikuiluille tehty pohjarakenne on yleensä vakiokokoinen yhdistetty teräsbetoni- ja ruostumaton teräsrakenne. Tästä syystä sen huomioiminen ei vaikuta kustannusvertailuun ja voidaan näin ollen jättää pois.

3 TUTKITTAVAT KUILUJEN RAKENNEVAIHTOEHDOT

3.1 Paikallavalurakenne

Seuraavassa esitellään paikallavalurakenteen työmenetelmät yleisesti. Esittelyosion jälkeen on laskettu materiaalikustannukset tälle rakenteelle molempiin kuiluihin. Käytetyt yksikköhinnat ovat peräisin Lemminkäisen rakentamasta P-Hämppi-pysäköintihallista ja yksikköhinnat on laskettu toteutuneiden kokonaiskustannuksien avulla.

Paikallavalurakentaminen on menetelmä, jossa rakentamisen tuloksena saadaan yleensä teräsbetoninen rakenne, jossa teräkset ottavat vastaan vetorasitukset ja betoni puristusrasitukset. Rakenteille on ominaista suuri ominaispaino, jonka ansiosta niillä on hyvät lujuus-, jäykkyys-, palonkestävyys- ja ääneneristävyysominaisuudet. (Suomen betoniyhdistys 2004, 191.)

Työn suoritus eli tuotantotekniikka koostuu kolmesta eri työvaiheesta, jotka ovat

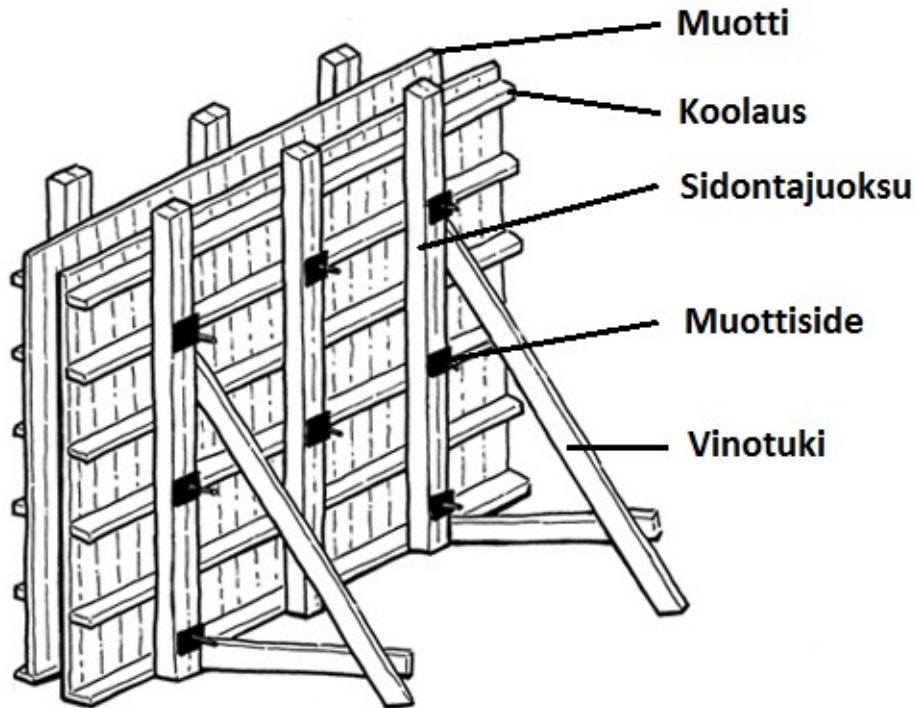
- muottityö
- raudoitustyö
- betonointityö (Suomen betoniyhdistys 2004, 191).

Muottityö

Muottityössä betonia varten rakennetaan muottijärjestelmällä halutunlainen kokonaisuus. Nämä järjestelmät voidaan jakaa kolmeen tyyppiin, jotka ovat pystyrakenteiden muotit, vaakarakenteiden muotit ja erityismuotit (Suomen betoniyhdistys 2004, 215.) Työn kannalta oleelliset edeltävistä ovat pystyrakenteiden muotit. Näitä muotteja ovat tavallisesti paikalla tehdyt lauta- ja levymuottijärjestelmät, suurmuotit, kasettimuotit ja pilarimuotit (Suomen betoniyhdistys 2004, 215). Tässä työssä on oletettu käytettäväksi levymuottijärjestelmää.

Levymuottijärjestelmällä tarkoitetaan irrallisesta puu- eli kappaletavarasta, tavallisesti 22x100 mm² ja 50x100 mm² sahatavarasta sekä vanerista tai puulevyistä naulaamalla rakennettua muottia. Muotin tukirakenteet ovat myös yleensä puuta. Korkeissa seinämuoteissa käytetään muotin läpi meneviä alumiinisiteitä ja ulkopuolisia solkia. Seinän sahatavaramuotti näkyy kuvassa 5. Muotille on tyypillistä, että tarvikkeita työstetään

pystytyksen aikana ja että muotti irrotetaan purkamalla rakennustarvikkeet yksi kerrallaan. Tämä korostaa työalueen siistinä pitämistä, koska tilat ovat muutenkin ahtaat ilman jätteitä. Tarvikkeet voidaan puhdistaa ja käyttää uudelleen, mutta rikkoutumisen vuoksi materiaali on usein osin kertakäyttöistä. Lauta- ja levymuottitekniikka on työvoimavaltainen ja sen perusedellytyksenä on kirvesmiehen hyvä ammattitaito. (Suomen betoniyhdistys 2004, 215-216.)



KUVA 5. Seinän sahatavaramuotti (Rakennustuoteteollisuus RTT RY)

Raudoitustyö

Raudoitustyön alkuvaiheet eivät tapahdu asennuspaikalla, vaan vasta valmiit raudoitteet siirretään mahdollisen välivarastoinnin jälkeen lopulliseen käyttökohteeseensa. Usein varsinkin isoissa paikallavaluissa raudoitteiden esivalmistus tapahtuu tehtaalla, jolloin saadaan tarkasti halutunlaiset koot ja mitat eikä hukkapaloja pääse syntymään. Toisaalta varsinkin pienempien rakenteiden raudoitteet on totta kai myös mahdollista työstää itse työmaalla niin, ettei aikataulu silti kärsi oleellisesti.

Raudoitteet tuetaan muotteihin välikkeiden eli niin sanottujen korppujen tai asennustankojen avulla niin tiheästi ja sidotaan toisiinsa niin lujasti, etteivät ne betonoitaessa tai

muiden työvaiheiden aikana siirry pois paikoiltaan tai saa haitallisia mutkia. Välikkeet ovat yleensä muovisia määrämittäisiä kappaleita, joilla rauditus tuetaan ja joilla saadaan aikaan oikeamittainen betonipeite ja myös oikeat tankovälit. (Suomen betoniyhdistys 2004, 279-280.) Riittävä suojabetonin määrä on merkityksellinen siksi, että rauditus kestää paremmin korroosiota vastaan riittävän betonipeitteen turvin.

Raudoitteiden toisiinsa sitomisessa käytetään yleensä sidontakoukkuja ja halkaisijaltaan 1 - 2 mm:n, noin 300 mm pituuteen leikattuja rautalangan pätkiä eli niin sanottuja surrilankoja. (Suomen betoniyhdistys 2004, 280).

Mikäli raudoitustankojen pituudet eivät riitä, niitä täytyy jatkaa. Jatkoksia joudutaan tekemään myös asennusteknisistä syistä. Yleensä käytettävä menetelmä on limijatkos, jossa tangot viedään limittäin niin paljon, että molemmilla tangoilla on riittävä ankkurointikapasiteetti siirrettävään rasitukseen nähden. (Suomen betoniyhdistys 2004, 281-282.)

Ennen betonointia on välttämätöntä tarkastaa, että rauditus on asennettu täsmälleen oikein. Tämä siksi, että rakenteen valmistuttua sen raudoitusta on yleensä todella vaikea tai jopa mahdoton korjata. Raudoituksen valvonnalla ja siihen liittyvillä korjauksilla varmistetaan, että betonoinnin päättyessä raudoitteiden asema ja betonipeitteen paksuus on oikea sekä niiden tartunta on täydellinen. (Suomen betoniyhdistys 2004, 284.)

Betonointityö

Betoni pyritään sijoittamaan muottiin siten, että se pysyy tasalaatuisena, täyttää muotin tasaisena ja halutun paksuisena kerroksena, ja että se liittyy saumattomasti muotissa jo ennestään olevaan tuoreeseen betonimassaan. Seinämuottien betonointi suoritetaan normaalisti maksimissaan 250–300 mm:n kerroksina riippuen massan notkeudesta, rakenteesta, raudoituksesta ja betonille asetetuista vaatimuksista. Yksi näistä vaatimuksista on esimerkiksi vesitiiviys. (Suomen betoniyhdistys 2004, 317.)

Betonimassan erottumisvaaran, eli hienoaineksen ja karkean runkoaineen erottumisen, vuoksi vapaa pudotuskorkeus on pidettävä mahdollisimman pienenä, korkeintaan 1,5 m. Korkeissa muoteissa on käytettävä valusuppiloita tai -sukkia massan vapaan pudotus-

korkeuden rajoittamiseksi ja varmistuttava, että pudotus tapahtuu pystysuorassa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 318.)

Muotti tulee täyttää vaakasuorina kerroksina alkaen muotin alimmasta kohdasta. Täytettäessä huolehditaan siitä, että betonikerrokset säilyttävät suunnitellun paksuutensa. Tasainen valukerros varmistaa, että massa tulee tiivistettyä kokonaisuudessaan samalla tiivistysteholla. (Suomen betoniyhdistys 2004, 319.)

Betonin tiivistämisen tarkoituksena on saada betoni täyttämään muotit ja ympäröimään raudoitus täydellisesti, poistaa massasta ylimääräinen ilma ja saada betonin kiviaineksen osat hakeutumaan lähemmäksi toisiaan. Tiivistämisessä käytetään erilaisia täryttimiä, jotka voidaan jakaa käyttö- ja vaikutustapansa perusteella sauva-, pinta- ja muottitäryttimiin. Betoni tiivistetään huolellisesti ja järjestelmällisesti täryttämällä siten, että massa tiivistyy kauttaaltaan ja jokainen uusi massakerros liittyy hyvin aikaisemmin valettuun betoniin. Tiivistämisessä tärytys ulotetaan noin 150 mm edelliseen valukerrokseen siten, että tärytin on pystyasennossa. (Suomen betoniyhdistys 2004, 322.)

Betonointi päättyy yleensä lopulliseen pintaan, joka tehdään tavallisesti joko puulla tai teräksellä hiertäen.

Laadunvalvonta kohdistuu betonoinnin aikana lähinnä massan ominaisuuksiin, työnsuorituksiin sekä muotteihin, raudoitukseen ja valettaviin rakenteisiin. Työn laadunvalvonta-asiakirjana toimii betonointipöytäkirja. Betonoinnin aikana seurataan muotin liikkeitä ja muodonmuutoksia sekä tehdään tarvittavia toimenpiteitä vahinkojen välttämiseksi. (Suomen betoniyhdistys 2004, 330.)

Betonointityön jälkeisen jälkihoidon tarkoituksena on aikaansaada olosuhteet, joissa valettu rakenne kovettuu moitteettomasti saavuttaen suunnitellun loppulujuuden ja muut betonin tavoitteeksi asetetut ominaisuudet.

Jälkihoitoon kuuluu

- valetun rakenteen suojaaminen sadetta, virtaavaa vettä ja kylmää vastaan
- veden haihtumisen estäminen ja mahdollinen rakenteen kastelu
- oikeasta kovettumislämpötilasta huolehtiminen. (Suomen betoniyhdistys 2004, 331.)

Yhteenvedon nimienomaan kuilussa työskenneltäessä on huomioitava ja suunniteltava huolellisesti suurien korkeuserojen ja ahtauden tuomat erityismenettelyt. Tämä tilojen ahtaus tulee esille niin tunnelissa kuin maanpäälläkin työskenneltäessä ja vaatii erityishuomiota ja -järjestelyjä. Vaikka näiden tarkasteltavien kuilujen yläpuolella ei suoraan ole rakennusta niin tilat sen ympärillä voivat kuitenkin olla erittäin ahtaita esimerkiksi autonosturille ja pumppuautolle.

Työturvallisuus

Paikallavalussa, niin kuin kaikessa muussakin rakentamisessa, turvallinen työskentely lähtee oikeanlaisista henkilökohtaisista suojavarusteista.

Näihin henkilökohtaisiin suojavarusteisiin kuuluvat

- turvakengät
- heijastavat suojavaatteet
- työkäsineet
- silmänsuojaimet
- kypärä
- kuulonsuojaus.

Muotintekovaiheessa ja muissakin työvaiheissa erittäin suuri riskitekijä on tässä tapauksessa putoaminen ja siitä johtuvat seuraukset työskenneltäessä syvässä kuilussa. Tämä riskitekijä voidaan välttää huolellisella työskentelyllä ja oikeaoppisella suojavarustuksella sekä huolehtimalla asianmukaisesta putoamissuojauksesta niin henkilökohtaisella kuin yleisellä työmaatasolla. Lisäksi pienenä riskinä on erilaisten sahojen ja naulaimien käyttäminen.

Valtioneuvoston asetuksen rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) mukaan putoamisen estävien suojarakenteiden ja -laitteiden, kuten esimerkiksi suojakaiteiden, on oltava suojausvaikutukseltaan mahdollisimman yhtenäisiä. Jos työn tekeminen edellyttää, että putoamisen estävä suojarakenne tai -laite väliaikaisesti poistetaan, on käytettävä muita korvaavia suojoitoimia. Työtä ei saa tehdä ennen kuin nämä suojoitoimet on toteutettu. Putoamisen estävä suojarakenne tai -laite on palautettava paikalleen heti sen jälkeen, kun kyseinen työ on päättynyt tai keskeytynyt.

Valtioneuvoston asetuksen rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) mukaan putoamisen estämiseksi tehtävissä, yli 2 metrin putoamiskorkeudella olevien työtasojen ja kuluteiden suojakaiteissa on oltava käsi- ja välijohde sekä jalkalista. Telineiden kaiteissa on oltava jalkalista. Kaiteen korkeuden on oltava vähintään 1 metri. Johteet on sijoitettava siten, ettei minkään johteen alapuolella oleva pystysuora vapaa tila ole 0,5 metriä suurempi. Kaiteet saa korvata vastaavan turvallisuuden antavilla muilla suojarakenteilla, kuten tarkoituksenmukaisilla levyillä ja verkoilla. Korkealla tehtävässä työssä on käytettävä putoamisen estävällä suojauksella varustettuja työtasoja tai henkilönostolaitteita taikka suojaverkkoja tai muita rakenteisiin kiinnitettäviä putoamisen estäviä suojarakenteita. Jos tällaisten laitteiden tai rakenteiden käyttäminen ei työn luonteen vuoksi ole mahdollista, on käytettävä tarkoitukseen soveltuvaa putoamisen estävää valjastyypistä henkilönsuojainta köysineen. Köydet on kiinnitettävä turvallisesti.

Raudoitus on paikallavalussa raskain työvaihe ja sen myötä myös vaarallisin rakennustyön vaiheista.

Raudoittamisen tapaturmavaaran aiheuttajista tärkeimmät ovat seuraavassa luettelossa. Samalla on esitetty keinoja vaaran vähentämiseksi.

- Tartuntatangot. Erikoisesti lyhyet, alle 1,5 m korkeat betonista esiinpistävät pysytartunnat ovat vaarallisia. Ohuet tartunnat eli halkaisijaltaan alle 12 mm pitäisi taivuttaa tai valmistaa U-muotoisina. Paksummat eli halkaisijaltaan yli 12 mm tulisi varustaa puu-, kumi- tai muulla suojuksella. Vaakatartunnat toimivat kompastusesteinä.
- Telineiden, nostimen tai muottien ylikuormitus. Raudoitteiden varastointi asennuspaikalla tulee levittää riittävän laajalle alueelle.
- Esiinpistävät sidelangat. Langat pitää taivuttaa kohti rakenteen sisäosia tai suojata.
- Sidelankojen sitominen. Kumartelun välttäminen.
- Liian raskaiden taakkojen kantaminen. Suurin taakka on kansainvälisen suosituksen mukaan jatkuvassa työssä 35 kg ja tilapäisessä kantamisessa 55 kg. Raudoitustyössä nämä arvot ylitetään helposti.
- Nostot. Raudoitteita nostettaessa esim. autonosturilla on kiinnitettävä huomiota
 - nostoapulaitteiden, raksien, ketjujen ja muiden vastaavien huolelliseen kiinnitykseen
 - taakan muodostamiseen mahdollisimman jäykäksi eli esimerkiksi nostotelineen käyttö

- oikeiden kiinnityskohtien valitsemiseen
- taakan pyörimisen estämiseen
- nostoalueen tyhjentämiseen tarpeettomista ihmisistä.
- Putoaminen, liukastuminen. Kuten muutkin rakennustyöt, vaatii myös rauditus turvalliset telineet, tikkaat ja suojakaiteet. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 285-286.)

Betonointivaiheessa riskitekijänä on esimerkiksi betonimassan roiskuminen silmiin ja iholle valun aikana. Sama tilanne voi myös syntyä vielä jopa vakavimmin saurauksin, jos esimerkiksi letkulinjan jokin sauma aukeaa valun aikana tapaturmaisesti. Näiden seikkojen johdosta on ensiarvoisen tärkeää muistaa käyttää silmänsuojaimia.

Paikallavalun kustannukset

Paikallavalun kustannukset muodostuvat tässä vaiheessa rakennustöistä ja valmiista betonimassasta. Kaikki kustannukset on laskettu P-Hämpin kuilujen rakentamisessa toteutuneista hinnoista. Hinnat on korjattu indeksillä siten, että 2010 on 100. Heinäelokuussa 2011 indeksi on 103,9 ja viimeisin eli 4/2013 107,1. Kertoimeksi on saatu näin ollen 3,2.

Rakennustyöt sisältävät

- muotin teon (m²)
- raudituksen asennuksineen (kg)
- betonin valutyön
- muotin purun
- betonin jälkihoidon
- jätteiden siivouksen.

Kustannukset on esitetty taulukoissa 1 ja 2, joiden yksikköhintoina on käytetty eräiden urakoitsijoiden Lemminkäiselle tekemiä tarjouksia. Rakennustyöt ja betonimassa ovat molemmat kuutiointihintoina. Rakennustöitä on myös karkeasti eritelty esimerkiksi laudoitusneliöiksi ja raudituskiloiksi. Betonimassan kustannukset on esitetty kuutiota kohden ja myös tätä kokonaiskustannusta on eritelty karkeasti. Valutyötä hidastaa aluksi hieman se, että betonointi tehdään kerroksittain (3m) puoliväliin asti alakautta eli tunnelista käsin. Näin tehdään siksi, ettei massan hienoaine erottuisi liian suuren pudotuskorkeuden takia.

Betonimassan kustannus on laskettu siten, että kuilujen ulkoseinät ovat 0,4 metrin paksuisia johtuen kalliota vasten valamisen ryöstöstä tehtäessä yksipuolinen muotti. Tämä tarkoittaa siis sitä, että vaikka itse kantava seinä on 0,2 metrin paksuinen niin kuilun louhimisen jäljiltä seinämä jää aina onkalomaiseksi, jolloin massaa todellisuudessa menee enemmän. Muut sisäpuoliset seinämät on laskettu 0,2 metrin paksuudella.

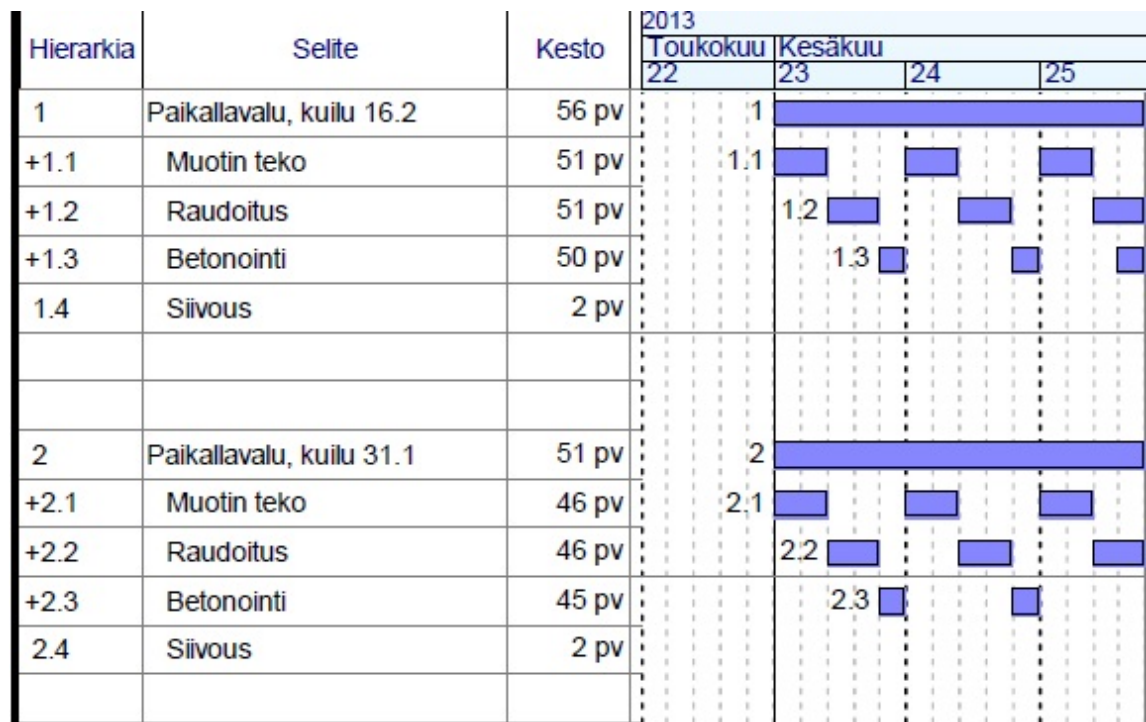
TAULUKKO 1. Kuilun 16.2 paikallavalun kustannukset, alv 0 %

| Kuilu 16.2 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------------|
| Rakennustyöt (alihankinta) | 593 | m ³ | 915 | 542 302 € |
| - muottityöt | 3017 | m ² | | |
| - raudoitus | 100 | kg/m ³ | | |
| Betonimassa | 593 | | 95 | 56 335 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massan | | | | |
| - kuljetuksen | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 36 | kpl | 420 | 15 120 € |
| | | | | 613 757 € |

TAULUKKO 2. Kuilun 31.1 paikallavalun kustannukset, alv 0 %

| Kuilu 31.1 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|----------------------------|-------|-------------------|----------------|------------------|
| Rakennustyöt (alihankinta) | 348 | m ³ | 915 | 318 420 € |
| - muottityöt | 1230 | m ² | | |
| - raudoitus | 100 | kg/m ³ | | |
| Betonimassa | 348 | m ³ | 95 | 33 060 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massan | | | | |
| - kuljetuksen | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 48 | kpl | 420 | 20 160 € |
| | | | | 371 640 € |

Kuvassa 6 on nähtävillä osa paikallavalun aikataulusta. Kuilussa 16.2 sama viikkoaikataulutus jatkuu 11 viikon ajan ja vastaavasti kuilussa 31.1 10 viikkoa. Aikataulu on kokonaisuudessaan liitteessä 3.



KUVA 6. Paikalla valettavien kuilujen rakentamisen aikataulut

3.2 Elementtirakenne

Valmistuksen betonitekniset edut

Elementti on yhden kiinteän kokonaisuuden käsittävä esivalmisteinen usein teräsbetoninen rakenne, joka painonsa tai muotonsa vuoksi edellyttää nostoapuvälineiden käyttöä.

Betonin valmistus ja valuprosessi hallitaan tehdasolosuhteissa paremmin kuin ulkona työmaalla, missä sääolosuhteet asettavat usein rajoituksia. Lisäksi elementtitehtaassa voidaan käyttää useita valmistusmenetelmiä, jotka työmaalla eivät ole mahdollisia.

Jäykkiä, vähäisen vesimäärän sisältäviä massoja on mahdollista tiivistää käyttäen muotitäryjä, painetäryä tai ns. leikkaustiivistystekniikkaa. Nämä toimenpiteet takaavat yleensä todella laadukkaan ja viimeistellyn lopputuloksen.

Muotit voidaan myös asentaa valamisen kannalta edullisimpaan asentoon. Samoin voidaan eri pintavaihtoehdot ja viimeistelymenetelmät valita vapaammin kuin työmaolosuhteissa (Suomen betoniyhdistys 2004, 455.)

Nopea muottikierto saavutetaan valitsemalla jälkihoitoon tehokas lämmitysmuoto kuten muottilämmitys, höyrykäsittely tai infrapunalämmittimien käyttö. Kaikki muotit elementteineen voidaan peittää tiiviisti jälkihoidon ajaksi. Myös betonin ominaisuuksia voidaan tehtaalla parantaa käyttämällä erikoismateriaaleja, jotka edellyttävät erityisen tarkan annostelun tai nopean valun heti sekoituksen jälkeen (Suomen betoniyhdistys 2004, 456.)

Valtaosa elementtitehtailla valmistettavista betoneista on normaalilujuuksisia (K30...K60) harmaita runkoelementteihin käytettäviä betoneja. Elementtitehtaalle on tyypillistä, että lujuusluokat ovat korkeampia kuin paikallavaluissa (Suomen betoniyhdistys 2004, 457.)

Elementtien toimitus ja asennus

Elementtitoimitus rakentamisprosessin osana edellyttää työmaan, valmisosatoimittajan ja suunnittelijoiden välillä hallittua tiedonkulkua. Selkeiden pelisääntöjen ja aikataulujen kirjaaminen sopimukseen ja noudattaminen on tehokkuuden edellytys.

Tavoitteiden saavuttamiseksi valmistuksen ohjauksessa tulee

- tarvittaessa suunnitella työ yksityiskohtaisemmin
- ohjata työtä työpaikoilla
- valvoa työn toteutumista: määrää, laatua, toimitusaikaa, kustannuksia yms.
- ryhtyä toimenpiteisiin häiriön sattuessa
- raportoida ja tiedottaa tuloksista.

Valmistuksen ohjauksessa keskitytään nimenomaan kapasiteetin ja itse valmistustapahtuman hallintaan.

Elementtikuorman saavuttua työmaalle elementtien tilaaja suorittaa vastaanottotarkastuksen, jossa todetaan, että elementtitoimituksen sisältö on oikea, elementeissä on tunnistetiedot valmistajasta, elementin painosta ja, että elementin kuljetuksessa ei ole syntynyt vaurioita. Lisäksi tarkistetaan, että elementissä mahdollisesti olevat nostopisteet ovat oikeanlaiset ja oikeassa paikassa. Mahdollisista virheistä ja puutteista tehdään merkinnät rahtikirjaan. Tarvittaessa rikkoutuneet elementit valokuvataan ja tiedot vaurioista lähetetään elementtitehtaalte (Heiska & Koskenvesa 2007, 25.)

Elementtikuorma puretaan ja elementit nostetaan työmaalla käytettävällä nostokalustolla eli tässä tapauksessa ajoneuvonosturilla. Elementtien kuljetusvälineen vakavuus ei saa vaarantua elementtejä siitä nostettaessa. Esimerkiksi nostettaessa seinäelementtejä kuormasta nostetaan elementit vuorotellen eri puolilta A-pukkia, jotta kuljetusvälineen tasapaino säilyy. Elementtien nostamiseen käytettävän nosturin nostokyky katsotaan riittäväksi, kun sen kapasiteetti on 15 % suurempi kuin suurimman taakan aiheuttama rasitus. Ajoneuvonosturia käytettäessä tarvitaan tukilevyt jokaisen jalan alle, joiden kantavuus on oltava riittävä. Nosturin valinta on asennuksen ennakkosuunnittelun tärkeimpiä tehtäviä jo suuren kustannusvaikutuksen vuoksi. Nosturikustannus on keskimäärin neljännes elementtiasennuksen kustannuksista.

Elementtien nostokalustoa valittaessa on selvitettävä

- elementtien tyyppikohtaiset suurimmat päämitat, pituus, leveys, korkeus
- eri elementtityyppien suurimmat nostopainot sekä elementti, jonka nostoetäisyys on pisin
- nostoetäisyydet ja -korkeudet
- mahdolliset esteet, kuten sähkölinjat yms.
- maapohjan kantavuus sekä ajoteiden kunto.

(Heiska & Koskenvesa 2007, 25, 27.)

Elementtien nostoissa nostoapulaitteina käytetään mm. nostorakseja, nostokoukkuja, nostosaksia, nostopuomia, ohjausköyttä, ketjuja, ketjulukkoja sekä sakkeleita. Nostoapuvälineellä tarkoitetaan komponenttia tai laitetta, jota ei ole pysyvästi kiinnitetty nostolaitteeseen ja jota käytetään nostolaitteen ja taakan välissä tai joka on kiinnitetty kuormaan, jotta siihen voidaan tarttua. Jokaiselle elementtityypille tulee käyttää vain kyseiselle elementtityypille soveltuvia nostoapuvälineitä. Nostoapuvälineet tulee tarkastaa silmämääräisesti aina ennen nostotyön aloittamista ja niiden kuntoa tulee tarkkailla koko nostotyön ajan. (Heiska & Koskenvesa 2007, 25, 27, 28.)

Elementtien asennus on asennuskohteessa tehtävää elementtien nostamista, siirtämistä, paikoilleen ohjaamista, väliaikaista tuentaa ja kiinnittämistä koskeva ja niihin liittyvä elementtirakentamisen työvaihe. Työmaalla tulee olla kirjallinen elementtiasennussuunnitelma, jota noudatetaan koko asennustyön ajan. Päätoteuttajan on varmistettava asennussuunnitelman olemassaolo. (Heiska & Koskenvesa 2007, 36.)

Ennen asennustyön aloittamista työnjohto ja työntekijät käyvät läpi elementtiasennussuunnitelman, työkohteen olosuhteet, tarvittavat materiaalit ja kaluston, elementtien toimitusaikataulun ja välitavoitteet, laadunvarmistuksen sekä työturvallisuusasiat. (Heiska & Koskenvesa 2007, 36.)

Kuiluelementit nostetaan elementin nostolenkkeihin kiinnitettävien lukkiutuvien kiinnituskoukkujen avulla. Kuiluelementit nostetaan suoraan kuormasta tai välivarastosta suunnitellussa asennusjärjestyksessä. Kuiluelementin noston loppuvaiheessa elementti ohjataan paikalleen asennuskangilla. Elementin paino lasketaan asennuspalojen varaan, vaarnatapid asetetaan kohdalleen ja elementti siirretään paikalleen. Asennuspalloilla säädetään elementin vaakasuoruus ja niiden tulisi olla 20 mm korkeat, jotta jälkivalu onnis-

tuu kunnolla. Sivusuunnassa elementin siirtäminen tapahtuu asennuskankien avulla. Nostoraksit irrotetaan elementistä vasta, kun elementin mahdollinen tuenta on tehty ja varmistettu. Nostoraksit irrotetaan eri puolelle elementtiä kuin missä asentaja on. Kiuuelementin nostoraksien irrotustyössä käytetään henkilönostimia, telineitä tai tikkaita. Nostoraksien ketjut pitää olla irrotusvaiheessa riittävän kireällä, jotta raksit eivät irrotessaan aiheuta vaaraa alapuolisille rakenteille tai asentajille. (Heiska & Koskenvesa 2007, 40-41.)

Betonielementit asennetaan kerros kerrallaan ja lopuksi elementtien saumat juotosvataan vanhaan rakenteeseen ja käytetyt nostolenkit katkotaan sekä niistä jäävät kolot paikataan. Kuvassa 7 on esitetty valmis elementtirakenne kiuuolosuhteissa. Rakenteen oikea reuna rajautuu kallioon.



KUVA 7. Valmis elementtirakenne P-Hämpin kiuussa, oikea reuna rajautuu kallioon

Työturvallisuus

Vaarojen arvioinnissa valitaan tarkasteltavat työvaiheet ja työnosat, määritetään miksi kyseinen työ vaatii erityistarkastelua, arvioidaan vaara jonkin määritetyn asteikon perusteella (esimerkiksi 1-5) ja päätetään miten vaara poistetaan tai minimoidaan (Heiska & Koskenvesa 2007, 16.)

Vaarojen arvioinnin tulee olla osa tuotannosuunnittelua. Elementtitöiden osalta vaarojen arviointi tehdään elementtien asennussuunnitelmassa. Asennussuunnitelman laatiminen on päätoteuttajan vastuulla, mutta myös suunnittelijan ja asennusurakoitsijan tulee osallistua asennussuunnitelman laatimiseen (Heiska & Koskenvesa 2007, 16.)

Suurimpia vaaratekijöitä elementtiasennuksessa ovat

- korkealla työskentely
- elementtien nostot
- telineillä tai nostimilla työskentely
- työmaalla syntyvät kuilut ja aukot
- tulityöt. (Heiska & Koskenvesa 2007, 16.)

Lisäksi vaaratekijöitä aiheutuu luonnollisesti erilaisten työvälineiden käytöstä.

Elementtiasennuksessa joudutaan työskentelemään lähes aina korkeissa paikoissa ja työ etenee usein niin nopeasti, ettei erillisiä putoamissuojarakenteita ole aina järkevää tai taloudellista rakentaa. Silloin, kun putoamissuojarakenteita ei ole ehditty rakentaa on asentajien huolehdittava henkilökohtaisesta putoamissuojauksesta, kuten esimerkiksi turvavaljaiden käyttö. (Heiska & Koskenvesa 2007, 16.)

Elementtien nostot tulee suunnitella huolellisesti etukäteen ennen varsinaisen asennustyön aloittamista. Nostotöistä laaditaan tarvittaessa nostosuunnitelma yleensä päätoteuttajan johdolla. Vaikeita nostotöitä varten on aina laadittava erillinen nostotyösuunnitelma, vaikeita nostotöitä ovat esimerkiksi raskaiden elementtien nostot ja nostot kahdella nosturilla. Nostoissa tulee käyttää kapasiteetilta riittävää nostokalustoa ja oikeita nosto- ja nostoapuvälineitä. Elementtejä nostettaessa paikoilleen on otettava huomioon, ettei nostoja tehdä työntekijöiden yli ja kulku nostoalueella estetään. Henkilönostot suunnit-

tellaan myös aina etukäteen. Henkilönostot ovat aina korkean riskin töitä (Heiska & Koskenvesa 2007, 18.)

Yli 0,5 m korkea työteline on varustettava nousutiellä ja, jos putoamiskorkeus on yli 2 m, tulee tasolla olla suojakaiteet, jossa on käsi- ja välijohde. Mikäli telineen ja seinän välinen rako on yli 0,25 m, on myös seinän puolella käytettävä suojakaidetta. Suojauskorkeuden tulee olla vähintään yksi metri ja tarvittaessa korkeutta on lisättävä (Heiska & Koskenvesa 2007, 22.)

Elementtirakenteen kustannukset

Elementtirakenteen kustannukset muodostuvat tarkastelun tässä vaiheessa elementeistä ja asennustöistä.

Elementtitöiden hintaan sisältyy

- asennussuunnitelman teko
- elementtien valmistus, tilaus ja vastaanotto
- nostokalusto, maksimissaan 90 t autonosturi
- elementtien kiinnitystarvikkeet
- elementtien asennus, hitsaus ja juotostyöt
- asentajien varusteet
- omien jätteiden siivous
- asennustyönjohtaja
- asennus- ja viikkoaikataulujen teko
- elementtien varastointifakit
- elementtien tuentakalusto.

Eräs urakoitsija jätti tarjouksen P-Hämpin kuiluelementteihin liittyen ja kyseinen urakoitsija myös sai urakan. Tästä tarjouksesta on laskettu soveltaen todelliseksi neliöhinnaksi 308 €/m². Taulukosta 3 nähdään kustannukset molemmille tarkasteltaville kuiluille. Kustannukset ovat alv 0 %. Hinnat on korjattu indeksillä siten, että 2010 on 100. Tarjous on heinä- elokuulta 2011, jolloin indeksi on 103,9 ja viimeisin eli 4/2013 on 107,1. Kustannuksiin on näin ollen lisätty indeksin muutos 3,2 %.

TAULUKKO 3. Elementtirakenteen kustannukset kuiluihin, alv 0 %

| | kokonaismäärä (m ²) | | €/m ² | Yhteensä (€/ alv 0 %) | |
|------------|---------------------------------|------|------------------|-----------------------|-----------|
| Kuilu 16.2 | | 1867 | 308 | | 575 036 € |
| Kuilu 31.1 | | 870 | 308 | | 267 960 € |

Elementtien asennuksessa aikaa kuluu kahteen kerrokseen eli noin kuuteen metriin viikon verran. Tämän avulla asennusajat muodostuvat näissä tarkasteltavissa kuiluissa taulukon 4 mukaisesti. Laskennassa oletetaan, että kolme metriä korkeat elementit menevät kerroksittain tasan kuilujen korkeuksien kanssa. Oletuksena on myös, etteivät elementtien juotosvalut hidasta asennustyötä oleellisesti. Laskelmat on tehty tämän hetken tiedon mukaan siitä, että elementtien asennus onnistuu yläkautta.

TAULUKKO 4. Asennusajat elementeille

| | Korkeus (m) | Työsaavutus (m/vko) | Kokonaisaika (vko), suluissa työpä | |
|------------|-------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| Kuilu 16.2 | 33 | 6 | 5,5 (28) | |
| Kuilu 31.1 | 29 | 6 | 4,8 (24) | |

3.3 Valuharkko

Betoniharkot ovat luonnonkiviaineksesta, sementistä ja vedestä valmistettuja mittatarkkoja rakennuselementtejä. Harkoissa voidaan kevennyksenä käyttää kevytsoraa. Mittatarkkuutensa ansiosta betoniharkot sopivat erinomaisesti moduulimitoitettuun rakentamiseen. Betoniharkkoja käytetään yleisesti perustuksissa, kellarin seinissä, ulko- ja väliseinissä, julkisivuissa, pilareissa, tukimuureissa ja aidoissa. Harkot ovat pakkasenkestäviä ja ne voidaan laskennallisesti mitoitaa joko 50 tai 100 vuoden käyttöiälle. Betoniharkot voidaan jakaa työmenetelmänsä puolesta muurattaviin betoniharkkoihin, ladottaviin valuharkkoihin sekä liimattaviin ja valettaviin nk. hybridiharkkoihin. (Mäki & Palolahti 2010, 16.) Tässä työssä on käytetty ladottavaa valuharkkojärjestelmää.

Valubetoniharkkojen avulla pystytään rakentamaan betonirakenteita ilman erillisiä muottirakenteiden pystytystä ja purkua. Ladottavien valuharkkojen korkeus on tyypillisesti 200 mm (2M). Seinäharkkojen pituus on tavallisesti 600 mm (6 M). Harkkoleveydet ovat 150 mm:ä ylöspäin käyttötarkoituksen mukaan. Lisäksi on saatavilla erilaisia täydentäviä harkkoja kuten kulmaharkot, päätyharkot, 1/3- ja 2/3-osaharkot katkaisutarpeen vähentämiseksi sekä aukkojen ylitysharkot. Näiden harkkotyyppien avulla rakenteen onteloverkosto saadaan tiiviiksi myös aukkojen ja kulmien kohdassa. Valuharkot ladotaan yleensä 200 mm:n (2M) limityksellä, joten valuharkkorakenteissa noudatetaan niin vaaka- kuin pystysuunnassa 2M-modulimitoitusta. (Mäki & Palolahti 2010, 16–17)

Valuharkot ladotaan päällekkäin ilman kiinnityslaastia kulmatukiin kiinnitettyjen linjalankojen avulla. Ensimmäisen harkkovarvin harkot asennetaan kiilojen avulla tarkalleen vaakasuoraan ja oikeaan korkoon. Ladonnassa kulmaharkot menevät kulmissa kerroksittain ristiin. Näin harkoissa olevat valuontelot muodostavat yhtenäisen ja tiiviin verkoston. Valuharkoissa on valmiit paikat raudoitusteräksille ja raudoitteet asennetaan paikoilleen harkkojen ladonnan yhteydessä, kuten kuvassa 8. Valuharkkoihin voidaan ja myös usein asennetaan lisäksi pystysuuntaisia raudoitteita, jolloin kestävyys vaakavoimia vastaan merkittävästi kasvaa. Raudoitteina käytetään SFS-standardien mukaisia betoniterästankoja, joiden paksuudet ovat yleensä 8...10 mm. Raudoitteet on sijoitettava betoniharkkojen onteloihin RakMkB9:n mukaisesti, jolloin betoni antaa raudoitteille riittävän suojan korroosiota vastaan. (Mäki & Palolahti 2010, 17-18.)



KUVA 8. Valuharkon raudoitusta (HB-Betoniteollisuus Oy)

Valuharkkorakenne tuetaan tarvittaessa ennen valua ja harkot kastellaan. Ontelot valetaan täyteen hyvin juoksevalla, notkistetulla tai itsetiivistyvällä betonimassalla, jonka lujuus tulee olla vähintään K30-2. Tällä pyritään varmistumaan siitä, että betonimassa varmasti kulkeutuu sujuvasti ja täyttää harkkojen ontelot täydellisesti. Harkot valetaan täyteen välipohjien tuilla ja seinän yläpäässä, muulloin työsauma suositellaan tekemään harkkokerroksen puoliväliin. Valu aloitetaan nurkista ja kiertäen edetään täyttymistä ja muottien mittojen pysyvyyttä tarkkaillen. Valettaessa massan korkeusero korkeintaan 0,5 m. Betonin valupurseiden poisto tehdään valun jälkeen esim. harjaamalla. Betonivalusta laaditaan työmaalla aina betonityösuunnitelma sekä betonointipöytäkirja, kuten paikallavalurakentamisessa. (Mäki & Palolahti 2010, 17-18.)

Betonimassa tilataan valmisbetonitehtaalta ja valetaan työmaalla pumpulla. Valun yhteydessä betonimassa tiivistetään huolellisesti sauvatäryttimellä joka toisesta harkon reiästä, jotta ylimääräinen ilma poistuu massasta ja rakenteesta tulee ilmanpitävä. Itsetiivistyvää betonimassaa ei nimensä mukaisesti tiivistetä. (Mäki & Palolahti 2010, 17.)

Valuharkkorakenteessa käytettävän valubetonin lujuuden sekä rasitusluokan määrittelee aina kohteen rakennesuunnittelija, kunkin rakenneosan vaatimuksen mukaan. Valetta-

van betonin runkoaineena tulee käyttää luonnonkiviainesta, jonka suurin raekoko saa olla enintään 16 mm. Betonimassan tulee olla notkeudeltaan vetelää tai nestemäistä (S3-S4). Harkkovalmistajat antavat tuotekohtaisia ohjeita betonin ominaisuuksista ja koostumuksesta. (Mäki & Palolahti 2010, 18.)

Talviolosuhteissa työskenneltäessä rakenne on suojattava jäätymiseltä, ennen kuin betoni on saavuttanut riittävän lujuuden. Muulloinkin betonirakenteen jälkihoitona suositellaan rakenteen seinäpintojen kevyttä kastelua ja /tai peittämistä. Jälkihoitoa suositellaan tehtäväksi 5 vuorokautta valun jälkeen. Jälkihoidon laiminlyönti saattaa heikentää betonin loppulujuutta oleellisesti. (Muottiharkko suunnittelu- ja työohje, 13.)

Kuvassa 9 on esitetty valmis valuharkkorakenne kuiluolosuhteissa. Kuvassa rakenteen vasen reuna rajautuu kallioon.



KUVA 9. Valmis valuharkkorakenne P-Hämpin kuilussa, vasen reuna rajautuu kallioon

Työturvallisuus

Valuharkkorakenteen toteuttamisessa korostuvat riskitekijät ovat

- Raudoitus
- korkealla työskentely kuiluolosuhteissa
- telineiden ylikuormitus harkkojen painosta johtuen
- betonointi
- työergonomia harkkoja ladottaessa.

Kaikki edellä mainitut riskitekijät ovat poistettavissa työn huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella.

Valuharkon kustannukset

Valuharkkorakenteen kustannukset tässä vaiheessa koostuvat

- harkoista
- betonimassasta
- raudoitusteräksistä
- valu- ja raudoitustöistä.

Kaikki hinnat ovat sovellettuja erinäisten urakoitsijoiden Lemminkäiselle P-Hämpin työmaalle tarjotuista ja toteutuneista hinnoista. Työn ja materiaalin kustannukset on laskettu taulukoissa 5 ja 6. Kustannukset on korjattu indeksillä siten, että 2010 on 100. Kustannukset ovat elokuulta 2011, jolloin indeksi oli 103,9 ja tämän hetkinen 4/2013 tilanne on 107,1. Näiden avulla kertoimeksi on saatu 3,2. Kaikki hinnat ovat myös alv 0 %.

Kustannuksia laskettaessa on käytetty HB-Betoniteollisuus Oy:n 600x200x200 mm valuharkkoja. Harkot ovat erittäin tarkkamittaisia, hyvin ääntä eristäviä ja soveltuvat mainiosti kantaviin rakenteisiin. soveltuvuutta kantaviin rakenteisiin kuvaa jo se, että yksi kappale näitä harkkoja painaa 17,1 kg ja yksi neliö valmista valettua seinää painaa 517 kg. (HB-Betoniteollisuus Oy.)

Laskelmissa käytetty betonimassa on lujuudeltaan K35-2 ja maksimiraekoko 16 mm. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta, karbonatisoitumisen aiheuttama betoniraudoituksen

korroosio luokka XC3 ja notkeus S2. Raudoitusteräket ovat halkaisijaltaan 10 mm A500HW ja ne on laskettu siten, että sekä pysty- että vaakasuuntaan tulee vierekkäin kaksi terästä K200 jaolla.

Valu- ja raudoitustyöt sisältävät työn suorittamiseen tarvittavat työkalut, kurottajan ja aputyöt. Valukertojen kestoa pitkittää hieman se, että betonointi täytyy suorittaa noin puoleenväliin asti kokonaiskorkeudesta alakautta eli tunnelista betonimassan kiviaineksen erottumisen estämiseksi.

TAULUKKO 5. Kuilun 16.2 valuharkkorakenteen kustannukset, alv 0 %

| Kuilu 16.2 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|-----------------------------|--------|----------------|----------------|------------------|
| Valuharkko 600x200x200 | 1867 | m ² | 15 | 28 005 € |
| Asemus (alihankinta) | 1867 | m ² | 44 | 82 148 € |
| Raudoitusteräket T10 A500HW | 25 354 | kg | 0,65 | 16 480 € |
| Betonimassa | 261 | m ³ | 100 | 26 140 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massa | | | | |
| - kuljetus | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 36 | kpl | 420 | 15 120 € |
| | | | | 167 893 € |

TAULUKKO 6. Kuilun 31.1 valuharkkorakenteen kustannukset, alv 0 %

| Kuilu 31.1 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|-------------------------------|--------|----------------|----------------|-----------------|
| Valuharkko 600x200x200 | 870 | m ² | 15 | 13 050 € |
| Asennus (alihankinta) | 870 | m ² | 44 | 38 280 € |
| Raudoitusterätkset T10 A500HW | 11 809 | kg | 0,65 | 7 676 € |
| Betonimassa | 122 | m ³ | 117 | 14 274 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massa | | | | |
| - kuljetus | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 48 | kpl | 420 | 20 160 € |
| | | | | 93 440 € |

| Hierarkia | Selite | Kesto | 2013 | | |
|-----------|---------------------------|-------|----------|-----|---------|
| | | | Toukokuu | | Kesäkuu |
| | | | 22 | 23 | 24 |
| 1 | Harkkorakenne, kuilu 16.2 | 30 pv | | 1 | |
| +1.1 | Harkkojen latominen | 28 pv | | 1.1 | |
| +1.2 | Harkkojen betonointi | 28 pv | | 1.2 | |
| 1.3 | Siivous | 1 pv | | | |
| 2 | Harkkorakenne, kuilu 31.1 | 27 pv | | 2 | |
| +2.1 | Harkkojen latominen | 25 pv | | 2.1 | |
| +2.2 | Harkkojen betonointi | 25 pv | | 2.2 | |
| 2.3 | Siivous | 1 pv | | | |

KUVA 10: Valuharkkorakenteen rakentamiseen tarvittava aikataulu kuiluissa

Kuvassa 10 on esitetty osa valuharkkorakenteen aikataulusta molempiin kuiluihin. Kuilussa 16.2 jatkuu kuvassa esitetty viikkoaikataulutus kuusi viikkoa ja vastaavasti kuilussa 31.1 5,5 viikkoa. Aikataulu löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 4. Työajat molempiin kuiluihin on esitetty kuvassa 8 sillä oletuksella, että molempia kuiluja tehdään yhtä aikaa kahden työryhmän voimin.

3.4 Teräsrakenne

Teräsrakenne on myös yksi mielenkiintoinen vaihtoehto kuilun rakentamiselle. Rakenteessa korostuu materiaalista johtuen korkeampi esivalmistusaste muihin jo käsiteltyihin rakenteisiin nähden. Tämä tarkoittaa siis sitä, että kuiluun tuleva teräsrakenne kyetään valmistamaan jo tehtaalla lähes lopulliseen muotoonsa, jolloin työmaalla jää tehtäväksi ainoastaan osien kasaaminen ja asentaminen kuiluun.

Teräsrakenteen heikkouksia tarkastellessa esiin tulevat kestävyysominaisuudet. Teräksestä on vaikea ja kallis saada yhtä jäykkä ja kestävä rakenne kuin esimerkiksi elementistä tällaisissa olosuhteissa. Tämä tulee tässä tapauksessa esille konkreettisesti siinä, että korroosion takia maakerroksen alueella teräsrakenteen ainevahvuuden tulee olla niin suuri, ettei se vuosien kuluessa heikkene liikaa ruostuessaan. Tämä ongelmakohta tulee esiin siis siinä pisteessä, kun louhittu kallio loppuu ja maakerrokset alkavat. Korroosio on myös osittain ongelmana kallion osalla, mutta haitat eivät ole niin suuret. Tästä syystä lopullisen rakenteen on oltava yhdistelmä rakenne teräksen ja jonkin aiemmin tässä työssä esitellyn rakenteen kanssa maakerrosten osalta. Tässä tapauksessa toiseksi rakennetyypiksi on valittu paikallavalurakenne, koska se kestää parhaiten maanpaineen ja ulkopuolisen tärinän vaikutuksen tällaisissa olosuhteissa pitkällä aikavälillä. Lisäksi verrattuna esimerkiksi valuharkkorakenteeseen työn turvallisuuden ja toteuttamisen kannalta, paikallavalurakenteessa tilapäisen työtason ei tarvitse olla yhtä tukeva alhaisemman kuormituksen ansiosta. Tämä johtuu siitä, että valuharkkorakenteessa harkkoja joudutaan nostelemaan tälle työlavalle, jolloin lavan kuormitus kasvaa oleellisesti paikallavaluun verrattuna.

Teräsrakenteessa hissien kiinnityspalkit on mahdollista kiinnittää vain rungon kohtaan. Tämä helpottaa palkkien kiinnitystä muihin rakenteisiin verrattuna, mutta myös samalla asettaa suunnittelulle ja toteutukselle tarkat mitoitusrajat. Valmis teräsrakenne kuiluolosuhteissa on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Valmis teräsrakenne P-Hämpin kuilussa

Työturvallisuus

Teräsrakenteen työturvallisuutta tarkasteltaessa riskitekijöiksi muodostuvat

- korkealla työskentely kuiluolosuhteissa
- tulityöt
- telineiden käyttö
- rakenteiden nostotyöt.

Tulitöillä tarkoitetaan tässä tapauksessa lähinnä tehtaalla valmistettujen osien mahdollisia muutoksia tai rakenteiden viimeistelyä työmaalla, eli esimerkiksi hiomis- ja hitsaus töitä. Näissä toimenpiteissä täytyy varmistua siitä, etteivät alapuolella tai ympärillä olevat muut rakenteet syty palamaan. Tähän päästään alueiden suojaamisella ja jälkivarti oinnilla. Työn tekijöillä tulee luonnollisesti olla voimassa oleva tulityökortti ja yleensä pääurakoitsijan myöntämä tulityölupa, jotta tulitöitä voidaan tehdä. Teräsrakenneosat kiinnitetään työmaalla lähtökohtaisesti pulttiliitoksien, joten tästä työvaiheesta ei pitäisi syntyä tulitöitä.

Teräsrakenteen kustannukset

Teräsrakenteen kustannukset koostuvat teräsmateriaalista ja asennuksesta. Teräsrakenteille on tehty käsittelynä hiekkapuhallus sekä pohja- ja pintamaalaus.

Teräsrakenne käsittää

- pystyputket
- vaakaputket
- peltiverhoilun
- ovikehykset
- asennuksen hitsaamalla
- nostot.

Taulukkoon 7 on laskettu molempien kuilujen kustannukset siten, että teräsrakenne loppuu kallion tasolle ja loppuosa kuilusta rakennetaan käyttämällä paikallavalurakennetta. Tämä siksi, että paikallavalurakenne soveltuu parhaiten maanpainetta ja kulutusta vastaan tässä tapauksessa. Teräsrakenteen kustannus on saatu erään urakoitsijan tekemästä tarjouksesta P-Hämpin työmaalle. Paikallavaluosuuden kustannus on laskettu hyödyntäen tässä työssä jo aiemmin käytettyjä yksikköhintoja. Paikallavaluosuuden hinnat on korjattu indeksillä siten, että 2010 vastaa 100. Tarjous on heinä-elokuulta, jolloin indeksi oli 103,9 ja tällä hetkellä 4/2013 indeksi on 107,1. Näistä on saatu kertoimeksi 3,2.

TAULUKKO 7. Kuilun 31.1 teräsrakenteen kustannus, alv 0 %

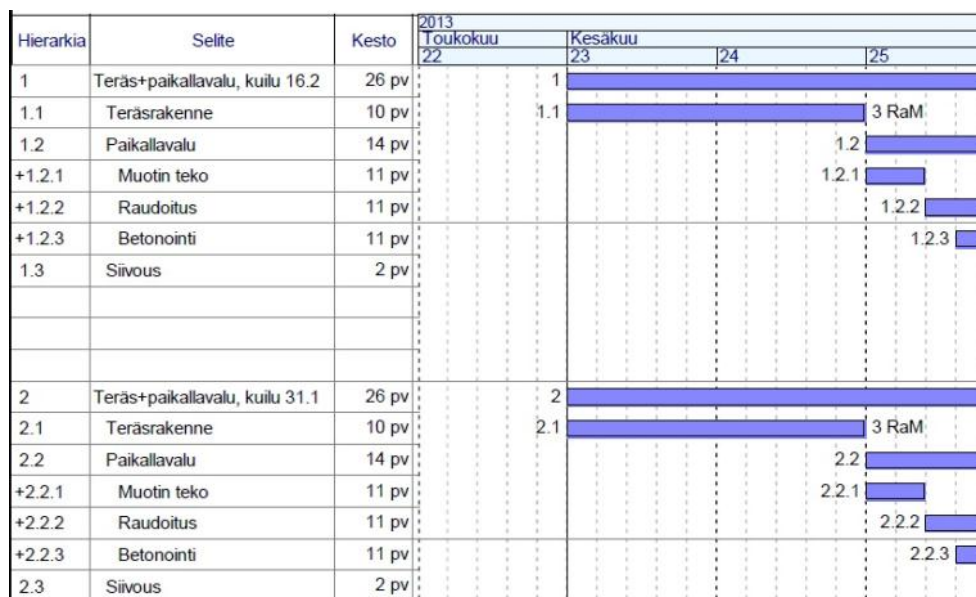
| Kuilu 31.1 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Kustannus |
|--------------------------------|-------|-------------------|----------------|------------------|
| Teräsrakenne (alihankinta) | | | | 106 625 € |
| Paikallavalutyöt (alihankinta) | 54 | m ³ | 915 | 49 410 € |
| - raudoituksen | 100 | kg/m ³ | | |
| - muottityö | 720 | m ² | | |
| Betoni | 54 | m ³ | 93 | 5 022 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massa | | | | |
| - kuljetus | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 16 | kpl | 420 | 6 720 € |
| | | | | 167 777 € |

TAULUKKO 8. Kuilun 16.2 teräsrakenteen kustannus, alv 0 %

| Kuilu 16.2 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Kustannus |
|--------------------------------|-------|-------------------|----------------|------------------|
| Teräsrakenne (alihankinta) | | | | 124 950 € |
| Paikallavalutyöt (alihankinta) | 109 | m ³ | 915 | 99 735 € |
| - Raudoitus | 100 | kg/m ³ | | |
| - muotittyo | 1320 | m ² | | |
| Betonimassa | 109 | m ³ | 90 | 9 810 € |
| Sisältää: | | | | |
| - massa | | | | |
| - kuljetus | | | | |
| - pumppaus | | | | |
| Hissin kiinnityspalkit | 12 | kpl | 420 | 5 040 € |
| | | | | 239 535 € |

Kuilussa 16.2 on laskettu, että paikallavalurakenne toteutetaan kahdessa eri osassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakenteen ulkokuori rakennetaan ensin täysin valmiiksi ja vasta tämän jälkeen rakennetaan sisäpuoliset seinät. Tästä syystä kustannukset on betonin osalta jaoteltu kahteen eri osioon.

Kuvassa 12 on esitetty osa teräsrakenteen aikataulutuksesta. Molemmissa kuiluissa työ etenee siten, että teräsrakenne rakennetaan ensin kahdessa viikossa kallion ja maakerroksen rajalle. Tämän jälkeen maakerroksen osuudelle rakennetaan paikallavalurakenne kuvan mukaisesti jatkuen noin kolmen viikon ajan. Aikataulu löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 5.



KUVA 12. Teräsrakenteen rakentamiseen tarvittavat aikataulut molempiin kuiluihin

4 RAKENTAMISEN EDELLYTTÄMIEN APULAITTEIDEN VERTAILU

4.1 Kehäteline

Kehäteline on yleinen valinta muun muassa julkisivu-, katto- sekä maalaustöihin. Se soveltuu tässä tapauksessa myös maanalaisten kuilujen rakentamiseen. Teline koostuu elementtiosista ja ne ovat täysin yhteensopivia keskenään ja muunneltavissa riippuen siitä, millainen teline kulloinkin tarvitaan. Tässä työssä on käytetty vertailussa Telinekattajan toimittamaa/maahantuomaa saksalaista Wilhelm Layher GmbH:n Allround-telinejärjestelmää. (kuva 13)

Layher Allroundin sydän on kiilaliitos ja sen avulla pystytään takaamaan

- aina varmasti suorakulmaiset liitokset
- kahdeksan vaaka- tai vinoliitääntä samassa tasossa
- asennus ilman mittaamista, pultteja tai ruuveja
- nopea ja turvallinen asennus, vaikka yksin
- selkeä, helposti omaksuttava tekniikka. (Layher Allround -telinejärjestelmä.)

Allround -telineet valmistetaan teräksestä ja alumiinista. Telineleveydet voivat olla väliltä 0,45 - 4,14 m ja työtasojen pituudet vastaavasti 0,73 - 4,14 m. Telineiden sallittu kuormitus on aina kuormaluokkaan kuusi asti (6,0 kN/m²).

(Layher Allround -telinejärjestelmä.)

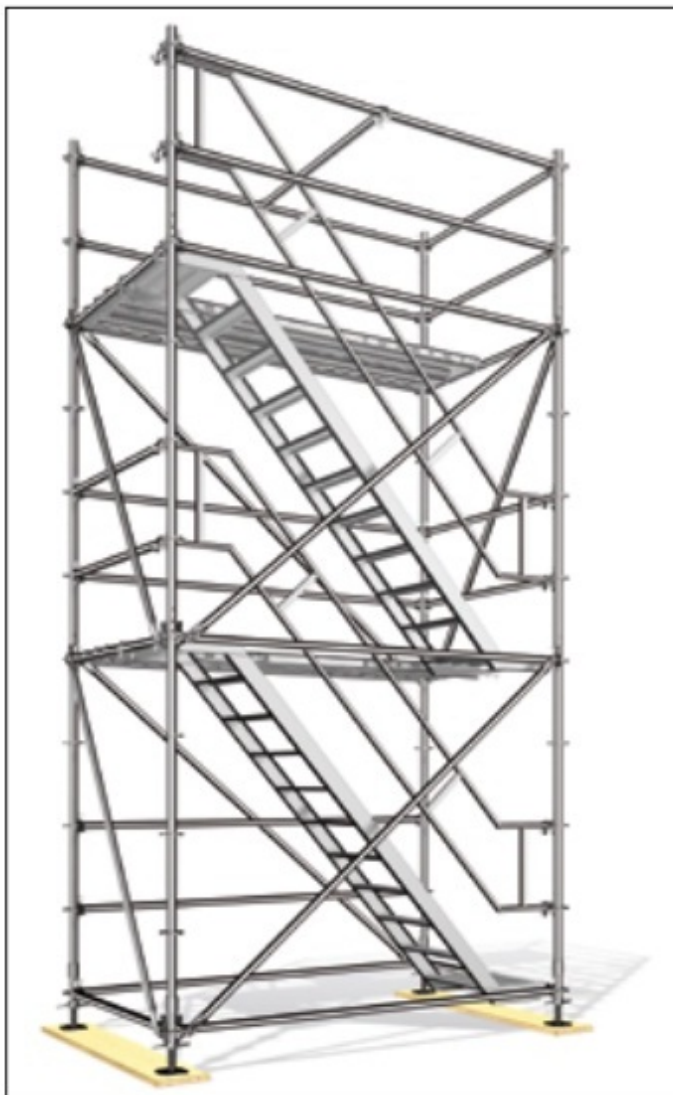
Työturvallisuus

Allround -telinejärjestelmä täyttää kaikki työturvallisuusnormit. Tukevalla telineellä työ nopeutuu, jälki paranee ja vahinkojen määrä vähenee. (Layher Allround -telinejärjestelmä).

Korkealle ulottuvissa telineissä on aina riski kaatumiselle tuulen tai jonkin muun vastaavan vaikutuksesta, mutta tässä tapauksessa kuilua rakentaessa tämä riskitekijä poistuu. Tämä johtuu siitä, että tuulta ei ole ja teline pystytetään niin lähelle kantavia seinämiä ettei telineellä ole yksinkertaisesti tilaa kaatua oikein asennettuna. Tämä ei kuitenkaan poista mahdollisuutta työntekijän putoamiseen telineeltä tai kiilautumiseen työn

aikana, joten tärkeimmäksi tekijäksi muodostuvat asianmukaiset suojakaiteet sekä tarvittaessa työntekijän henkilökohtaisen putoamissuojauksen varmistaminen esimerkiksi putoamisvaljailla. Turvallisen työskentelyn varmistamiseksi tulee myös varmistua siitä, ettei telineen kuormitusrajoitusta ylitetä. Telineelle on tehtävä pystytyksen jälkeen käyttöönottotarkastus.

Työturvallisuuslain (738/2002) mukaan käyttöönottotarkastus on tehtävä ennen työvälineen ensimmäistä tai turvallisuuden kannalta merkittävän muutoksen tai uuteen paikkaan asentamisen jälkeistä käyttöönottoa tai jos laite otetaan uudelleen käyttöön sen oltua pitkään käyttämättömänä. Käyttöönottotarkastuksessa varmistetaan, että työväline on asennettu 3 §:ssä säädettyjen ohjeiden mukaisesti oikein ottaen huomioon työvälineen käyttötarkoitus, sen kulkuteiden ja hoitotasojen asianmukaisuus sekä hallinta- ja turvalaitteiden oikea toiminta.



KUVA 13. Layher Allround -telinejärjestelmä (Telinekatataja 2013)

Kehätelineen kustannukset

Kehätelineen kustannukset muodostuvat

- Tarvikkeiden kuljetuksesta
- Asennustyöstä (2 RAM)
- vuokrasta
- purkutöistä (2 RAM).

Kustannukset on kuvattu taulukoissa 9 ja 10 siten, että ensin on laskettu kulut telineen pystyttämiseksi kuiluun. Tämän jälkeen tähän kiinteään summaan on lisätty jokaisen rakenteen rakentamisen kestosta aiheutuneet telinevuokratulot. Hinnat on korjattu indeksillä vastaamaan 4/2013 tilannetta siten, että 2010 on 100. Hinnat ovat kesäkuulta 2012, jolloin indeksi oli 106,1 ja nykytilanteessa 4/2013 indeksi on 107,1. Kertoimeksi on saatu näin ollen 1 %.

TAULUKKO 9. Kuilun 16.2 kustannus kehätelinettä käytettäessä, alv 0 %

| Kuilu 16.2 | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä | |
|--|-------|---------|----------------|----------------|------------------|
| Kuljetus | 1 | erä | 150 | | 150 € |
| Asennus 2 RAM | 120 | h | 35 | | 4 200 € |
| Purku 2 RAM | 62 | h | 35 | | 2 170 € |
| | | | | | 6 520 € |
| Telinevuokra kokonaisuudessaan jokaiselle rakenteelle (sis. viikonloput) | | | | | |
| | | | | Kiinteät kulut | Kustannus |
| Paikallavalu | 90 | pv | 63 | 6 520 € | 12 150 € |
| Elementtirakenne | 50 | pv | 63 | 6 520 € | 9 634 € |
| Valuharkkorakenne | 54 | pv | 63 | 6 520 € | 9 886 € |
| Teräsrakenne | 48 | pv | 63 | 6 520 € | 9 508 € |

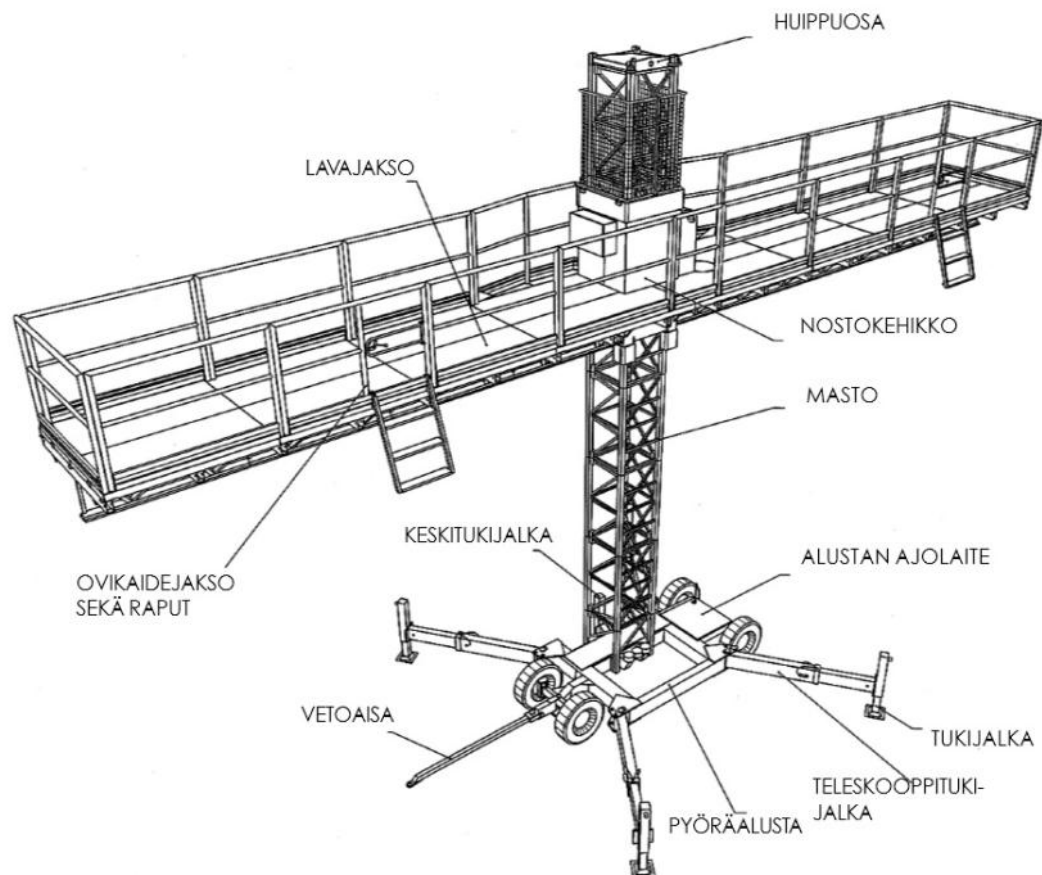
TAULUKKO 10. Kuilun 31.1 kustannus kehätelinettä käytettäessä, alv 0 %

| Kuilu 31.1 | | määrä | Yksikkö | Yks. hinta (€) | | Yhteensä |
|--|--|-------|---------|----------------|----------------|------------------|
| Kuljetus | | 1 | erä | 150 | | 150 € |
| Asennus 2 RAM | | 96 | h | 35 | | 3 360 € |
| Purku 2 RAM | | 32 | h | 35 | | 1 120 € |
| | | | | | | 4 630 € |
| Telinevuokra kokonaisuudessaan jokaiselle rakenteelle (sis. viikonloput) | | | | | | |
| | | | | | Kiinteät kulut | Kustannus |
| Paikallavalu | | 79 | pv | 63 | 4 630 € | 9 600 € |
| Elementtirakenne | | 40 | pv | 63 | 4 630 € | 7 146 € |
| Valuharkkorakenne | | 45 | pv | 63 | 4 630 € | 7 461 € |
| Teräsrakenne | | 44 | pv | 63 | 4 630 € | 7 398 € |

4.2 Mastonostin

Mastonostin on suunniteltu työkalujen, rakennustarvikkeiden sekä työntekijöiden nostamiseksi eri korkeuksilla tapahtuvaa työskentelyä varten. Laitteen ohjaus tapahtuu lavatasolta hätäpysäytyspainikkeella varustetun kauko-ohjaimen avulla (Käyttöohjekirja 2002, 3.)

Tässä työssä vertailun kohteeksi on valittu SCANCLIMBER OY:n valmistama SC5000-mastolava. Nostimen kokonaisuus koostuu alustasta, mastojaksoista sekä lavajaksoista (kuva 14). Viimeisenä mainitut kiinnitetään nostokehikkoon.

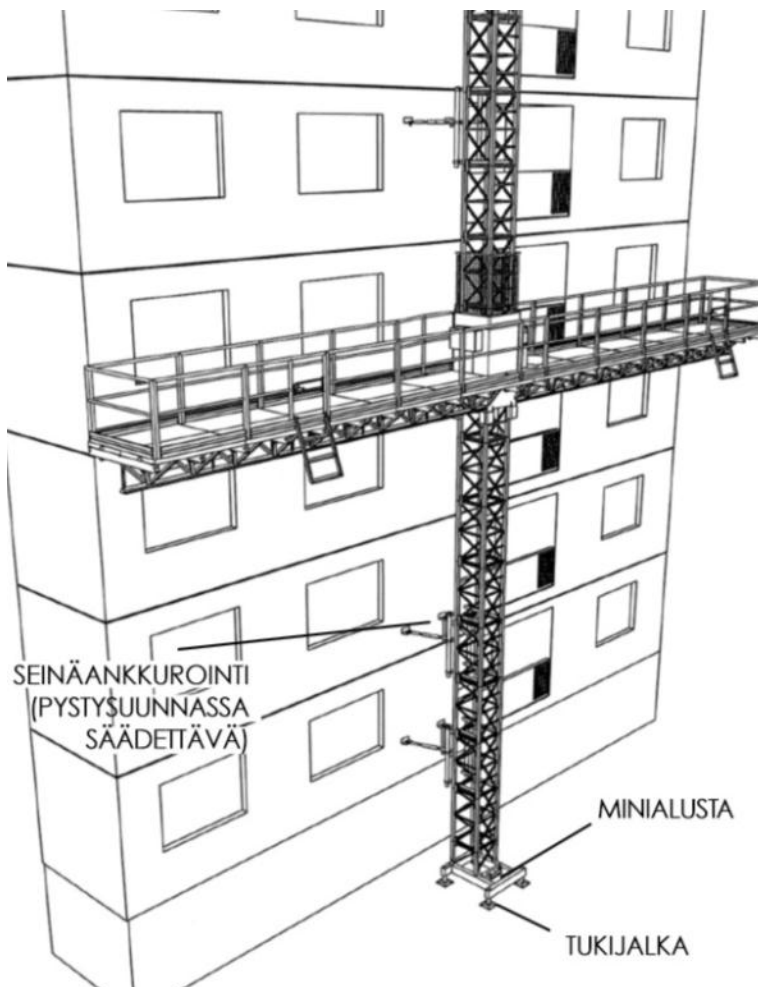


KUVA 14. Mastonostin SC5000 pyöräalustalla (Käyttöohjekirja 2002, 3)

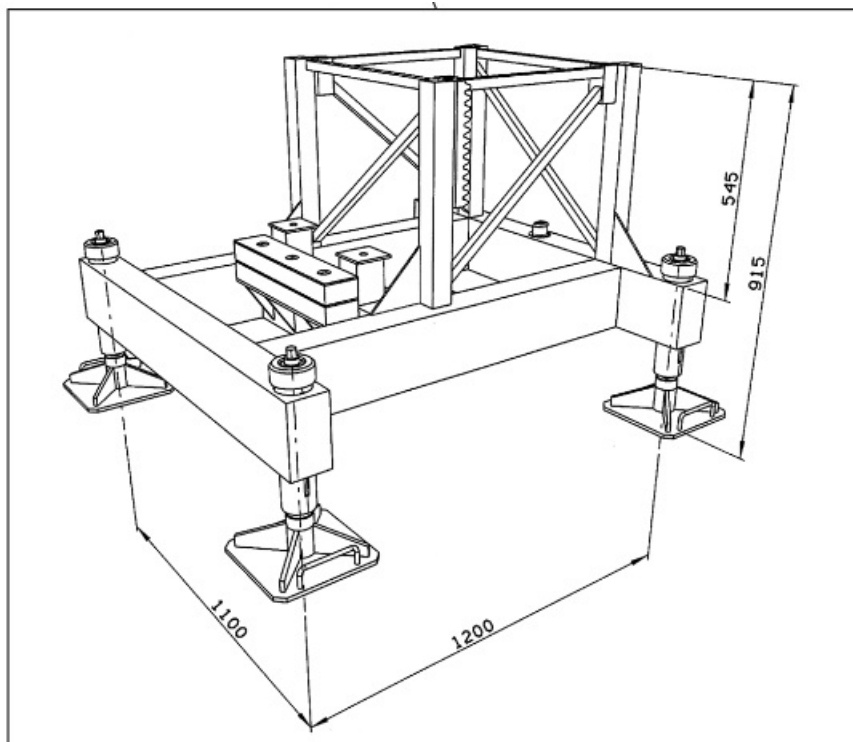
Pyöräalusta koostuu yhteenhitsatuista teräskehikoista, jossa on neljä pyörää, neljä ulosvedettävää pystytuina varustettua teleskooppitukijalkaa alustan ja maston pystytystä varten. Pyöräalusta voidaan varustaa ajolaitteella, joka mahdollistaa laitteen siirron työmaa-alueella. Mastolavaa voidaan hinata työmaa-alueella myös vetoaisan avulla. (Käyttöohjekirja 2002, 3.)

Teräsristikkorakenteiset sinkityt mastojaksot asennetaan pulttikiinnitysten avulla toinen toisensa päälle. Mastojakson yhdellä sivulla on hammastanko, joka yhdessä hammasvaihteiden kanssa mahdollistaa työalavan noston ja laskun. Maston huipulle asennettava huippuosa toimii sekä mekaanisena nostorajana, että maston tai koko nostolavan nostokorvakkeena. Korvakkeen nostokapasiteetti on 5500 kg. (Käyttöohjekirja 2002, 4.)

Pyöriäalustaisen maston vapaa seisontakorkeus on rajoitettu. Seinäankkurien avulla on mahdollista saavuttaa jopa 100 m korkeus. Ahtaita ja kapeita työpaikkoja varten on suunniteltu myös minialusta (kuva 15). (Käyttöohjekirja 2002, 4.) Tässä tapauksessa joudutaan todennäköisesti ainakin toisessa hissikuilussa 31.1 käyttämään tätä minialustaa, jonka mitoitusarvot ovat näkyvissä kuvassa 16. Lisäksi lavan koko vaikuttaa suuresti ahtaisiin tiloihin siirryttäessä.



KUVA 15. Mastonostin SC5000 minialustalla (Käyttöohjekirja 2002,4)



KUVA 16. Minialusta mitoituksin (Käyttöohjekirja 2002,7)

Työturvallisuus

Mastonostimen työturvallisuuteen liittyen on huomioitava, että

- Laitetta saavat käyttö- ja teknisen henkilöstön lisäksi käyttää vain henkilöt, jotka ovat valtuutettuja vastaavien laitteiden käyttöön.
- Tarkoitukseton käyttö ja/tai sallitun hyötykuorman ylitys on kielletty.
- Laitteella työskenneltäessä kaikki kaiteet on asennettu hyvin paikoilleen ja niiden kiinnitys on varmistettu.
- Asiaton oleskelu koneen työskentelyalueella asennuksen ja käytön aikana on estetty.
- Kuorma ei saa ulottua lavan reunan yli ja että tavaroiden liikkuminen lavatasolla on estetty.
- Tukijalkojen alusta on riittävän kantava ja maston ankkurointi oikeaoppinen.
- Laitteen tarkastukset on tehty, kuten pystytys- ja päivittäistarkastus (kuva 17).
- Lavalle saa mennä ja sitä voidaan lastata vain sen ollessa paikallaan alimmassa asennossa. Sama koskee myös lavalta poistumista.

- lavan tai maston asennus- ja purkutyö lavalla työskentelyn aikana on kielletty
- lavan asennukseen ei saa käyttää vahingoittuneita osia. Myöskään huonosti toimivaa nostomekanismia ei tule käyttää. (Käyttöohjekirja 2002, 3-4.)

PÄIVITTÄISTARKASTUS

- | | |
|--|------------------------------------|
| - MAAPERÄNTARKASTUS | - KAUKO-OHJAUSLAITE |
| - TUKIJALAT | - SÄHKÖKAAPELIT |
| - VAAITUS | - TYÖLAVAN KIINNITYKSET JA KAITEET |
| - HÄTÄPYSÄYTYS | - RAJAKATKAISIJOIDEN TOIMINTA |
| - HÄTÄLASKU | - OHJAUSPYÖRÄT |
| - HAMMASPYÖRÄN- JA TANGON KOSKETUSPINNAT SEKÄ NIIDEN KUNTO | - TURVAJARRU |
| | - TYÖSKENTELYALUE |
| | - MASTOJAKSOT JA KIINNITYSPULTIT |

KUVA 17. Mastonostimen päivittäistarkastuksen asialista (Käyttöohjekirja 2002, 27)

Mastonostimen kustannukset

Mastonostimen kustannuksia selvitetessä on vaihtoehtona joko nostimen vuokraus tai itselle ostaminen. Ennen päätöstä tulee miettiä tarkkaan kuinka paljon käyttöä tulevaisuudessa todellisuudessa on kyseiselle nostimelle, sillä hankintahinta on korkeahko. Käytetyt hinnat ovat nykytilannetta vastaavia.

Eräs yritys antoi tarjouksen SC5000 nostimesta ja kokonaishinnaksi näihin kahteen tarkastettavaan kuiluun soveltuvin varustein muodostui 80 471,6 €. Tähän hintaan sisältyy varusteita siten, että työskentely on mahdollista 30 metriin asti ja eripituisista lavajaksosta saa maksimissaan lavapituudeksi 10,5 m.

Tässä vaiheessa todennäköisin hankintavaihtoehto on nostimen vuokraus alan liikkeestä. Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty vuokrauksesta aiheutuvat arvioidut kustannukset jokaisen rakennetyypin toteuttamiseksi. Laskelmissa huomioidaan se, että maston pysytys ja purku vie kumpikin noin yhden työpäivän. Kuukausivuokrahinta sisältää kaiken tarpeellisen minialustasta lähtien näiden kahden tarkasteltavan kuilun sujuvaan toteuttamiseen.

TAULUKKO 11. Kuilun 16.2 kustannukset mastonostinta käytettäessä, alv 0 %

| Kuilu 16.2 | Vuokra-aika | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|---------------------|-------------|---------|----------------|------------|
| Paikallavalurakenne | 3 | kk | 1500 | 4 500,00 € |
| Elementtirakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |
| Valuharkkorakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |
| Teräsrakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |

TAULUKKO 12. Kuilun 31.1 kustannukset mastonostinta käytettäessä, alv 0 %

| Kuilu 31.1 | Vuokra-aika | Yksikkö | Yks. hinta (€) | Yhteensä |
|---------------------|-------------|---------|----------------|------------|
| Paikallavalurakenne | 3 | kk | 1500 | 4 500,00 € |
| Elementtirakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |
| Valuharkkorakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |
| Teräsrakenne | 2 | kk | 1500 | 3 000,00 € |

Kustannuksista voidaan huomata, että ne ovat samansuuruiset molemmissa kuiluissa kokoeroista huolimatta. Tämä johtuu siitä, että mastonostimen vuokralaskutus on kuukauden välein, eikä kuilujen rakentamisnopeudessa kokoerosta huolimatta esiinny eroja kuukausitasolla. Taulukossa 11 on huomioitu oletus, että mastonostin joudutaan kasamaan ja purkamaan kolme kertaa kuilussa 16.2 koska se on niin laaja, etteivät rakennustyöt onnistu yhdeltä paikalta. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää esimerkiksi kahta tai kolmea mastonostinta yhtä aikaa mikäli aikataulu on tiukka, mutta tässä tapauksessa tarkastellaan tilannetta yhdellä nostimella.

5 KUSTANNUSVERTAILU

5.1 Kustannusvertailun perusteet

Kustannusvertailun perustaksi on valittu kaksi erilaista kuilua, joihin molempiin on tehty neljän eri rakenteen vertailu. Lisäksi työn toteuttamiseksi vaadittavan kehätelineen tai mastonostimen kustannukset ja aikataulut on otettu vertailuun mukaan.

Kustannusvertailussa on taulukoitu rakenteiden kokonaiskustannukset sisältäen myös joko telineet tai mastonostimen (taulukot 13 ja 14). Lisäksi työn tekemiseen vaadittava työaika eri menetelmillä on esitettyä (taulukot 15 ja 16). Taulukoiden avulla on pyritty antamaan mahdollisimman selkeä vertailtavuus eri rakenteiden kokonaiskustannusten ja työn keston välillä.

5.2 Tulosten yhteenveto

Taulukossa 13 on esitetty kuilun 16.2 kokonaiskustannukset sekä mastonostimella, että kehätelineellä. Taulukossa 14 on nähtävissä vastaavasti kuilun 31.1 kokonaishinnat mastonostimella ja kehätelineellä.

Taulukoissa 15 ja 16 on esitetty kokonaisrakennusaikojen vertailu molempiin kuiluihin eri menetelmiä ja mastonostinta tai kehätelinettä käyttäen.

TAULUKKO 13. Kuilun 16.2 kustannusvertailu mastonostimella ja kehätelineellä

| Kuilu 16.2, kustannusvertailu mastonostimella | | | | |
|--|-----------------|---------------------|------------------|--|
| Rakennetyyppi | Rakenteen hinta | Mastonostimen hinta | Yhteensä | |
| Paikallavalurakenne | 613 757 € | 4 500 € | 618 257 € | |
| Elementtirakenne | 575 036 € | 3 000 € | 578 036 € | |
| Valuharkkorakenne | 167 893 € | 3 000 € | 170 893 € | |
| Teräsrakenne | 239 535 € | 3 000 € | 242 535 € | |
| Kuilu 16.2, kustannusvertailu kehätelineellä | | | | |
| Rakennetyyppi | Rakenteen hinta | Kehätelineen hinta | Yhteensä | |
| Paikallavalurakenne | 613 757 € | 12 150 € | 625 907 € | |
| Elementtirakenne | 575 036 € | 9 634 € | 584 670 € | |
| Valuharkkorakenne | 167 893 € | 9 886 € | 177 779 € | |
| Teräsrakenne | 239 535 € | 9 508 € | 249 043 € | |

TAULUKKO 14. Kuilun 31.1 kustannusvertailu mastonostimella ja kehätelineellä

| Kuilu 31.1, kustannusvertailu mastonostimella | | | | |
|--|-----------------|---------------------|------------------|--|
| Rakennetyyppi | Rakenteen hinta | Mastonostimen hinta | Yhteensä | |
| Paikallavalurakenne | 371 640 € | 4 500 € | 376 140 € | |
| Elementtirakenne | 267 960 € | 3 000 € | 270 960 € | |
| Valuharkkorakenne | 93 440 € | 3 000 € | 96 440 € | |
| Teräsrakenne | 167 777 € | 3 000 € | 170 777 € | |
| Kuilu 31.1, kustannusvertailu kehätelineellä | | | | |
| Rakennetyyppi | Rakenteen hinta | Kehätelineen hinta | Yhteensä | |
| Paikallavalurakenne | 371 640 € | 9 600 € | 381 240 € | |
| Elementtirakenne | 267 960 € | 7 146 € | 275 106 € | |
| Valuharkkorakenne | 93 440 € | 7 461 € | 100 901 € | |
| Teräsrakenne | 167 777 € | 7 398 € | 175 175 € | |

TAULUKKO 15. Kuilun 16.2 rakennusaikojen vertailu

| Rakennusajat päivinä (sis. telineiden/nostimen pystytyksen ja purun 3 krt) | | | | | |
|---|--|----|-----------------|----|----------------|
| Kuilu 16.2 | | | | | |
| | | | Mastonostimella | | Kehätelineellä |
| | | | kuilu 16.2 | | kuilu 16.2 |
| Paikallavalurakenne | | 62 | | 68 | |
| Elementtirakenne | | 34 | | 40 | |
| Valuharkkorakenne | | 36 | | 42 | |
| Teräsrakenne | | 32 | | 38 | |

TAULUKKO 16. Kuilun 31.1 rakennusaikojen vertailu

| Rakennusajat päivinä (sis. telineiden/nostimen pystytyksen ja purun) | | | | | |
|---|--|----|-----------------|----|----------------|
| Kuilu 31.1 | | | | | |
| | | | Mastonostimella | | Kehätelineellä |
| | | | kuilu 31.1 | | kuilu 31.1 |
| Paikallavalurakenne | | 53 | | 59 | |
| Elementtirakenne | | 26 | | 32 | |
| Valuharkkorakenne | | 29 | | 35 | |
| Teräsrakenne | | 28 | | 34 | |

5.3 Tulosten tarkastelu

Tuloksia tarkasteltaessa on syytä miettiä tuloksiin päätymiseen johtaneita lähtötietoja. Paikallavalurakenteessa saaduissa tarjouksissa on käytetty töiden yksikköhintana €/m³ ja tämä seikka saattaa toimia kustannusten korottavana tekijänä, koska valettaessa kallionseinää vasten betonimassaa kuluu kantavaa 0,2 metrin paksuutta huomattavasti suurempi määrä. Tämä suurempi määrä johtuu louhintavaiheessa syntyneistä onkaloista, jotka voivat paikoin olla jopa lähes metrin syvyisiä. Näin ollen saadussa laskussa on todennäköisesti laskutettu koko valettu leveys täyden rakenteen hinnalla, vaikka näihin onkaloihin on käytännössä pumpattu pelkkä betonimassa. Tämä koskee siis ainoastaan kallionseinää vasten valettuja rakenteita. Muutoin paikallavalun kustannukset vaikutta-

vat toimivilta, vaikka tietysti betonimassa saatetaan tuoda kauempaakin kuin näissä tapauksissa jolloin yksikköhinta nousee.

Elementtirakenteessa hintaan vaikuttaa huomattavan paljon se, että näissä tarkastelluissa kuiluissa elementtien asennus voidaan tehdä yläkautta. Mikäli elementit joudutaan asentamaan tunnelin kautta esimerkiksi tunkkaamalla, on yksikköhinta paljon suurempi sekä lisäksi aikaa kuluu merkittävästi enemmän ja näin ollen vaihtoehto todennäköisesti poissuljettaisiin. Näissä tarkastelluissa kuiluissa tilanne on kuitenkin oletettu lähes ideaaliseksi.

Valuharkkorakenne osoittautuu näiden taulukkojen selkeästi halvimaksi vaihtoehdoksi. Rakenteen kustannuslaskelmissa käytetyissä yksikköhinnoissa saattaa olla joitain erityisen halvalla saatuja materiaaleja, kuten raudoitusteräket tai itse harkot. On myös mahdollista, että työn asennuksesta saatu tarjous on erityisen halpa ja tehty pienellä katteella.

Teräsrakenne on tarkastelun jälkeen toiseksi halvin rakennevaihtoehto. Rakenteen kustannus on saatu soveltamalla saatuja tarjouksia reilusti, koska se on rakenteista monimutkaisin luotettavien kustannusten saamiseksi. Kustannuksia on siis mutkikasta soveltaa kuilusta toiseen suurien kuilukohtaisten vaihtelujen takia. Tämä lähinnä siksi, että rakenteelle ei voi esimerkiksi laskea suoraan neliöhintaa. Rakenteen paikallavalu osuudessa sen sijaan ei ole aiemmin tässä luvussa mainittuja rakenteen yksikköhintaongelmia, koska paikallavalurakenne teräsrakenteen yhteydessä tehdään kaksipuoleisella muotilla ja näin ollen massaa kuluu suurin piirtein suunnitellun mukainen määrä.

Apulaitteissa mastonostin tulee selkeästi halvemmaksi kehätelineeseen nähden. Tämä ero on kaikissa tapauksissa vähintään 100 %:a ja suuremmassa kuilussa eli 16.2 ero on jopa vielä suurempi. Tämä saattaa tulla siitä, että mastonostimen laskutus on kuukausi- ja kehätelineen päiväkohtainen ja töiden kestäessä korkeintaan 3 kuukautta nousee kehätelineen suhteellisen edullinen kuukausivuokra merkittäväksi tekijäksi. Näiden edellä mainittujen seikkojen lisäksi pitää huomioida, että mastonostimessa työergonomia on parempi kuin kehätelineessä, koska lava voidaan nostaa aina työskentelyn kannalta sopivaan korkeuteen ja näin ollen selkä ja muut paikat eivät rasitu turhaan huonosta asennosta. Kehätelineessä taas työtasot ovat määrämittaisin välein, jolloin työasento tietyissä kohdissa on vääjäämättä hiukan epäergonominen.

Vertailun vuoksi mainittakoon, että mikäli mietitään mastonostimen ostamista omaksi, niin vuokratustannukset kuilujen osalta koko Kivisydän-pysäköintiluolastossa käytettäessä kalleinta vuokratustannusta, eli paikallavalmu kaikissa kahdeksassa kuilussa, ovat noin 36 000 € eli 4500 €/kuilu. Jos lasketaan, montako kuilua pitää rakentaa, että hankintahinta 81 000 € saadaan takaisin säästyneinä vuokratustannuksina, päädytään 18 kuiluun. Tähän 18 kuilun kustannukseen ei sisälly vielä omaksi ostetusta laitteesta aiheutuvia huolto- ja säilytyskustannuksia. Näin ollen voidaan todeta, ettei omaksi ostaminen ole kannattavaa ellei olla varmoja, että useita kuiluja tullaan rakentamaan lähitulevaisuudessa.

Rakenteiden aikataulut on laskettu siten, että vaikka kuilut ovat erisuuruiset, niin rakenteen yksi kerrosnousu ehditään kuitenkin tekemään samaa tahtia valmiiksi esimerkiksi viikoittaisia valuja varten. Kumpikaan kuiluista ei kuitenkaan ole niin iso, ettei tämä ole mahdollista. Näin ollen kokonaisrakennusajoissa menetelmien vertailussa ainoastaan kuilun syvyys määrää rakennusaikojen eron, joka on laskelmien mukaan vain muutamia päiviä näiden tarkasteltavien kuilujen välillä. Tästä poikkeuksena kuitenkin teräsrakenne, joka on käytännössä yhtä nopea asentaa viikkotasolla. Aikataulut eivät kuitenkaan ota huomioon mahdollisia viivästyksiä, vaan aikataulut on suunniteltu sen mukaisesti, että kaikki toimii. Näillä oletuksilla aikataulut ovat suuntaa antavia ja pääsääntöisesti luotettavia sekä myös vertailukelpoisia keskenään.

Apulaitteissa mastonostin on laskettu vaikuttamaan aikatauluihin siten, että sen pystytyksessä ja purkamisessa menee karkeasti yksi päivä. Nämä työsuoritteet ovat valmistajan ilmoittavia. Kuilussa 16.2 joudutaan kuitenkin välillä siirtämään nostimen paikkaa kaksi erillistä kertaa, koska kuilua ei voida rakentaa kerralla kokonaan yhdestä paikasta yhden nostimen avulla. Tässä on oletettu, että aikataulu ei kuitenkaan hidastu oleellisesti, koska mastonostinta ei tarvitse ankkuroida sisätiloissa, missä ei ole tuulikuormaa, noin 25 metriin asti. Mikäli siirtoja tarvitaan enemmän, niin rakennusaika on luonnollisesti jonkin verran pidempi. Tilanne kuitenkin helpottuu, mikäli halutaan käyttää esimerkiksi kahta tai kolmea mastonostinta yhtä aikaa, mutta tämä kuitenkin luonnollisesti nostaisi kustannuksia huomattavasti kehätelineeseen verrattuna. Kehätelineessä pystyttämisen ja purkamisen työsuoritteisiin vaikuttaa luonnollisesti kuilun koko ja taulukoista voikin nähdä, että ero pystytys- ja purkunopeudessa mastonostimeen korostuu, mitä suurempi kuilu on kyseessä. Aikataulut ovat näiden suhteen toteutuskelpoisia.

6 POHDINTA

Tässä työssä tarkasteltujen rakennevaihtoehtojen kustannukset vaihtelevat runsaasti. Paikallavalurakenteen käytetyissä yksikköhinnoissa ei luultavasti tarjouksissa ole käytetty tiukinta hinnoittelua ja lisäksi käytetty yksikköhinnoittelu €m^3 tuo jo itsessään jonkin verran ylimääräisiä kustannuksia kokonaishintaan. Tämän työn laskelmissa on käytetty soveltaen tietyn kuilun toteutuneita kustannuksia, mutta laskettu kustannus voi hyvinkin olla jopa noin 30 % pienempi todellisuudessa näitä tarkasteltavia kuiluja rakennettaessa.

Elementtirakenteen laskelmien tuloksissa yksikköhinnat saattavat olla hieman korkeita. Tämä johtuu muun muassa siitä, että laskelmissa käytetyt yksikköhinnat ovat melko pienille elementtimäärille ja koskevat ainoastaan yhden kuilun elementtimäärää. Mikäli rakennettaisiin esimerkiksi viisi kuilua kokonaan samankaltaisista elementeistä, yksikköhinta todennäköisesti putoaisi huomattavasti näissä laskelmissa käytettyihin hintoihin verrattuna. Tämä taas pudottaisi todellista yhden kuilun rakennuskustannusta helposti arviolta 5–20 %:n verran riippuen kuilujen lukumäärästä, ehkä jopa enemmän. Toisin sanoen kahta kuilua rakennettaessa alennus on pieni, mutta taas hinnan alenemisella on myös yläraja. Näiden tarkasteltavien kuilujen osalta merkittäväksi tekijäksi elementtirakenteen kannalta muodostuu jo aiemmin mainitusti se, että asennus voidaan tehdä yläkautta. Mikäli näin ei olisi mahdollista tehdä, rajautuisi menetelmä todennäköisesti pois käytöstä huomattavasti suurempien kustannusten seurauksena.

Valuharkkorakenteessa laskelmien tuloksena on saatu melko pieni kokonaiskustannus. Tämä voidaan saavuttaa teoriassa, mutta näissä laskelmissa ei ole huomioitu esimerkiksi käytännössä tarvittavaa laahausapua, eli materiaalin ja tavaroiden siirtoapua, muun muassa harkkojen siirtelyyn. Lisäksi betonimassan hinnoittelu saattaa olla hieman alhainen todellisuudessa toteutuvasta hinnasta poiketen. Tähän vaikuttavat esimerkiksi massan kuljetusmatka, paikallinen hintataso sekä betonoinnin määrä. Näiden kahden seikan yhteisvaikutus voi lisätä rakenteen todellisia kustannuksia käytännössä enintään 20 % laskelmissa saatuihin tuloksiin.

Teräsrakenteen kokonaishinta on käytännössä toimiva, koska se on arvioitu suoraan toteutuneiden kustannusten perusteella ja se pystytään toteuttamaan ilman monen eri tekijän yhteisvaikutusta. Hintaan totta kai vaikuttaa teräksen hinnan kehittyminen, mutta

sitä on hyvin vaikeata arvioida ennalta. Yläosan paikallavalurakenteen hinnoittelu on myös melko hyvin paikkansapitävä, sillä yläosan toteutus on käytännössä kohtuullisen hintavaa ylipäänsä eikä rakenteen kustannus todennäköisesti eroa käytännössä paljoakaan tässä lasketusta hinnasta.

Kaikissa edellä mainituissa tilanteissa laskennan pohjana on käytetty jonkun tietyn kuilun hinnoittelua, eikä suoraan voida sanoa, että hinnat ovat päteviä muihinkin kuiluihin. Kaikki kuilut ovat kuitenkin yksilöllisiä ja ne muodostavat oman kokonaisuutensa. Kustannukset ovat kuitenkin suuntaa antavia eri rakennetyyppien välillä.

Kehätelineen ja mastonostimen tuloksissa verrattavuutta hankaloittaa se, että mastonostin koostuu periaatteessa ainoastaan yhdestä siirreltävästä kokonaisuudesta ja on näin ollen nopea koota ja purkaa. Kehäteline joudutaan taas kokoamaan useammasta osasta halutunlaiseen muotoonsa ja sitä joudutaan todennäköisesti käytännössä muokkailemaan työn edetessä erimuotoisiin kokonaisuuksiin. Mastonostimen laskelmia voidaan käyttää yleisesti hyödyksi kasauksen ja purun osalta muitakin kuiluja suunniteltaessa, mutta työn kesto muilta osin on totta kai kiinni suoraan kuilun suuruudesta. Kehätelineen kasaus, purku ja muiden töiden kestot ovat kaikki taas suoraan kiinni kuilun suuruudesta.

Rakennetyyppiä miettiessä valintaan saattavat vaikuttaa hinnan lisäksi myös esimerkiksi ulkonäköseikat, kestävyysvaatimukset ja vedenpitävyys. Tästä päästään siihen, että vaikka paikallavalurakenne on näiden laskelmien mukaan kallein ja hitain toteuttaa, niin se on kuitenkin kestävin, luotettavin ja helpoiten rakennusvaiheessa muokkailtava rakenne ainakin maata vasten tulevissa kerroksissa. Lisäksi paikallavalurakenne saadaan helpommin vedenpitäväksi muihin rakenteisiin nähden. Esimerkiksi valuharkkorakenne on hieman työläämpi tehdä yhtä hyvin vedenpitäväksi kuin paikallavalurakenne.

Työmaan edetessä normaalivauhtia, kokonaisrakennusaikojen erot nopeimman ja hitaimman menetelmän välillä ovat kuilussa 16.2 noin 30 työpäivää eli kuusi viikkoa ja kuilussa 31.1 25 työpäivää eli viisi viikkoa. Kuilun 16.2 rakennusajoissa paikallavalurakenteen tekeminen kestää selkeästi pisimpään eli noin 62 työpäivää kun taas nopeimman, eli teräsrakenteen valmistumiseen samaan kuiluun menee aikaa noin 32 työpäivää. Elementti-, valuharkko- ja teräsrakenne valmistuvat kaikki muutaman päivän sisällä

toisistaan, joten laskelmien perusteella näiden rakenteiden välillä ei ole merkittävää rakennusajallista eroa.

Saadut lopputulokset ovat pääpiirteissään samanarvoisia, koska millekään käsitellyistä rakenteista ei tarvitse tehdä mitään suurempia jatkotoimenpiteitä toisiinsa nähden. Tämä tarkoittaa siis sitä, että mikään rakennevaihtoehto ei muodosta toisiinsa nähden erityisiä lisäkustannuksia seuraaville työvaiheille.

Edullisimmaksi rakenteeksi tässä työssä tehtyjen laskelmien ja tarkastelujen perusteella hinta, rakennusaika sekä laatu huomioiden muodostuu valuharkkorakenne mastonostimelta rakennettuna. Valinta kohdistuu tähän rakenteeseen, vaikka laskettuihin teoreettisiin kustannuksiin joutuu käytännössä lisäämään enintään 20 % kuluja, joita ovat muun muassa materiaalin siirto ja betonimassan lisäkustannukset. Näihin valintoihin on päädytty halvimman hinnan ja kohtalaisen nopean rakennusajan ansiosta. Mastonostimen valintaa helpottaa ennen kaikkea nopea käyttövalmiuteen saattaminen ja sen purkaminen. Lisäksi hyvä työergonomia on avainasemassa. Valuharkkorakenteesta ei silti voida sanoa suoraan, että se on edullisin ratkaisu kaikkiin kuiluihin, koska olosuhteet kuilujen kesken vaihtelevat todella paljon.

Oleellista on myös vielä se, että näiden käsiteltyjen rakenteiden lisäksi voidaan totta kai käyttää erilaisia yhdistelmä rakenteita teräsrakennekokonaisuuden kaltaisesti, eli esimerkiksi rakentaa yhdistetty paikallavalu- ja valuharkkorakenne.

7 YHTEENVETO

Työssä on käsitelty neljää eri kuilun rakennevaihtoehtoa sekä mastonostinta ja kehätelineitä kustannuksellisista sekä aikataulullisista näkökulmista. Kaikki neljä rakennevaihtoehtoa sekä nostin tai teline soveltuvat hyvin käytettäväksi kuilurakentamiseen omine vahvuuksineen ja heikkouksineen, erot ovat tarkastelujen perusteella lähinnä kustannuksissa ja osittain myös rakennusajoissa. Se, mikä näistä rakennevaihtoehdoista oikeasti kannattaa valita toteutukseen, on aika paljon riippuvainen kuilun koosta ja muusta sen sisältämästä kokonaisuudesta eli siitä, onko kuilussa esimerkiksi tekniikkakuilu tai häätäpoistumisporraskuilu.

Tässä työssä esitetyistä laskelmista edullisimmaksi rakenteeksi valittiin valuharkkorakenne mastonostimelta tehtynä. Tätä yhdistelmää työn tekijä lähtee suosittelemaan Oulun Kivisydän-pysäköintiluolaston kuilujen rakentamiseen. Rakenne on halvin rakentaa ja lisäksi kokonaisrakennusaika on lyhimpiä tarkastelluista rakenteista. Ei kuitenkaan voida yleistää, että valuharkkorakenne tulee aina halvimmaksi rakenteeksi kuilussa, sillä kaikki kuilut ovat erilaisia ja vaativat yksilöllisen suunnittelun. Hyvin yleistä on myös tehdä yhdistelmä rakenne kuiluun. Tällainen voi olla esimerkiksi valuharkkorakenteen ja elementtirakenteen yhdistelmä.

Mastonostinta työn tekijä suosittelee kehätelineen sijaan siksi, että sen kustannukset ovat laskelmien perusteella vähintään puolet pienemmät. Valintaan vaikutti myös se, että pystytys- ja purkuajat ovat suhteellisen paljon pienempiä ja se tosiasia, että työergonomia on huomattavasti parempi kehätelineeseen verrattuna.

Lopuksi mainittakoon, että kaikkiin tässä työssä tehtyihin laskelmiin on käytetty kahden jo valmiin rakennetun kuilun sovellettuja yksikköhintoja ja kuten aiemmin on todettu, nämä lasketut kokonaiskustannukset voivat olla jopa 30 % alhaisemmat toista kuilua rakennettaessa. Tämä kokonaiskustannusten vaihtelu voi syntyä muun muassa paremmasta urakoitsijoiden ja alihankkijoiden kilpailutuksesta esimerkiksi paikallavalurakenteen rakennustöissä. Elementtirakenteessa vaihteluun voi päästä samankaltaisten elementtien suosimisella ja hyvällä kilpailutuksella.

LÄHTEET

HB-Betoniteollisuus Oy. Muottiharkko suunnittelu- ja työohje. Luettu 27.3.2013. http://www.hb-betoni.fi/media/kuvat/aineistot-suunnittelukaytto-ohjeet-harkot/3_hb_muottiharkot.pdf

Heiska, T. & Koskenvesa, A. 2007. Betonielementtien turvallinen asennus. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Lemminkäinen Oyj. 2012. P-Hämpin louhinta- ja sisutusurakan asiakirjoja sekä Oulun Kivisydämen louhintaurakan asiakirjoja. Ei julkisia.

Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys MTR. 2013. Allamme avautuu mahdollisuuksien maailma – Maanalainen avaruus. Luettu 15.3.2013. <http://www.getunderground.fi/>

Mäki, T & Palolahti, T. 2010. Harkkokäsikirja. Kevytsoraharkot ja Betoniharkot. Betoniteollisuus ry. Luettu 27.3.2013. http://www.hb-betoni.fi/media/kuvat/aineistot-harkot/1_hb_harkkokasikirja_2010.pdf

Oulun Pysäköinti Oy. 2012. Rakentaminen. Luettu 16.3.2013. <http://www.kivisydan.fi/fi/rakentaminen>

Rakennustuoteteollisuus RTT RY. Muottien vaikutukset. Luettu 20.5.2013. <http://www.betonitalo.fi/toteutus/muottien-vaikutukset/>

Sito-yhtiöt 2013. Tyyppipiirustukset porras- ja hissikuiluista.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2004. Betonitekniikan Oppikirja 2004. 5.painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205

Ahonen, K. aluemyyntipäällikkö & Rasimus, T. tuotepäällikkö. 2013. Haastattelu 4.3.2013. Haastattelija Sillanpää, V. Pirkkala.

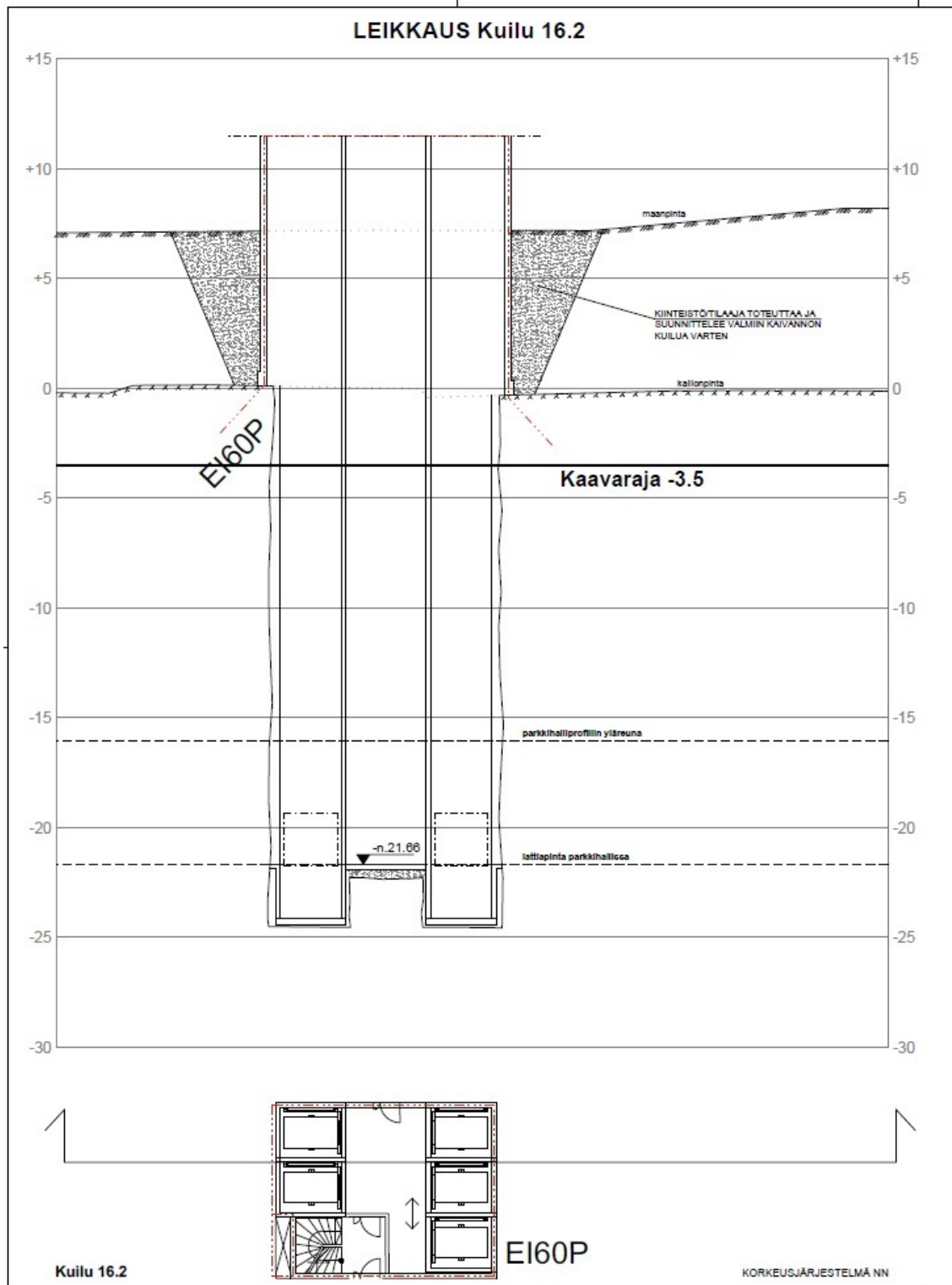
Eskelinen, S. projektipäällikkö. 2013. Haastattelut 25.2. – 17.5.2013. Haastattelija Sillanpää, V. Tampere.

Lehmusto, K. työmaapäällikkö. 2013. Haastattelut 4.3. – 22.5.2013. Haastattelija Sillanpää, V. Tampere.

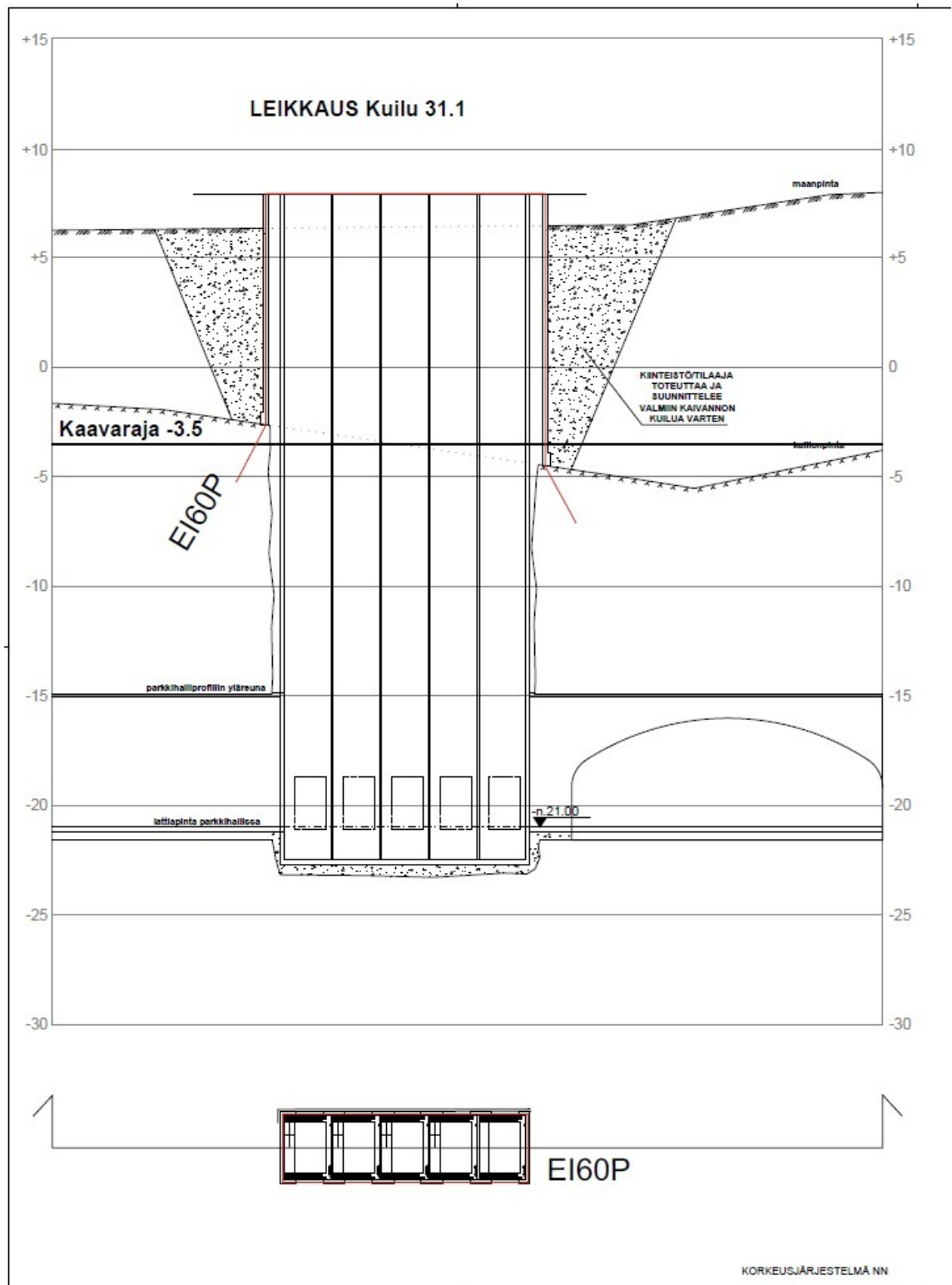
Pasma, M. asiakkuuspäällikkö. 2013. Puhelinhaastattelu 16.5.2013. Haastattelija Sillanpää, V.

LIITTEET

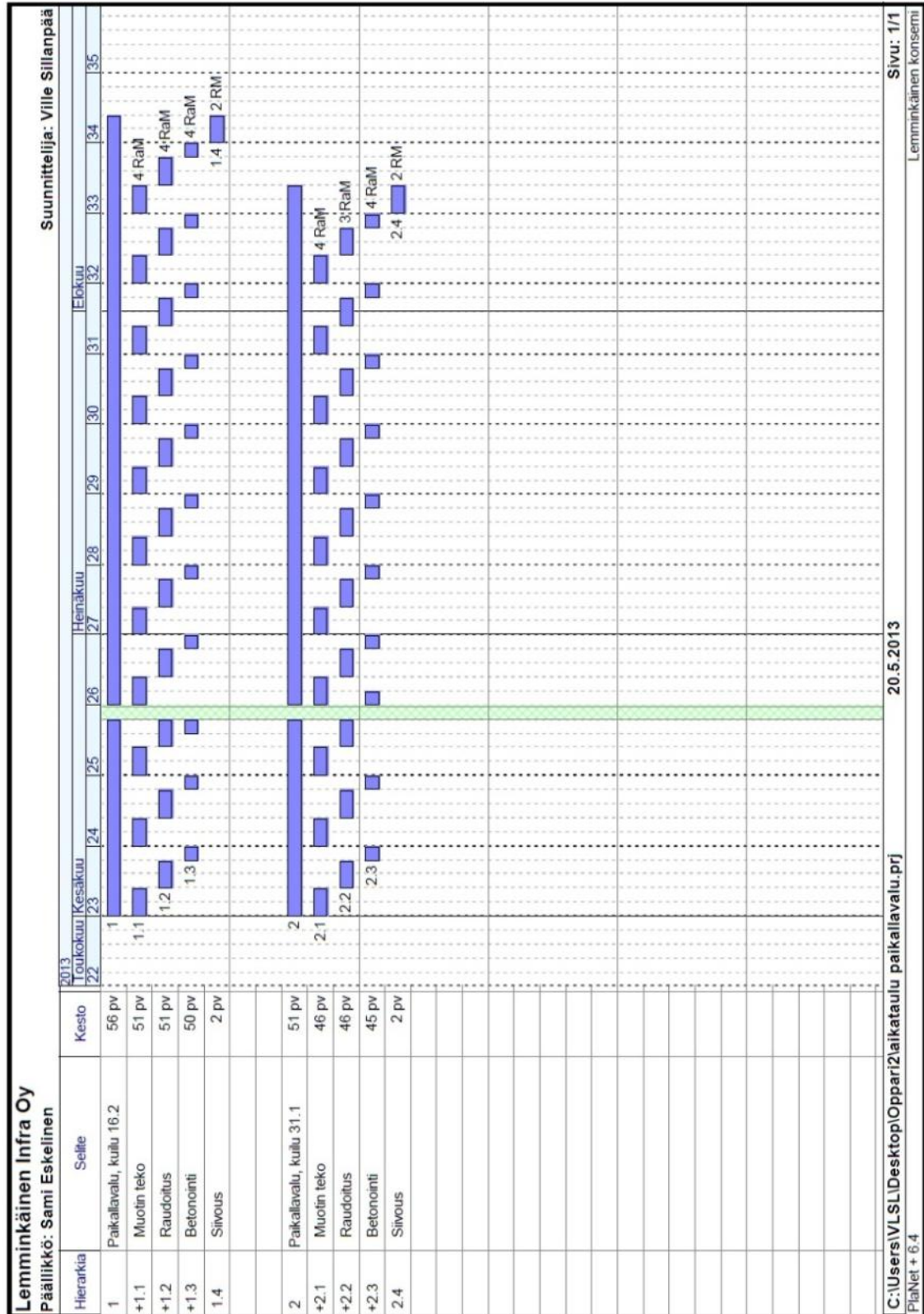
Liite 1. Tyyppiirustus kuilusta 16.2



Liite 2. Tyypipiirustus kuilusta 31.1



Liite 3. Paikallavalurakenteen aikataulu



Liite 5. Teräsrakenteen aikataulu

