



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RAKENNUSPROSESSIN TEHOSTUSMAHDOLLISUUKSIA MALAWISSA

Laura Niemi

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Rakennustekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutus
Talonrakennustekniikka

NIEMI, LAURA:

Rakennusprosessin tehostusmahdollisuuksia Malawissa

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Huhtikuu 2017

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten Malawissa toimiva Kalibu Kwa Yesu -järjestö voisi viedä rakennushankkeitaan läpi entistä nopeammin ja edullisemmin. Tavoitteena oli kehittää konkreettisia keinoja rakennusprosessin tehostamiseksi. Ensimmäin tutkittiin malawilaista rakennustapaa, Malawissa käytettäviä rakennustarvikkeita sekä rakennuskustannuksia. Betonin, harjaterästen ja tiilien lujuutta testattiin Tampereen ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Rakennusmenetelmiin perehdyttiin Kalibun työmailla Malawissa tammi-huhtikuussa 2016 seuraamalla rakennustöiden edistymistä sekä haastatteleamalla rakentamiseen osallisia henkilöitä.

Rakennusprosessin tehostamismahdollisuuksiksi esitettiin tulospalkkausjärjestelmän eli rakennusosaurakan kehittäminen ja käyttö, tulevien työvaiheiden huomioiminen erityisesti muottityössä, betoniharkkojen käyttö tiilien sijaan sekä sementtitarpeen vähentäminen lentotuhkan avulla. Tulospalkkausjärjestelmä selostettiin laskuesimerkin avulla. Muottityön tehostamiseksi ehdotettiin muutoksia neljään työmailla havaittuun työn sujumista hidastavaan käytäntöön. Harkko- ja tiilimuurausten materiaalikuluja vertailemalla havaittiin, että tiilimuuraus tulee noin puolet halvemmaksi kuin harkkomuuraus, kun työ- kustannuksia ei huomioida. Lentotuhkan käyttömahdollisuutta betoni- ja laastiseoksissa tutkittiin valamalla ja koestamalla koekappaleita, joista osassa oli sideaineena pelkkää sementtiä ja toisissa 15 painoprosenttia sementistä oli korvattu lentotuhkalla. Tulokset olivat lupaavia, mutta koesarjojen suppeuden tähden niistä ei voitu tehdä varmoja johtopäätöksiä.

Kaikki esitetyt kehitysehdotukset vaativat vähintään ajan investoimista niihin, jotta ne saadaan hyötykäyttöön. On nähtävä vaiavaa, jotta uusia käytäntöjä saadaan opetettua työntekijöille. Lentotuhkan käyttö betonissa saattaa tuoda eniten säästöä materiaalikuluihin, mutta se myös vaatii eniten jatkotutkimuksia ja työtä.

ABSTRACT

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

NIEMI, LAURA:
Possibilities to Enhance Building Process in Malawi

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 6 pages
April 2017

The purpose of this study was to determine how Kalibu Kwa Yesu Ministries, operating in Malawi, could get through construction projects faster and at lower cost. The objective was to come up with concrete ways to improve the building process. At first it was necessary to research the current way of housebuilding and the most common building materials used in Malawi, as well as the construction costs. The strength of concrete, reinforcement bars and bricks was tested in the building laboratory of Tampere University of Applied Sciences. Construction methods were studied at the building sites of Kalibu in January-April 2016 by observing the construction work, as well as interviewing persons involved in the construction.

Developing and using performance-related pay system, taking the next stages into account especially when doing formwork, using concrete blocks instead of bricks and replacing part of cement by fly ash were presented as possibilities to improve efficiency in the building process. The performance-related pay system was explained by an example. Four practices that were observed to slow down construction work were suggested to be changed in order to improve formwork. Comparing the material costs of clay brick and concrete block structures, it was found out that using bricks is about a half of the price of using blocks, excluding labor costs. The possibility of using fly ash in concrete and mortar mixtures was investigated by casting and testing specimens. Some of them had plain cement as a binder and the others had 15 percent by weight of cement replaced with fly ash. The results were promising, but sure conclusions could not be drawn due to limited test series.

In order to utilize the development proposals, all of them require at least time to invest into them. It takes effort to educate workers for new practices. The use of fly ash in concrete may produce the greatest savings on material costs, but it also requires the most work and further study.

Key words: building process, malawi, performance-related pay, concrete block, fly ash

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MATERIAALITUTKIMUKSET.....	6
2.1	Betonin puristuslujuuskoe.....	6
2.2	Harjaterästen vetolujuuskoe.....	7
2.3	Tiilten puristuslujuuskoe.....	9
3	NYKYINEN RAKENNUSTAPA MALAWISSA	10
3.1	Tutkimuskohde	10
3.2	Järjestelmästä yleisesti	11
3.3	Rakenteet ja työmenetelmät.....	13
3.4	Yleisimmät rakennusmateriaalit	18
4	TEHOSTUSMAHDOLLISUUKSIEN LÖYTÄMINEN.....	22
4.1	Kustannus- ja työmenekkitarkastelu	22
4.2	Kehitysehdotusten valinta.....	25
5	RAKENNUSPROSESSIN TEHOSTUSMAHDOLLISUUKSIA	27
5.1	Tulospalkkausjärjestelmän kehittäminen.....	27
5.2	Muottityö	29
5.3	Harkkorakenne.....	31
5.4	Sementtitarpeen vähentäminen lentotuhkalla	34
5.4.1	Lentotuhkan käyttö betonin seosaineena	34
5.4.2	Vertailututkimus.....	36
6	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	42
	Liite 1. Betoni- ja laastikoekappaleiden koestustiedot.....	42
	Liite 2. Lisää valokuvia Kalibun työmailta	43

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus tutkia, miten Malawissa toimiva Kalibu Kwa Yesu -järjestö (Kalibu) voisi saada rakennusprosessista nopeamman ja edullisemman. Tähän mennessä Kalibu on rakentanut Malawiin noin 800 oppilaan yläkoulu-lukiotasoisien sisäoppilaitoksen lukuisine rakennuksineen, vanhusklinikan ja vanhainkodin sekä viimeisimpänä alakoulun. Yliopistokampus on ollut rakenteilla jo useamman vuoden ajan ja uusienkin rakennusprojekteja on mahdollisesti tulossa.

Rakennustarvikkeista erityisesti sementti ja terästuotteet ovat kalliita, koska ne joudutaan tuomaan Malawiin ulkomailta (Howard 2015). Sementtiä kyllä tuotetaan Malawissa, mutta sen pääraaka-aine klinkkeri on tuontitavaraa. Sementin hinnan odotetaan laskevan lähitulevaisuudessa, kun paikallinen sementtitehtailija saa oman kalkkikivilouhoksensa ja klinkkerilaitoksensa käyntiin. (Kufa 2016)

Tutkimuksen tavoitteena on löytää konkreettisia keinoja säästöjen toteuttamiseksi. Tavoitteen saavuttamiseksi perehdytään ensin nykyiseen rakennustapaan, rakennusmateriaaleihin sekä rakentamisen kustannustekijöihin ja ajankäyttöön. Näitä aiheita käsitellään tammi-huhtikuussa 2016 Kalibun rakennustyömailla koetun perusteella sekä Tampereen ammattikorkeakoulun (TAMK) rakennuslaboratoriossa tehtyjen lujuuskokeiden avulla. Tältä pohjalta selvitetään, mitä rakennusprosessissa olisi hyvä muuttaa, jotta sekä aikaa että rahaa säästyisi.

Rakentamista tarkastellaan pääasiassa suurten kokonaisuuksien kautta, joten jokaista työvaihetta ei tuoda esiin erillisenä tutkimuskohteena. Huomio kiinnitetään lähinnä pitkäkestoisimpiin työvaiheisiin ja suurimpiin menoeriin. Kehitysehdotusten osalta paneudutaan enimmäkseen tutkimaan niitä, joilla voisi olla suurin säästövaikutus rakennusprosessissa. Tutkimus painottuu kivrakenteisiin, sillä termiittivaaran takia puuta käytetään vain kattorakenteissa. Sisävalmistusvaiheen töitä ei juurikaan käsitellä, vaan keskitytään perustus- ja runkotöihin.

2 MATERIAALITUTKIMUKSET

2.1 Betonin puristuslujuuskoe

Kesällä 2015 Kalibun yliopistotyömaan asuntolan holvivaluista saatiin kymmenen koe-kappaletta, joiden puristuslujuus koestettiin Tamkin rakennuslaboratoriossa 28 päivän iässä. Koekappaleet oli valettu 75 mm:n viemäriputkesta valmistettuihin muotteihin. Valun jälkeen kappaleita ei ollut jälkihoidettu, joten ne olivat päässeet kuivumaan avoimesta yläpinnastaan. Muuten muotit olivat ilmatiiviitä. Betonin seossuhteista ja tarkasta koostumuksesta ei testikappaleita koestettaessa ollut tietoa. Myöhemmin selvisi, että betoni oli tehty sementin, hiekan ja murskeen tilavuusosina seossuhteella 1:1,5:1,5 (Mbalazo 2016). Betonissa käytetty sementtilaatu oli CEM II 32,5 A-L.

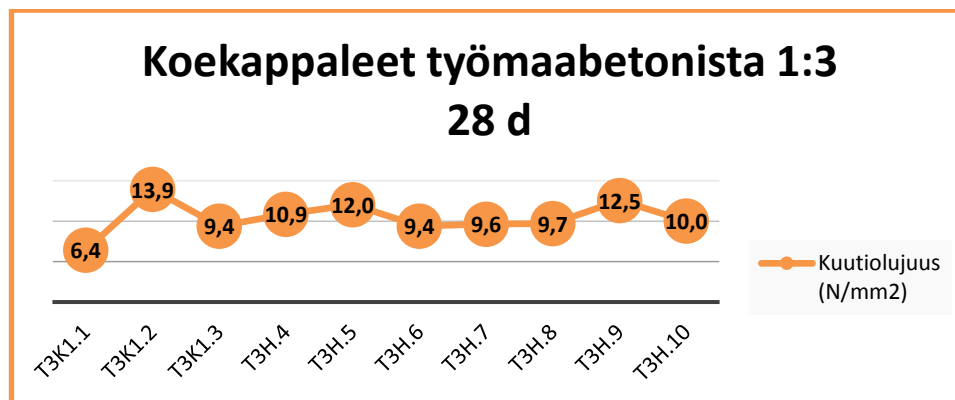
Ennen koestusta muotit sahattiin irti, ja koekappaleiden päät tasattiin timanttilaikalla. Kappaleet sahattiin noin 75 mm:n pituisiksi, jolloin niiden pituuden ja halkaisijan suhde saatiin lähelle yhtä (by 50 2004, 150). Tiheyden laskemista varten kappaleet mitattiin digitaalisella työntömitalla ja punnittiin digitaalisella vaa'alla. Koestus tehtiin Auto-ADR-betonipuristimella, puristusnopeudella 6 kN/s (kuva 1).



KUVA 1. Betonikoekappale koestuksen jälkeen

Koetuloksena saatiin koekappaleiden kestävä maksimikuorma (kN). Puristuspinna-alan perusteella tuloksesta laskettiin murtolujuus (kN/m^2). Tämä muutettiin 150 mm:n kuutiota vastaavaksi lujuudeksi (N/mm^2) kertoimella 1,1 (by 50 2004, 150). Edellä mainitut

tiedot taulukoitiin liitteeseen 1. Kuutiolujuuksien keskiarvoksi saatiin $10,4 \text{ N/mm}^2$ riippumatta siitä, laskettiin ko ruodusta poikkeavat kaksi ensimmäistä koetulosta mukaan vai ei (kuvio 1 ja liite 1).



KUVIO 1. Kuutiolujudet puristuskokeesta

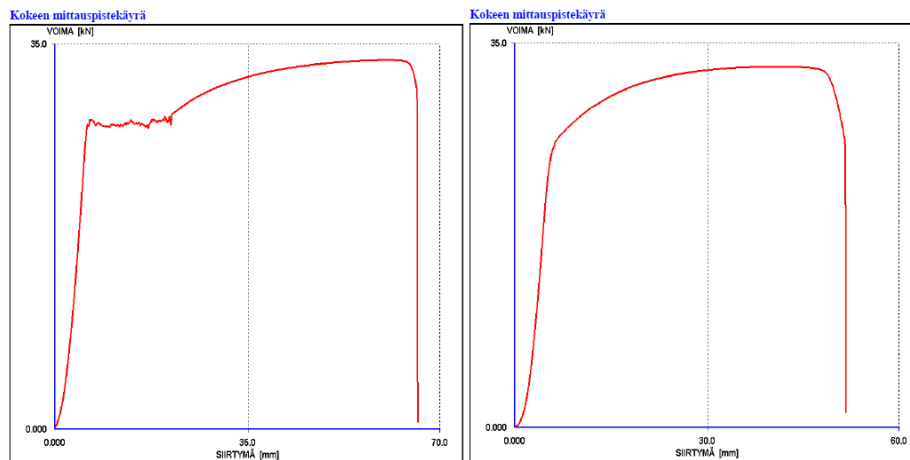
2.2 Harjaterästen vetolujuuskoe

Malawista saatiin myös harjateräksiä, joiden vetolujuus testattiin ja verrattiin suomalaisen B500B-harjaterästen vetolujuuteen. Koestettavat teräkset olivat halkaisijaltaan 8 mm, 12 mm ja 16 mm, Malawista viisi kappaletta kutakin kokoa ja Suomesta vertailuteräksiä kaksi kutakin kokoa. Vetolujuuskoe tehtiin Matertest-vetolaitteella (kuva 2).



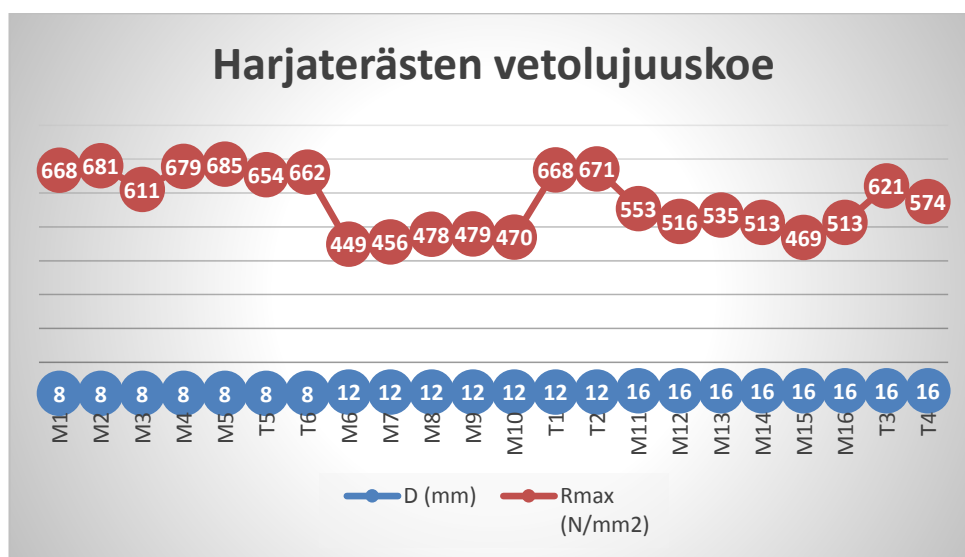
KUVA 2. Vetokoe meneillään

Malawista tuodut teräkset osoittautuivat suomalaisia teräksiä sitkeämmiksi, sillä ne venyivät enemmän ennen katkeamistaan. Jännitys-venymäkäyrissä Malawista tuoduilla harjateräksillä erottui selvä myötöalue, toisin kuin B500B-harjateräksillä (kuvio 2).



KUVIO 2. Malawista tuodun ja suomalaisen harjateräksen jännitys-venymäkäyrät

Parhaat lujuusarvot saatiin 8 mm:n tangoilla: Malawista tuodut kestivät vetoa keskimäärin hieman enemmän kuin suomalaiset. 16 mm terästen kanssa kävi juuri päinvastoin: Malawista tuodut olivat jonkin verran suomalaisia heikompia, mutta tulokset olivat silti hyviä. Tuloksiin saattoi vaikuttaa heikentävästi se, että 16 mm:n tankoja koetettaessa vetokojeen leuat eivät tahtoneet pitää, vaan ajoittain liukuivat vedettävän teräksen pinnalla. Malawista tuoduista teräksistä huonoimmat tulokset saatiin niillä, joiden halkaisija oli 12 mm. Niiden keskimääräinen murtolujuus oli vain noin 70 % suomalaisten B500B-terästen keskilujuudesta (kuvio 3).



KUVIO 3. Koestettujen harjaterästen vetomurtolujuus ja halkaisija

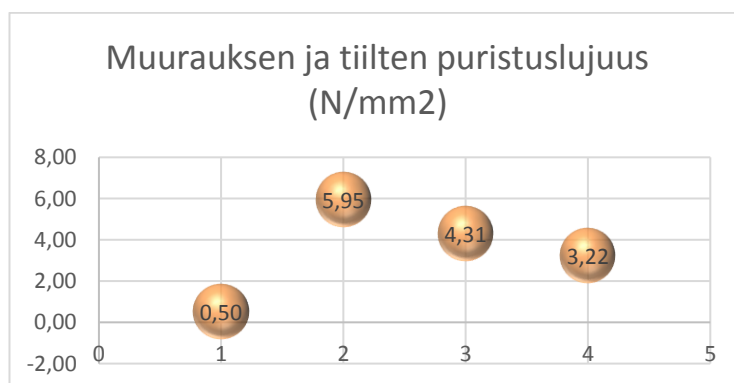
2.3 Tiilten puristuslujuuskoe

Kesällä 2015 Malawista saatiin myös neljä poltettua savitiiltä ja hieman kuivalaastia niiden muuraamista varten. Siinä vaiheessa kuitenkin jäi mietintään, miten ne neljä tiiltä kannattaisi koestaa. Tammikuussa 2016 kaksi tiiltä päädyttiin muuraamaan päälletysten. Koestukset tehtiin vasta marraskuussa 2016 eli noin kymmen kuukautta muuraamisen jälkeen. Koska koekappaleita oli niin vähän, tiilille päätettiin tehdä pelkkä puristuslujuuskoe. Ensin koestettiin päällekkäin muuratut kaksi tiiltä ja laastisauma välissä. Kokeessa laastin murtumisen lisäksi myös tiilet halkesivat (kuva 3).



KUVA 3. Koestettu muuraus

Toinen tiilistä halkesi niin, että sen pystyi vielä puristamaan syrjällään. Jostain syystä kyseinen tiili olikin lujempi kuin kaksi ehjänä puristettua tiiltä (kuvio 4). Lieneekö sen pintaan tarttuneella sementtiliimalla osuutta asiaan. Myös kaksi erillistä tiiltä puristettiin syrjällään, koska niiden syrjät olivat lappeita huomattavasti tasaisempia. Tiheyden laske-
miseksi nämä tiilet punnittiin ja mitattiin pelkällä rullamitalla niiden epätasaisen muotonsa vuoksi.



KUVIO 4. Muurauksen lujuustulos vasemmalla, toisena kahdesti puristetun tiilen

3 NYKYINEN RAKENNUSTAPA MALAWISSA

3.1 Tutkimuskohde

Valtaosa työhön tarvittavista tiedoista kerättiin tammi-huhtikuussa 2016 Kalibun rakennustyömaita seuraten ja valvoen. Päivittäiset keskustelut asianosaisten kanssa tuottivat paljon suullista tietoa, mutta yhtään taltioitua haastattelua ei tehty. Rakennustiedon lisäksi karttui tietoa muun muassa kaupankäynnistä ja kustannuslaskennasta.

Lähemmin tarkasteltiin kahta Kalibu Academyn oppilaille rakennettavaa identtistä silitustaloa, pohjapinta-alaltaan lähes 123 m². Kyseisenä ajanjaksona päästiin näkemään toisen talon lattian ja seinien rakentaminen sekä toisen talon katon rakentaminen. Talot myös mallinnettiin ArchiCAD19 -ohjelmalla, mikä auttoi paneutumaan rakenteeseen vielä tarkemmin.

Muita seurattavia rakennuskohteita olivat

- yliopiston hallintorakennus
- yliopiston neljä kerrosasuntolaa
- alakoulun kokoontumishalli
- alakoulun kuusi luokkarakennusta ja vessarakennus.

Yliopiston hallintorakennus oli viimeistelyvaiheessaan. Siellä rapattiin ja maalattiin seinät, asennettiin alakatto, ikkunat ja ovet sekä talotekniikka (kuva L2.1, liite 2). Yliopiston asuntoloista yhden välipohja raudoitettiin, toiseen muurattiin ylimmän kerroksen seinät, kolmanteen tehtiin holvimuotti ja sen jälkeen aloitettiin raudoitus. Alakoulun kokoontumishallia varten valettiin pilarianturoita (kuva L2.2, liite 2). Luokkarakennuksiin ehditettiin tehdä perustukset ja joihinkin niistä myös lattiavalu. Vessarakennuksessa päästiin seinämuuraukseen asti.

Osan rakennustöistä tekivät Kalibun palkkaamat rakentajat, mutta jotkut urakat oli annettu erillisen rakennusliikkeen tehtäviksi. Työssä oli varsinaisia rakennusmiehiä sekä rakennusapumiehiä, ja naiset kantoivat vettä (kuva 4). Rakennusapumiehet tekivät raskaimpia töitä, kuten maankaivuuta ja betonin ja laastin sekoittamista. Ammattirakentajia olivat kirvesmiehet ja muurarit.



KUVA 4. Vettä lisätään alakoulun luokkarakennuksen alustäytön tiivistämiseksi

Aikaisemmin Kalibun rakennushankkeissa on käytetty paljon enemmän suoraan palkattuja työntekijöitä sekä joitakin osaurakoitsijoita, mutta viime aikoina töitä on teetetty myös jaetun urakan tapaan. Silloin sähkö- ja putkiasentajat ovat Kalibun palkkalistoilla, mutta muut työt rakennusurakoitsijan vastuulla. Rakennuttajan kannalta tämä on yksinkertaisempaa (Howard 2016). Paikalliset toimijat tuntevat oman väkensä ja tietävät, kuinka heitä tulee käsitellä, jotta työ etenee toivotusti. Urakoitsijoiden ja aliurakoitsijoiden käyttö edellyttää silti tiukkaa valvontaa. Yhtään rahaa tai materiaaleja ei saa antaa ennakkoon, muuten he katoavat ja työ pysähtyy. (Howard 2017)

3.2 Järjestelmästä yleisesti

Malawissa rakentaminen on varsin vapaata toimintaa, jota ei virkakoneisto hidastuta. Viranomaisiin otetaan yhteyttä vasta silloin, kun tontille halutaan sähkölinja, sillä tällä hetkellä Malawissa kukin saa rakentaa omalle maalleen mitä ja miten tahtoo (Kufa 2016).

Rakennustaito opitaan työmaalla kokeneemmilta työntekijöiltä ja perustuu nimenomaan kokemukseen. Tämä tekee järjestelmästä tehokkaan, sillä rakennukset rakennetaan yleensä aina samalla tavalla. Ei tarvita kuin yksinkertainen hahmotelma paperinpalalle sekä nurkkapisteet maahan, niin rakentajat tietävät, miten tehdä loput. Toisaalta, kun yri-

tetään ottaa käyttöön uusia menetelmiä tai materiaaleja, se voi helposti kaataa koko hankkeen, koska uudistuksiin suhtaudutaan nuivasti (Howard 2017). Lähes kaikki tehdään käsityökaluilla, eikä ole harvinaista, että työkalutkin tehdään itse (kuva 5). Koneiden rikoontuminen vaikuttaa hyvin yleiseltä ongelmalta, joka ei kuitenkaan ole afrikkalaiselle työn este, vaan pelkkä hidaste.



KUVA 5. Tarpeen tullen raudoittaja valmistaa rautasahoja

Nykyään talot rakennetaan yleensä kiviaineisina, sillä termiittien takia puutavara ei kestä myrkyttämättä. Perinteisesti käytetään paljon savitiiltä ja sementtilaastia, mutta kaupungissa näyttiin rakennettavan betoniharkkoseiniäkin. Kattotuolit tehdään sahatavarasta, joka on termiittejä vastaan myrkytettyä mäntyä. Kylissä tiiliseinäiset, heinäkattoiset talot ovat tavallisia, koska kaikilla ei ole varaa kattopeltiin. Alla oleva leikkausmalli esittää Malawissa yleisesti käytettävän yksikerroksisen rakennuksen runkorakenteen (kuvio 5).



KUVIO 5. Malawilaisen tyyppitalon kolmiulotteinen leikkausmalli

Kalibun rakennustyömailla ainoastaan suuret hallit tehtiin eri järjestelmällä. Katto kannatettiin teräskehillä, jotka koottiin pulttiliitoksien (kuva 6). Kehät perustettiin pilarianturoiden varaan. Teräsrakenteen väliset seinät tehtiin tiilimuurauksena ja päälle asennettiin peltikatto. Teräsrakenteen osat ja piirustukset tulivat valmiina osatoimituksena Etelä-Afrikasta (Kufa 2016).



KUVA 6. Keskenkäynnissä oleva teräsrakennehalli seuraavan hallin osien varastona

3.3 Rakenteet ja työmenetelmät

Betonin ja laastin valmistus

Betonin ja laastin sekoitusta varten maahan ladottiin tiiliä ympyrän muotoon (kuva L2.3, liite 2). Kiviaineksen päälle levitettiin sementti, ja kuivat aineet lapioitiin sekaisin (kuva 7). Seuraavaksi kaadettiin vesi kasan keskelle tehtyyn kuoppaan. Lopuksi kasa käännettiin vähitellen halutuksi seokseksi. Betonimassaan vettä lisättiin reilusti, koska valuja ei tärytetty koneellisesti. Kun puhdasta vesijohtovettä ei ollut helposti saatavilla, käytettiin jokivettä, joka sekin näytti täyttävän tehtävänsä.



KUVA 7. Betonin sekoitusta ennen veden lisäämistä

Perustukset ja alapohja

Maaperä Blantyre'n lähellä sijaitsevilla työmailla oli hiekkaista savea. Seinänturan muotiksi kaivettiin reilun puolen metrin syvyinen oja maanpinnan muotoa mukailleen. Sen jälkeen maa myrkytettiin termiittejä vastaan. Antura valettiin kaivannon pohjalle, rinteissä porrastaen (kuva 8). Tiilinen perusmuuri saattoi nousta alarinteen puolella lähes kahteen metriin. Perusmuurin sisäosa täytettiin kaivumaalla ja jyrättiin tiiviiksi (kuva L2.4, liite 2). Viimeiseksi lattiavalun alle ladottiin tiilikerros, jonka päälle ruiskutettiin termiitti-myrkkyä (kuva L2.5, liite 2).



KUVA 8. Luokkarakennuksen perusmuuria muurataan porrastetun anturan päälle

Maanvarainen lattia

Lattia valettiin betonista noin kymmenen sentin vahvuiseksi. Lattiavalu tiivistettiin pelkästään laudalla hakkaamalla (kuva 9). Saadakseen lattiasta suoran jotkut rakentajat käyttivät valussa korkotiiliä, toiset taas linjalankaa. Jälkimmäisellä menetelmällä näytti tulevan suurempi pinta. Lattiaa ei aina saatu valettua kerralla loppuun, vaan seuraavana päivänä edellisen valun reunaa hakattiin lapiolla, kasteltiin vedellä ja lopuksi siihen heitettiin sementtiä ennen valun jatkamista. Lattian pinta hierrettiin sementtivellillä sileäksi.



KUVA 9. Silitystalon lattiavalun korkokaistan tiivistystä

Seinät

Lattian ja seinämuurauksen väliin asennettiin ohut muovikaistale kapillaarikatkoksi. Kaikki seinät muurattiin täyskiven paksuisina ja joka viidenteen vaakasaumaan asennettiin teräksinen tikaslanka (kuva 8). Ensin muurattiin talon nurkat tarkasti pystysuoraan, jotta niihin saatiin kiinnitettyä linjalanka seinien keskiosien muuraamista ohjaamaan (kuva L2.6, liite 2). Ovien ja ikkunoiden yläpuolelle valettiin teräsbetonista koko rakennuksen kiertävä rengaspalkki. Palkin raudoitteisiin sidottiin teräslangat, joilla kattotuolien aluslankku kiinnitettiin seiniin. (kuva L2.7, liite 2) Rengaspalkin päältä muurausta jatkettiin vielä 0,7 metriä, ja kattotuolien välitkin muurattiin umpeen. Useimmiten seinät rapattiin ja maalattiin sekä sisältä että ulkoa. Maalina käytettiin kiiltävää akryylimaalia. Teräksiset ovikarmit ja ikkunarungot liitettiin seinämuuraukseen niiden kyljistä sojottavien peltilappujen avulla (kuva L2.8, liite 2). Monikerroksisissa rakennuksissa välipohjilta tuleva kuorma otettiin vastaan teräsbetonisin pilarein, joiden väliset seinät tehtiin tiilimuurauksena (kuva 10).



KUVA 10. Kerrostalon seinärakenne

Katto

Kattotuolit naulattiin katolla linjalankojen avulla 1200 mm:n jaolla. Perinteisen afrikkalaisen arkkitehtuurin mukaisesti kaikki katot tehtiin aumakatoiksi, joten päädyissä kattotuolit laitettiin toiseen suuntaan (kuva 11). Seinämuurauksen päälle sidottiin lankut rengaspalkista muurauksen läpi nousevilla teräslangoilla, ja kattotuolien alapaarteet naulattiin aluslankkuihin. Alapaarteisiin naulattiin ensin pystytuet ja kävelysillat, jotta kirvesmiehet pääsivät niiltä käsin naulaamaan yläpaarteet ja diagonaalit. Muurausta koskettavat osat siveltiin puunsuoja-aineella (kuva L2.9, liite 2). Talot katettiin yhden poimun verran limitetyillä sinkityillä poimupelleillä, jotka leikattiin muotoonsa pelkillä peltisaksilla. Sisäkattomateriaalina käytettiin 9 mm:n paksuista kovaa puukuitulevyä (kuva L2.10, liite 2).



KUVA 11. Silitystalon aumakattorakenteita

Välipohja

Välipohjat valettiin teräsbetonista palkkilaattoina. Laatan paksuus oli viitisen tuumaa ja palkin 5,5". Laattapalkin kokonaiskorkeudeksi tuli siten 10,5" (267 mm). Yliopiston asuntolatyömaan rauditusvaiheessa olleiden välipohjien pisin jänneväli oli 5,68 m. Välipohjamuottien rakentaminen aloitettiin naulaamalla reunalankut muurattuihin seiniin. Reunalankkuihin koolattiin muut kannatinlankut, ja niiden päälle naulattiin rimalevyt (kuva 12). Lankkujen alapuolelle naulattiin pystytuet (kuva L2.11, liite 2). Muotituksen jälkeen rauditusurakoitsija suunnitteli ja toteutti raudoitukset oman kokemuksensa pohjalta (kuva 16).



KUVA 12. Yliopiston asuntolan holvimuotti levytysvaiheessa

Talotekniikka

Ilmanvaihto toteutettiin seinien yläosaan asennettavien ritilöiden avulla. Ne oli tehty joko poltetusta savesta tai muovista. Ritilöiden reiät olivat sen verran pieniä, etteivät hyttysset päässeet niistä läpi. Sähköputket upotettiin seiniin ja välipohjavaluihin (kuva L2.12, liite 2). Seinissä upotus tehtiin talttaamalla muuraukseen roilot, jotka peittyivät rappauksen alle. Tavallisesti myös vesijohtot upotettiin seiniin piiloon, vaikka se ei vesivuotoja ajatellen olekaan paras ratkaisu. Lämpimän ilmaston vuoksi viemärointi voitiin tehdä suoraan seinän läpi, mikä helpotti perustus- ja lattiavaluvaiheita (kuva 13). Harmaa vesi johdettiin rakennusta kiertävään betoniseen sadevesikouruun.



KUVA 13. Viemärinousut ennen vessojen vaakayhteisiin liittämistä

3.4 Yleisimmät rakennusmateriaalit

Kiviainekset

Betoniseoksissa käytettiin seulomatonta jokihiekkaa, raekooltaan noin 0...10 mm. Karkea kiviaines oli teräväsärmäistä kalliomursketta, karkeudeltaan noin 10...32 mm. Muuraus- ja rappauslaastia varten jokihiekka seulottiin pellin läpi, joka oli rei'itetty erikokoisilla nauloilla (kuva 14). Näin seulotun hiekan raekooksi saatiin silmämääräisellä arviolla noin 0...4 mm.



KUVA 14. Jokihiekan seulomista yhden miehen voimin

Sementti

Sekä betonissa että muuraus- ja rappauslaasteissa käytettiin samaa sementtiä. Afrikassa yleisestimentti on lujuudeltaan 32,5 N. Se soveltuu erinomaisesti lämpimään ilmastoon suomalaista 42,5 N:n yleisestimenttiä hitaamman sitoutumisensa tähden. Nopeampiakin sementtilaatuja tosin myydään, mutta ne ovat kalliimpia ja niiden käyttö vaatii suurempaa huolellisuutta ja suunnitelmallisuutta. Hidasta sementtiä käyttäessään muurarit saattoivat tehdä laastinsa ennen lounastuntiaan, ja aloittaa muuraamisen vasta tuntia myöhemmin. Markkinoiden edullisimman, Njati-sementin tunnus CEM II 32,5 A-L tarkoittaa portlandseossementtiä, joka sisältää portlandklinkkerin lisäksi 6...20 % kalkkikiveä seosaineena (by 201 2007, 42).

Betoni- ja laastiseokset

Ulkopuolisen urakoitsijan rakentajat suhteittivat betonin ja laastin aina tilavuusosina 1:3 (Mbalazo 2016). Laastiin tuli siten yksi osa sementtiä ja kolme osaa hiekkaa. Betoniin tuli yksi osa sementtiä ja puolitoista osaa sekä murskettä että hiekkaa. Kalibun rakennusmiehet puolestaan noudattivat paljolti sementtisäkin suhteitusohjeita betonia ja laastia sekoittaessaan, eli esimerkiksi raudoitettun rakenteen betoniseos tehtiin useimmiten tilavuusosina 1:4 (kuva 15). Seoksen lihavuus kuitenkin määräytyi käyttökohteen rasitusten mukaan. Tarvittaessa tilavuusosamäärät voitaisiin muuttaa paino-osiksi laskemalla sementin irtotiheydeksi 1200 kg/m^3 , hiekan irtotiheydeksi 1400 kg/m^3 ja kalliomurskeen irtotiheydeksi 1500 kg/m^3 (by 201 2007, 56; Ventoniemen Sora Oy 2017).

RECOMMENDED MIX PROPORTIONS FOR CEM II 32.5 A-L			
	CEMENT	SAND	STONE
FOR REINFORCED CONCRETE	1	3	3
MEDIUM STRENGTH CONCRETE / SCREED	1	3	3
HOME UNREINFORCED CONCRETE	1	3	3
BRICKLAYING/PLASTERING MORTAR	1	3	
BRICK AND BLOCK MAKING	1	3	

KUVA 15. Sementtisäkin suhteitusohjeet

Harjateräkset

Laattapalkkien ja pilarien pääteräkset olivat halkaisijaltaan 16 mm ja leikkaushaat 8 mm. Välipohjien verkot valmistettiin 12 mm:n harjateräksistä, samoin kuin rengaspalkkien pääteräksetkin. (kuva 16)



KUVA 16. Asuntolan palkkilaataston raudoitus tekeillä

Tiilet

Savitiilet oli tehty käsin lyömällä ja miilussa polttamalla. Tiilet oli ladottu miiluksi niin, että tiilikeon sisään jäi tila tulipesälle. Miilun sisimmät tiilet saivat eniten kuumuutta, ja siten lujittuivat polttoprosessissa parhaimmin. Tiilten väristä saattoi päätellä niiden soveltuvuuden rakentamiseen. Kalibu Akatemian lähellä oli useitakin poltettuja tiilimiiluja, mutta niiden kellertävä väri paljasti saven liiallisen hiekkapitoisuuden ja siitä aiheutuvan tiilten heikkouden (kuva 17). Hyvälaatuiset tiilet oli helppo tunnistaa niiden tummanpunervasta väristä. Tiilten kestävyyttä voitiin testata myös pudottamalla kaksi tiiltä ristikkäin maahan. Mikäli päällimmäinen tiili säilyi ehjänä, laatu oli kohdallaan. (Kufa 2016) Tiilet olivat mitoiltaan noin 50 x 90 x 200, vaikkakaan eivät suorareunaisia.



KUVA 17. Alakoulutyömaan takana näkyy muutama poltettu tiilimiilu

Puutavara

Kattorakenteisiin, valumuotteihin, työtasoihin ja kulkusiltoihin käytettiin männystä sahattua tavaraa (kuva 18). Kattotuolien paarteet ja holvimuottien vaakatuuet tehtiin kuuden tuuman (152 mm) lankusta (kuvat 11 ja 12). Epätarkan sahauksen vuoksi paksuus vaihteli tuuman ja kahden välillä (25,4...50,8 mm). Samasta tavarasta saatiin kattotuolien diagonaalit kahtia halkaisemalla. Vertikaalit ja ruoteet olivat profiililtaan 2” x 2” (51 x 51 mm). Rakennustelineiden runkotolpat tehtiin edullisemmasta eukalyptuspuusta, joka oli profiililtaan pyöreätä tavaraa (kuva 18). Sitä käytettiin myös holvimuottien pystytukina (kuva L2.11, liite 2).



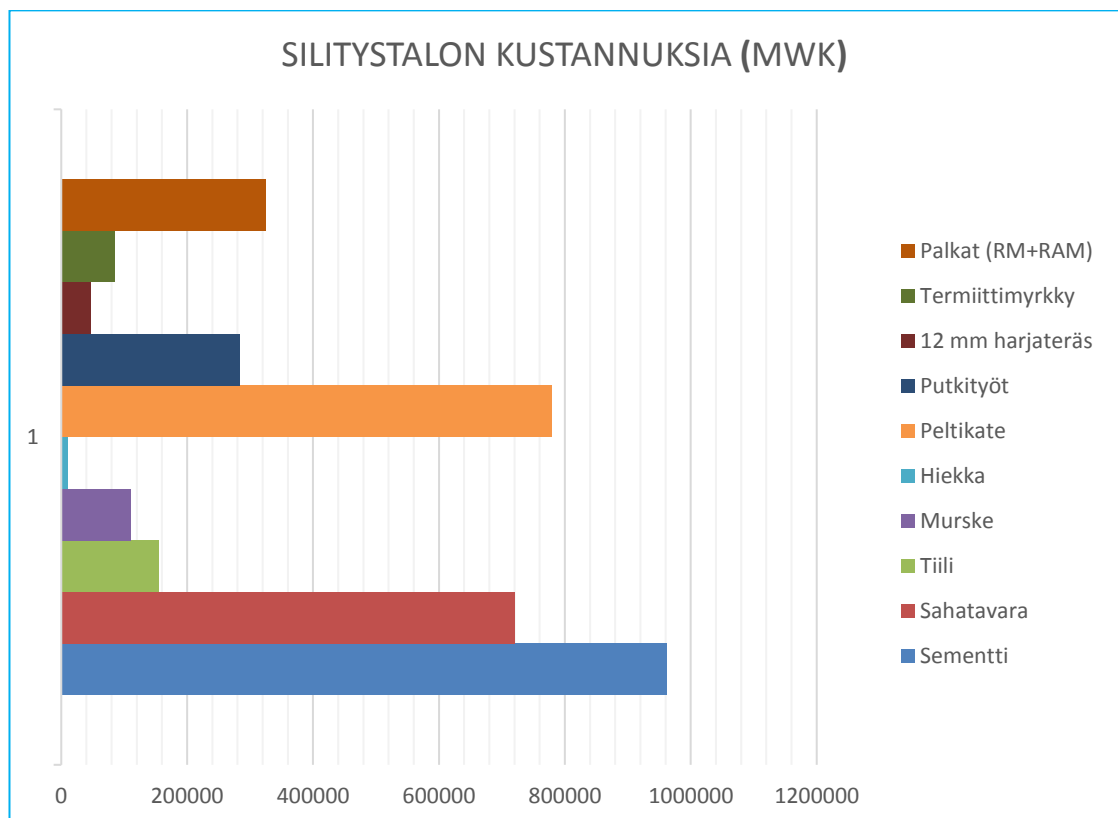
KUVA 18. Kulkusillan rakentaminen kahden kerrostalon välille holvivalua varten

4 TEHOSTUSMAHDOLLISUUKSIEN LÖYTÄMINEN

4.1 Kustannus- ja työmenekkitarkastelu

Malawissa työvoima on suhteellisen halpaa, joten suurin osa rakennuskustannuksista muodostuu rakennusmateriaaleista. Kuitenkaan työvoiman lisääminen ei välttämättä nopeuta työtahtia – usein päinvastoin. Mikäli joku työntekijöistä saa liikaa joutoaikaa, homma alkaa helposti mennä jutusteluksi, ja sen seurauksena koko työryhmän tahti hidastuu.

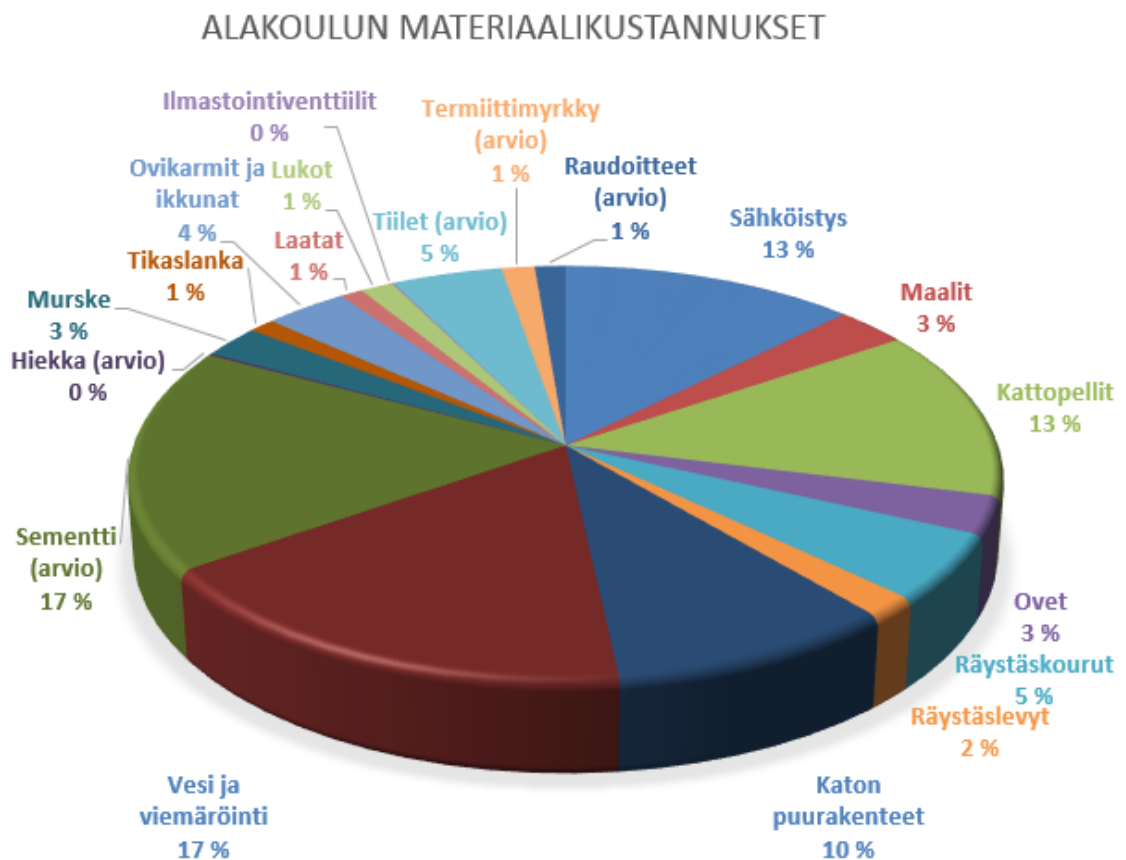
Summaamalla kahden silitystalon eri työvaiheisiin kulunut aika voidaan päätellä, että yhden silitystalon runkotyöt perustuksista kattoeseen kestävät noin neljä kuukautta. Työvoimakulut siltä ajalta ovat noin 10 %:a perustus- ja runkovaiheen kokonaiskustannuksista ja noin kolmannes sementin hinnasta. Palkkakuluihin lasketaan tässä kolmen rakennusmiehen (muurarit ja kirvesmiehet) palkat koko ajalta ja kolmen rakennusapumiehen palkat 2,5 kuukauden ajalta. Seuraava kuvaaja näyttää palkkakulujen lisäksi valtaosan hankkeen materiaalikuluista Malawin kwachoina (kuvio 6).



KUVIO 6: Silitystalon kustannuksia

Voimakas inflaatio vaikeuttaa kauaskantoista rakennuskustannusten arviointia. Rakennusbudjettia laadittaessa hintoja tarkastellaan viimeisen neljän kuukauden ajalta. Mikäli rakennustarvike on kallistunut sinä aikana vähintään viisi kertaa, sen tämänhetkiseen hintaan lisätään 40 %. Jos hinta on noussut neljässä kuukaudessa enintään neljä kertaa, riittää 30 %:n lisäys. (Kufa 2016) Tällaisessa tilanteessa alhaiset palkkakustannukset ovat selkeästi rakennustoiminnan pelastus. Mikäli hallitus nostaa minimipalkkavaatimuksia hälyttävästi, rakennusala joutuu kriisiin. (Howard 2017)

Materiaalihintojen tuijottamisen sijasta on mielekkäämpää tarkastella niiden suhteellisia osuuksia kokonaiskustannuksista. Alakoulun budjetista piirretty kuvaaja havainnollistaa eri rakennustarvikkeiden osuutta hankkeen materiaalikuluista (kuvio 7). Budjetti on laadittu kertomalla ammattirakentajien laskemat materiaalimenekit sopivilla inflaatiokertoimilla (Kufa 2016). Joidenkin tarvikkeiden menekki on päätelty vertailemalla budjettia silitystalon kustannuksiin, koska kustannusarviosta puuttuivat jo aikaisemmin hankitut materiaalit.



KUVIO 7: Alakoulun materiaalikulut

Huomattava menoerä muodostuu sementistä, jota kuluu paljon. Muita kalliita tuontiartikkeleita ovat kaikki terästuotteet, kuten kattopellit. Harjaterästen kustannukset tulevat merkittäviksi vain kerrostaloissa. Myös talotekniikkatarvikkeet sekä kattorakenteisiin kuuluva puutavara muodostavat suuren osan materiaalikustannuksista. Tiilet ovat periaatteessa edullisia, mutta koska työmaiden lähellä ei ole tiilenpoltoon soveltuvaa savea, rahtikustannukset nousevat (Kufa 2016).

Kolmen kuukauden aikana eri rakennusvaiheista erottui joitakin pitempiä kokonaisuuksia, joista voidaan laskea työmenekkejä ja nähdä, mitkä vaiheet vievät eniten aikaa. Seuraavaan taulukkoon on koottu työmenekkejä joistakin Kalibun palkkaamien rakentajien toteuttamista rakennusosista (taulukko 1). Seinien rakentaminen hidastui selvästi rengaspalkista ylöspäin, joten taulukossa on erikseen pelkkä seinämuuraus rengaspalkkiin asti ja toisaalta koko seinän työmenekki alhaalta ylös asti. Työmiesten määrä hieman vaihteli, joten miestyötuntimääriä ei voida pitää täysin tarkkoina. Arvot antavat kuitenkin suuntaa työvaiheiden keston vertailuun.

TAULUKKO 1: Työmenekkejä

<i>Suorite</i>	Aika (h)	Aika (vko)	Työväki (ka)	Laajuus (m ²)	Työtunnit (h x hlö)	Aika / m ² (h)	Työtunnit / m ² (h x hlö)
<i>Holvimuotti</i>	248	5,6	4	305	992	0,8	3,3
<i>Lattiavalu</i>	52	1,2	6	123	312	0,4	2,5
<i>Seinämuuraus</i>	100	2,3	6	98	600	1,0	6,1
<i>Koko seinä</i>	212	4,8	6	140	1272	1,5	9,1
<i>Kattorakenteet</i>	176	4	3	123	528	1,4	4,3

Rakennusvaiheita seurattaessa vaikutti siltä kuin kirvesmiestyöt olisivat olleet kaikista hitaimpia, mutta mikäli taulukon 1 työntekijämäärät pitävät paikkansa, työn laajuuteen ja työvoimaan suhteutettuna hitain työvaihe onkin muuraus. Eräs muurauksen hidaste on tiilien koon pieneneminen aiemmasta (Kufa 2016). Toinen yleinen työn hidaste on se, ettei kuukausipalkka motivoi työntekijöitä ripeään toimintaan. Palkankorotuksetkaan eivät ole tahtia parantaneet (Howard 2016).

4.2 Kehitysehdotusten valinta

Vaikka talotekniikkatarvikkeiden kustannukset muodostavat merkittävän osan rakennuskuluista, ei niihin voida vaikuttaa muuten kuin kilpailutuksen ja rakennussuunnittelun kautta. Muiden materiaalien osalta suurimmat kulut tulevat sementistä, peltikatteesta ja puutavarasta. Rakennuskustannuksia alentavia ratkaisuja on siis todennäköisesti helppointa löytää kyseisiltä alueilta. Rakentamista nopeuttavia tekijöitä mietitään työmotivaation parantamiseen sekä muuraukseen ja kirvestöihin liittyen. Seuraavassa listassa esitetään ajatukset ja ehdotukset rakentamisen tehostamiseksi sekä syyt, miksi ne päätyivät tässä työssä joko tutkittaviksi tai hylättäviksi.

Mahdollisia tutkimusaiheita:

1. Kalibun palkkaamien rakentajien motivointi tulospalkkausjärjestelmällä
Jokaiselle rakennusosalle määritetään työn hinta sen laajuuden mukaisesti, ja rakentajille maksetaan palkkaa työsuorituksen perusteella vakiokuukausipalkan sijaan.
 - Tämä tutkitaan, koska järjestelmän toimiessa säästöjä saavutetaan ilman materiaali-investointeja. Toteutus ei vaadi muuta kuin mittaamista ja laskemista.
2. Muuraustyön nopeuttaminen harkkorakenteella (Rantakangas 2016)
Vaikka harkot ovat tiiliä sata kertaa kalliimpia, se ei tarkoita, että harkkomuuraus kokonaisuudessaan tulisi sata kertaa tiilimuurausta kalliimmaksi.
 - Tämä tutkitaan, koska työnä harkkomuuraus on varmasti tiilimuurausta nopeampaa, ja siksi on syytä selvittää harkko- ja tiilirakenteen todellinen hintaero.
3. Puutavaramenekin pienentäminen kattotuolien paarteet kaventamalla (Halme 2015)
 - Tätä ei tutkita, koska sahatavaran lujuudet olisi pitänyt selvittää koestamalla, mutta kuljetusvaikeuksien vuoksi se jäi tässä yhteydessä tekemättä.

4. Puutavaramenekin vähentäminen ja kirvesmiestyön nopeuttaminen suunnitelmallisuudella sekä holvimuottijärjestelmää kehittämällä
 - Tätä tutkitaan joidenkin työmenetelmien parantamisen kannalta.

5. Raudoitemäärien vähentäminen tarkistamalla ne laskelmin (Rantanen 2015)
 - Tätä ei tutkita, koska merkittäviin kustannussäästöihin päästäisiin lähinnä holviraudoitusta vähentämällä. Betonin vaihtelevan laadun tunteen se ei kuitenkaan olisi niin yksinkertaista. Paikallinen raudoitusurakoitsija toimii käytännön kokemuksensa pohjalta, eikä toimivia ratkaisuja kannata ruveta korjaamaan. Teoreettiset laskelmat eivät mitenkään voi saavuttaa kokemuksen luotettavuutta, kun valuprosessissa on niin paljon epävarmuustekijöitä.

6. Katemateriaalikulujen alentaminen käyttämällä peltikatteen sijasta kattotiiliä
 - Tiilikatteesta ei tullut selvitettyä hintatietoja, mutta jo tiilikattoisten talojen harvinaisuudesta voidaan päätellä peltikatteen tulevan edullisemmaksi. Tiilikatteen asennus olisi varmasti hitaampaa ja vaatisi aluskatteen. Myös kattorakenteiden puutavaramenekki kasvaisi suuremman kuormituksen ja tiheämmän ruodejaon vuoksi. Tätä ei siis tutkita.

7. Sementitarpeen vähentäminen korvaamalla osa siitä lentotuhkalla (Rantakangas 2016)
 - Tätä tutkitaan, koska sementin suuren kustannusosuuden vuoksi tämän idean soveltamisella voisi olla suuri säästövaikutus, ja koska lentotuhkaa on Blantyrestä jokseenkin helposti saatavilla.

5 RAKENNUSPROSESSIN TEHOSTUSMAHDOLLISUUKSIA

5.1 Tulospalkkausjärjestelmän kehittäminen

Rakennusosaurakoihin perustuva tulospalkkausjärjestelmä on ikään kuin urakkasopimus-työskentelyn ja palkkatyön yhdistelmä. Järjestelmän perustamista varten tarvitaan kaikkien rakennusosien työmenekit neliometriä kohti, vaikkapa nykyisen päivätyövaatimuksen mukaisesti. Niiden avulla lasketaan rakennusosien palkkakulut pinta-alojen mukaisesti. Jos rakennusosaurakka kestää yli kuukauden, palkkaa maksetaan joka kuun lopussa sen prosenttiosuuden mukaan, joka koko urakasta on sinä aikana valmistunut. Täten palkka on sitä suurempi, mitä enemmän on saatu aikaan. Vaikka työryhmässä olisi vaihtuvuuttakin, niin kullekin työntekijälle maksetaan palkka siltä ajalta, jonka hän on ollut kyseisessä työssä mukana.

Esimerkki

Muurattava seinäpinta-ala on 257 m^2 .

Työmenekki on $6,1 \text{ h/m}^2$ (taulukko 1).

Rakennusmiesten kuukausipalkka on 18000 MWK ja

rakennusapumiesten kuukausipalkka 14500 MWK (Kufa 2016).

Työviikko on 45-tuntinen.

Laskennan yksinkertaistamiseksi käytetään keskimääräistä kuukauden pituutta, joten viikkojen määrä kuukaudessa lasketaan:

$$52 \div 12 = 4\frac{1}{3}$$

Kuukauden työtuntimääräksi saadaan siten:

$$4\frac{1}{3} \cdot 45 \text{ h} = 195 \text{ h}$$

Muurauksen kesto tunteina:

$$257 \text{ m}^2 \cdot 6,1 \frac{\text{h}}{\text{m}^2} = 1568 \text{ h}$$

Muurauksen kesto kuukausina:

$$1568 \text{ h} \div 195 \text{ h} = 8,04 \text{ kk}$$

Rakennusmiesten työn hinnaksi saadaan siis:

$$8,04 \cdot 18000 \text{ MWK} = 144720 \text{ MWK}$$

Rakennusapumiesten työn hinnaksi tulee:

$$8,04 \cdot 14500 \text{ MWK} = 116580 \text{ MWK}$$

Työryhmään otetaan kolme rakennusmiestä ja kolme rakennusapumiestä. Kun muurattu seinä mitataan ensimmäisen kuukauden lopussa, huomataan koko seinäpinta-alasta valmistuneen 40 %. Rakennusmiehen palkaksi muodostuu siten:

$$0,4 \cdot 144720 \text{ MWK} \div 3 = 19296 \text{ MWK}$$

Rakennusapumiehen palkaksi tulee:

$$0,4 \cdot 116580 \text{ MWK} \div 3 = 15544 \text{ MWK}$$

Kuukauden aikana yksi rakennusapumies oli poissa yhteensä 21 tuntia. Poissaoloajan palkan vähentämiseksi lasketaan työsaavutuksen mukainen rakennusapumiehen tuntiansio.

$$15544 \text{ MWK} \div 195 \text{ h} = 79,71 \text{ MWK/h}$$

Poissaolovähennykseksi tulee siten:

$$79,71 \frac{\text{MWK}}{\text{h}} \cdot 21 \text{ h} = 1673,91 \text{ MWK}$$

Helpointa on, jos poissaolevan työntekijän tilalle saadaan sijainen, koska silloin kyseinen summa voidaan maksaa tälle. Muussa tapauksessa summa jaetaan niiden työntekijöiden kesken, joiden työtaakka kasvoi työtoverinsa poissaolon vuoksi. Mikäli kenenkään työtaakka ei kasvanut, vaan työ ainoastaan hidastui, summa jaetaan kaikkien työryhmän jäsenten kesken.

Tämä menetelmä todennäköisesti kääntäisi työmiesten ryhmäpainetta ahkerampaan suuntaan, koska jokainen tietäisi, että mitä nopeammin työ edistyy sitä parempi tilinauha seuraa. Toisaalta se lisäisi byrokratiaa, mutta rutiinin muodostuttua se tuskin haittaisi enää. Edistymisen seuranta sopisi hyvin työkaluvarastonhoitajalle, joka pitää päiväkirjaa työsäikävijöistä. Läsnaolomerkintöjen lisäksi olisi merkittävä, missä rakennusosaurakassa kukin työntekijä milloinkin työskentelee.

5.2 Muottityö

Holvimuotin rakentamista voisi nopeuttaa säädettävällä muottijärjestelmällä, mutta muottityötä olisi oltava paljon, jotta sen rakentaminen tulisi kannattavaksi. Tällä hetkellä asia ei ole ajankohtainen, koska Kalibun nykyisillä rakennustyömailla välipohjat on jo valettu. Tässä esitetään silti joitakin työmenetelmien parannuskeinoja muottityön nopeuttamiseksi ja materiaalin säästämiseksi.

Keino 1: *Muottimateriaalien kierrätys maksimoidaan rakennussuunnittelun avulla.*
Yliopiston monikerroksisten asuntoloiden pilari-palkkilinjat eivät kulkeneet samoissa kohdin, vaikka ne olivat pohja-alaltaan ilmeisen identtisiä. Jos joka talossa tukilinjat olisi mitattu paikoilleen tasavälein, aikaa ja materiaalia olisi säästynyt muottityössä, koska samoja muottilevyjä ja -lankkuja olisi voitu käyttää talosta ja välipohjasta toiseen niitä välillä juurikaan sahaamatta.

Keino 2: *Valumuotin yläpinta vaaitaan aina valun yläpinnan tasoon.*
Silitystalon lattiavalumuotti oli rakennettu niin, että sen yläreuna oli noin tuuman verran lattiakorkoa ylempänä, eikä lattiavalusta siten saatu suoraa (kuva 19). Tämä hidasti seinämuurauksen alkua, koska vaakataso piti tehdä ensimmäisen tiilirivin avulla. Jos muotti olisi asennettu lattiavalun yläpinnan tasoon ja tarkasti vaakasuoraan, muurausalustasta olisi automaattisesti tullut suora.



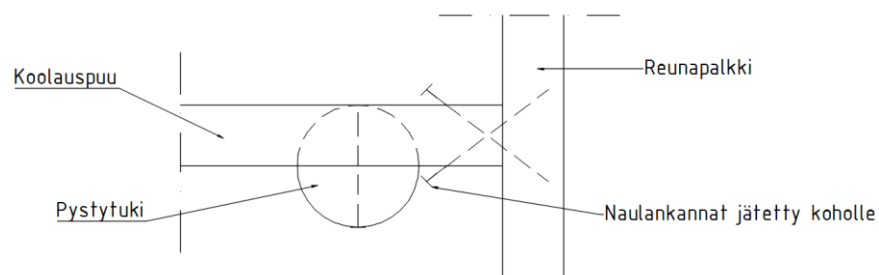
KUVA 19. Väärään korkoon rakennettu lattiavalumuotti

Keino 3: *Muottilevyihin tehtävät läpiviennit toteutetaan väljinä sovitteina.*

Viemäriputkea varten holvimuotin muottilevyyn tehty reikä oli usein juuri putken kokoinen eikä yhtään isompi. Parempi olisi tehdä reiästä reilun kokoinen, halkaisijaltaan ainakin 20 mm:ä putken ulkohalkaisijaa suurempi, ja sitten tilkitä putken juuri vaikkapa murskeella. Näin tehden muottilevy olisi helpompi irrottaa putkea rikkomatta.

Keino 4: *Muotit pyritään rakentamaan niin, että ne saadaan purettua ehjinä.*

Holvimuotin kannatinpalkit ristikkäisnaulattiin päistään reunapalkkeihin. Naulat lyötiin upoksiin asti, jotta muotti ei pettäisi valussa (Kufa 2016). Ristikkäisnaulauksen tähden palkkeja ei voinut irrottaa ilman, että niiden päät repeilivät, mikä lisäsi materiaalihukkaa. Purkamisen kannalta olisi parempi jättää naulat ainakin yhdeltä puolelta koholle, jotta ne saisi vedettyä ulos ennen palkkien irrottamista (kuvio 8). Muotin pettäämättömyys voidaan varmistaa asentamalla pystytuet lähelle kannatinpalkkien päitä. Vaikka pystytukia tarvittaisiin siten enemmän, sekä lankkutavaraa että työaika säästyisi. Ruuvien käyttö ajaisi saman asian, mutta ilman sähkökäyttöisiä ruuvinvääntimiä se vain hidastaisi työtä.



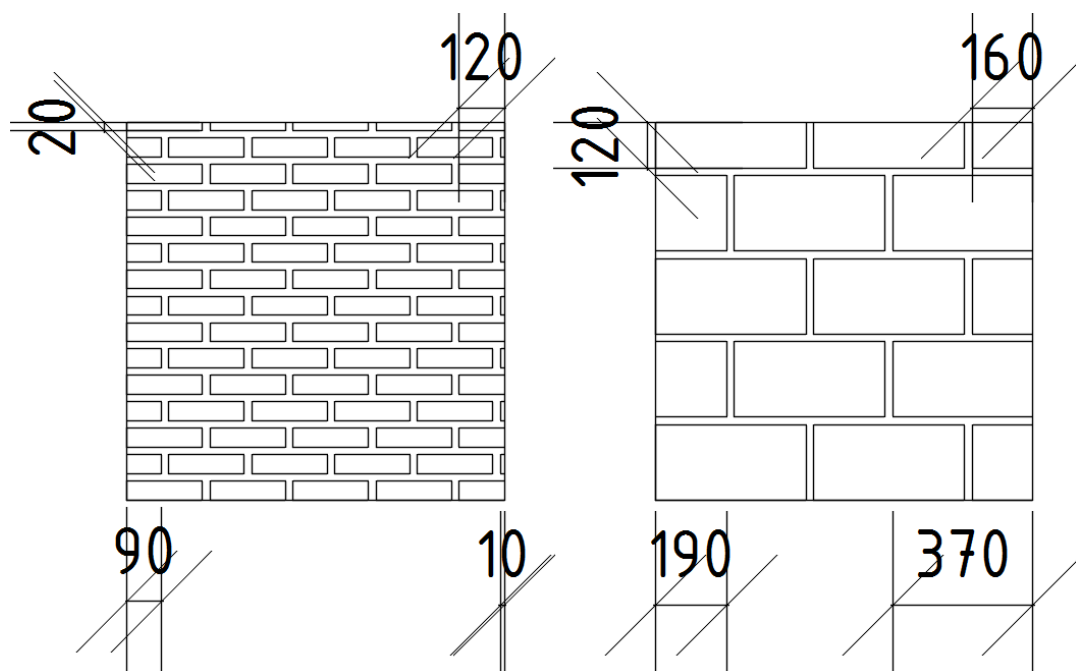
KUVIO 8. Periaatepiirros helposti purettavasta holvimuotin liitoksesta päältä katsoen

5.3 Harkkorakenne

Tässä vertaillaan harkko- ja tiilimuurauksen kustannuksia alkuvuoden 2016 hinnoilla. Tiilten hinnasta kuitenkin puuttuvat rahtikulut, jotka vaihtelevat sen mukaan, kuinka kaukaa tiilet tuodaan. Harkkoille ei rahtikuluja juuri tulisikaan, jos niitä Kalibu Akatemian työmailla käytettäisiin, koska lähin harkkotehdas sijaitsee melkein naapurissa.

Betoniharkot maksavat 600,00 kwachaa kappaleelta, mutta tiilet vain 6,00 kwachaa. Jos saisi hankittua oman harkkokoneen, voisi sopivalla seossuhteella yrittää harkon hintaa vielä pudottaa (Rantakangas 2016). Paikallisen harkkotehtaan betoniseoksessa käytetään kivituhkaa, jokihiekkaa, pientä mursketta (≤ 10 mm) ja 42,5 N lujuusluokan sementtiä. Harkkokoneen täristävän ja puristavan tiivistystoiminnon takia seoksesta pystytään tekemään varsin laihaa: 150 harkon valmistukseen tarvitaan vain 15 kg sementtiä.

Jos harkkoseinän tekisi ohutsaumamuurauksena laastikelkan avulla, työ joutuisi nopeasti (Rantakangas 2016). Ohutsaumalaastin hinta ja saatavuus jäi kuitenkin selvittämättä, joten tässä tarkastelussa käytetään 20 mm:n laastisaumaa sekä tiili- että harkkorakenteelle. Tiilet ovat kokoa 50 x 90 x 200 ja harkot kokoa 200 x 200 x 400. Seuraavasta piirroksesta voidaan laskea materiaalimenekit seinäneliömetriä kohti (kuvio 9). Näkyvien tiilten määrä kerrotaan kahdella, koska muuraus on kaksinkertainen. Tulokseksi saadaan, että tiiliä mahtuu seinäneliömetriin 131,08 ja harkkoja 11,04.



KUVIO 9. Neliömetri tiiliseinää ja harkkoseinää

Laastimenekin laskeminen

Laastin menekki lasketaan vähentämällä seinäneliömetrin tilavuudesta muurauskappaleiden yhteistilavuus. Seinän paksuus on 200 mm, joten sen tilavuus on $0,2 \text{ m}^3$.

Laastisaumojen tilavuus neliömetrin tiilimuurissa:

$$0,2 \text{ m}^3 - 0,05 \text{ m} \cdot 0,09 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 131,08 = 0,082 \text{ m}^3$$

Laastisaumojen tilavuus neliömetrin harkkomuurissa:

$$0,2 \text{ m}^3 - 0,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 11,04 = 0,023 \text{ m}^3$$

Harkon muodosta johtuen muuraus toteutetaan rakosaumoin (kuva 20). Harkkojen seinämävahvuus on 25 mm, joten laastimenekki on todellisuudessa vain neljäsosa saumojen tilavuudesta eli noin $0,006 \text{ m}^3$.



KUVA 20. Paikallisen harkkotehtaan betoniharkkoja

Laastin kuutiohinnan laskeminen

Materiaalihinnat: sementti $6407,00 \text{ MWK/sk} = 33 \text{ dm}^3 = 0,033 \text{ m}^3$
 hiekka $1000,00 \text{ MWK/tn} = 1400,00 \text{ MWK/m}^3$
 (Ventoniemen sora Oy 2017)

Jos laasti tehdään suhteella 1:6, yhtä sementtisäkkiä kohti tarvitaan hiekkaa:

$$6 \cdot 0,033 \text{ m}^3 = 0,198 \text{ m}^3$$

Seoksen tilavuudeksi tulee $0,231 \text{ m}^3$ ja hinnaksi:

$$6407,00 \text{ MWK} + 0,198 \text{ m}^3 \cdot 1400,00 \frac{\text{MWK}}{\text{m}^3} = 6684,20 \text{ MWK}$$

Laastin kuutiohinnaksi saadaan:

$$\frac{6684,20 \text{ MWK}}{0,231 \text{ m}^3} = 28935,93 \text{ MWK/m}^3$$

Tiiliseinän neliöhinnan laskeminen

Tiilten neliöhinta (rahtikuluitta):

$$131,08 \cdot 6,00 \text{ MWK} = 786,48 \text{ MWK}$$

Laastin neliöhinta:

$$0,082 \text{ m}^3 \cdot 28935,93 \frac{\text{MWK}}{\text{m}^3} = 2372,75 \text{ MWK}$$

Neliöhinta yhteensä:

$$786,48 \text{ MWK} + 2372,75 \text{ MWK} = 3159,23 \text{ MWK}$$

Harkkoseinän neliöhinnan laskeminen

Harkkojen neliöhinta:

$$11,04 \cdot 600,00 \text{ MWK} = 6624,00 \text{ MWK}$$

Laastin neliöhinta:

$$0,006 \text{ m}^3 \cdot 28935,93 \frac{\text{MWK}}{\text{m}^3} = 173,62 \text{ MWK}$$

Neliöhinta yhteensä:

$$6624,00 \text{ MWK} + 173,62 \text{ MWK} = 6797,62 \text{ MWK}$$

Harkkomuurauksen materiaalihinta on täten hieman yli kaksinkertainen tiilimuurauksen materiaalihintaan nähden. Mikäli kohteessa joudutaan käyttämään lihavampaa laastia, tiilimuurauksen hinta nousee harkkomuurauksen hintaa enemmän sen suuremman laastimenekin vuoksi. Työtahtia on vaikea vertailla muuraukspaleiden erilaisuuden takia, mutta koska laastin tarve harkkomuurauksessa on vain vajaa kolmastoistaosa tiilimuurauksen laastimenekistä, voidaan olettaa laastin sekoittamiseen kuluvan ajan vähenevän samassa suhteessa. Harkkomuuraus sopisi siten erityisesti tilanteeseen, jossa pitäisi saada paljon aikaan lyhyessä ajassa ja vähällä väellä.

5.4 Sementtitarpeen vähentäminen lentotuhkalla

5.4.1 Lentotuhkan käyttö betonin seosaineena

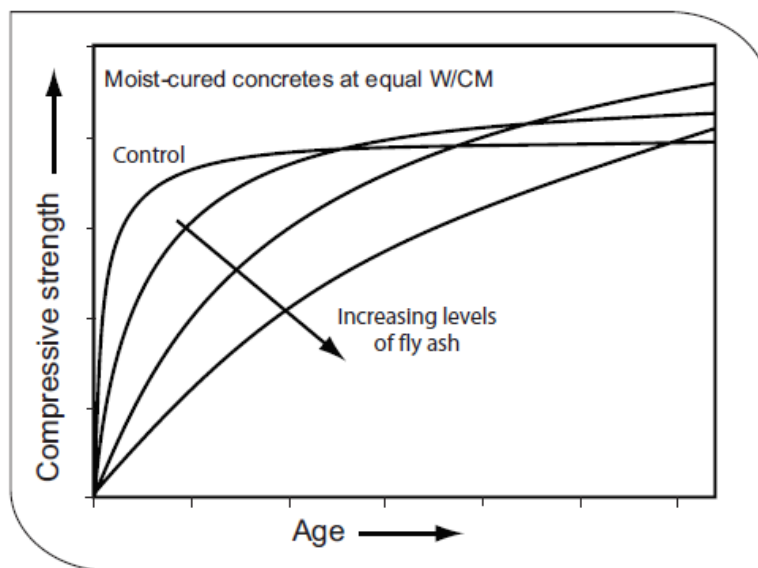
Lentotuhka on mineraalinen seosaine, jota saadaan kivihiilivoimalan sivutuotteena savukaasuista erottamalla. Se voi toimia betonissa sekä hienona kiviaineksena (raekoko 1...150 µm) että sideaineena, joten sillä voidaan korvata osa sementistä. Lentotuhkan reaktiivisuus suhteessa sementin reaktiivisuuteen on 0,4. (by 201 2007, 59) Jotkut lentotuhkan ainesosista ovat olomuodoltaan amorfisia eli lasimaisia ja jotkut kiteisiä. Lentotuhkan mineraalinen koostumus riippuu paljolti poltetun kivihiilen koostumuksesta. (Portland Cement Association 2007, 2–3)

Runkoaineen ominaisuudessa lentotuhka vähentää sementin tarvetta, koska se lisää betoniseoksen hienoaineksen määrää. Sementille jää siten vähemmän tilaa täytettäväksi. (by 201 2007, 35, 129) Lentotuhkan pyöreä raemuoto sekä hienojakoisuus vaikuttavat betonimassaan notkistavasti. Karkeasti arvioiden sementistä 10 % korvaamisen lentotuhkalla pitäisi vähentää vedentarvetta vähintään 3 %, kun betonimassan notkeus pidetään vakiona. (Portland Cement Association 2007, 2, 4) Toisaalta jos lentotuhka on kovin hiilipitoista, vedentarve kasvaa, eikä tavallista betonia alhaisemman vesi-sementtisuhteen tuomaa lujuuden kasvua saavuteta. Hiilipitoisuutta voidaan selvittää hehkutuskokein, vaikka se usein vaihtelee. (by 201 2007, 59) Standardin SFS 450-1 mukaan A-luokan lentotuhkan hehkutushäviö saa olla korkeintaan 5 %, B-luokan korkeintaan 7 % ja C-luokan korkeintaan 9 %. (Paavola 2013, 10)

Sideaineena lentotuhka osallistuu lähinnä pozzolaaniseen reaktioon, jossa alumosilikaatit reagoivat alkalien tai kalkin lähteen, kuten kalsiumhydroksidin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kanssa. Pozzolaaninen reaktio tapahtuu sementin hydrataatiota verkkaisemmin, joten betonin kovettuminen hidastuu. Kalsiumoksidin (CaO) määrä lentotuhkassa vaikuttaa oleellisesti tämän reaktiivisuuteen betoniseoksessa. Lentotuhkan kalkkipitoisuuden ollessa yli 20 % se sisältää pääainesosansa kalsium-alumosilikaatin lisäksi myös veden kanssa reagoivia kiteisiä mineraaleja. Silloin sekä lentotuhkan suurempi kalsiumoksidin määrä että hydratoitumiskyky nopeuttavat seoksen kovettumista. (Portland Cement Association 2007, 3)

Lentotuhkallisen betonivalun jälkihoito on ensisijaisen tärkeää lujittumisen kannalta. Valua on pidettävä kosteana vähintään viikon ajan, mieluummin pidempäänkin. Korkea lämpötila nopeuttaa betonin kovettumista ja pozzolaanista reaktiota, joten lentotuhka sopii erityisen hyvin lämpimässä ilmastossa käytettäväksi. Lentotuhkan käytöstä on etua myös massiivisissa betonivaluissa, sillä se laskee betonin hydrataatiolämpöä. (Portland Cement Association 2007, 6, 8)

Standardissa SFS 450-1 on määritelty, kuinka paljon sementtiä voidaan korvata lentotuhkalla. 28 päivän iässä lentotuhkallisen betonin on saavutettava vähintään 75 %:a normaalibetonin lujuudesta, ja 91 päivän iässä vähintään 85 %. (Paavola 2013, 10–11) Hitaamman kovettumisen tähden lentotuhkallisen betonin varhaislujuus on tavallisen betonin varhaislujuutta alhaisempi, mutta loppulujuus yleensä hieman tavallista korkeampi, kuten kuvio 10 osoittaa (Portland Cement Association 2007, 8).



KUVIO 10. Lentotuhkan määrän vaikutus betonin kovettumiseen (Portland Cement Association 2007, 8)

5.4.2 Vertailututkimus

Materiaalikulujen pienentämiseksi kokeiltiin osan sementin korvaamista lentotuhkalla, jota saatiin haettua läheisestä Blantyren kaupungista. Tutkimusta varten valettiin koekappaleita sekä sementtilaastista että betonista. Koska ne oli kuljetettava Suomeen koestettaviksi, ei koesarjoista voitu tehdä tarpeeksi kattavia. Hehkutuskoetta ei tässä tapauksessa tehty – vertailtiin vain tavallista betoniseosta sellaiseen seokseen, jossa 15 %:a sementistä oli korvattu lentotuhkalla. Koekappaleet valettiin 12. ja 13.4.2016 sisätiloissa, lämpötilan ollessa +24 °C. Seokset suhteitettiin digitaalisen Salter-keittiövaan ja mitta-astioiden avulla. Muotteina toimivat putken pätkät, joiden sisähalkaisija oli 75 mm.

Tavallinen laastiseos aiottiin tehdä sementtisäkin kyljessä olevan ohjeen mukaisesti suhteella 1:8 eli yksi tilavuusosa sementtiä ja kahdeksan tilavuusosaa seuloitua hiekkaa. Seos ei kuitenkaan tuntunut toimivalta, joten se päädyttiin tekemään tilavuusosina 1:6, painoosina määritetyllä vesi-sementtisuhteella 1. Lopulliseen sementtilaastiseokseen tuli 211,5 ml eli 243 g sementtiä, 1269 ml hiekkaa ja 243 ml eli 243 g vettä, ja siitä valettiin kolme koekappaleita.

Toisessa laastiseoksessa korvattiin 15 %:a sementin massasta lentotuhkalla. Hiekkaa oli saman verran kuin ensimmäisessä laastiseoksessa. Lentotuhkan määrä oli:

$$0,15 \cdot 243 \text{ g} = 36,45 \text{ g} \approx 36 \text{ g}$$

Sementin määräksi jäi siten:

$$0,85 \cdot 243 \text{ g} = 206,55 \text{ g} \approx 207 \text{ g}$$

Vettä vähennettiin 4,5 %:lla edellisen seoksen vesimäärästä. Vettä tarvittiin siis:

$$0,955 \cdot 243 \text{ ml} = 232,065 \text{ ml} \approx 232 \text{ ml}$$

Lentotuhkan seassa huomattiin olevan jonkin verran kokkareita. Laastikoekappaleisiin pyrittiin valitsemaan silmämäärin hienojakoista lentotuhkaa, mutta betonikoekappaleiden valua varten valmistettiin siivilä, silmäkooltaan noin 2 mm, jonka läpi lentotuhka seulo-

tiin. Kokkareet olivat väriltään hieman hienojakoista lentotuhkaa tummempia, mistä päätellen ne olivat myös hiilipitoisempia. Hiekan seassa puolestaan oli pieniä puuhiilenpalasia, joista isoimmat poistettiin, mutta joitakin pienempiä jätettiin, jotta testituloksista saataisiin paremmin todellisuutta vastaavia.

Tavallinen betoniseos valmistettiin tilavuusosina 1:2:2 eli yksi osa sementtiä, kaksi osaa jokihiekkaa ja kaksi osaa murskettä. Sementtiä seokseen tuli 245 ml eli 282 g, jokihiekkaa ja murskettä kumpaakin 490 ml. Vettä lisättiin 174 g, joten vesi-sementtisuhteeksi muodostui:

$$\frac{174}{282} = 0,62$$

Tästä seoksesta valettiin kaksi koekappaletta.

Lentotuhkallisesta betoniseoksesta oli valettava kolme koekappaletta, joten edellisen betoniseoksen määrät 1,5-kertaistettiin. Jokihiekkaa ja murskettä molempia tuli siis:

$$1,5 \cdot 490 \text{ ml} = 735 \text{ ml}$$

Sideaineen määräksi saatiin:

$$1,5 \cdot 282 \text{ g} = 423 \text{ g}$$

Siitä lentotuhkan osuus oli:

$$0,15 \cdot 423 \text{ g} = 63,45 \text{ g} \approx 63 \text{ g}$$

Sementin osuudeksi jäi 360 g. Kun vettä vähennettiin normaalista 4,5 %:a, sen määräksi saatiin:

$$1,5 \cdot 174 \text{ ml} \cdot 0,955 = 249,255 \text{ ml} \approx 249 \text{ ml}$$

Koekappaleet peitettiin muovilla, ja niitä kasteltiin päivittäin viikon verran (kuva 21). Sen jälkeen ne pakattiin tiukasti muoviin, jotta ne eivät kuivuisi. Kosteus pysyikin hyvin, sillä muotteja purettaessa koekappaleet olivat edelleen märkiä.

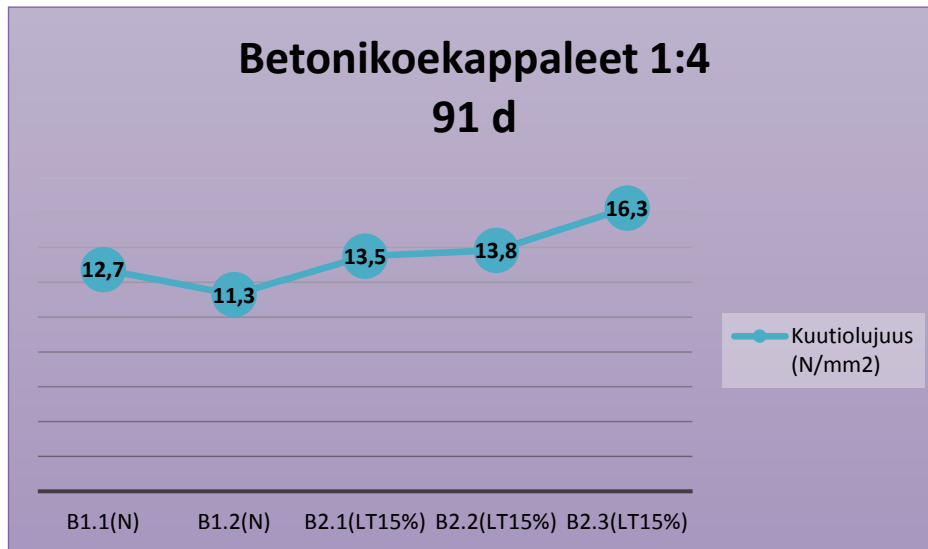


KUVA 21. Vastavalettuja koekappaleita

Testikappaleet puristettiin rikki Tamkin rakennuslaboratoriossa Auto-ADR-puristuskojeella nopeudella 6 kN/s. Muotit poistettiin päivää aiemmin, ja kappaleet katkaistiin sopivaan pituuteen timanttisahalla, samalla puristuspinnot tasaten. Tiheyden selvittämiseksi kappaleet mitattiin digitaalisella työntömitalla ja punnittiin. Kaksi laastikappaletta koestettiin 28 päivän iässä, mutta kaikki muut koekappaleet 91 päivän iässä lentotuhkan lujuudenkehitystä hidastavan vaikutuksen vuoksi.

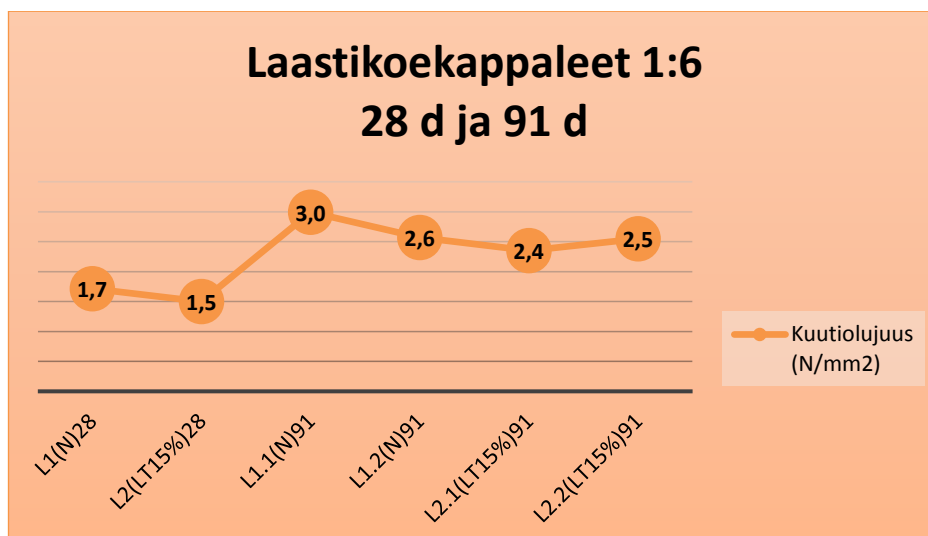
Ensimmäisten laastikappaleiden koestuksesta ilmeni, että 28 päivän iässä lentotuhkallinen kappale oli hieman heikompi kuin pelkkää sementtiä sideaineena sisältävä kappale. Siten oli toiveena, että 91 vuorokauden ikään mennessä lentotuhkalliset laastikappaleet olisivat lujittuneet kestävämmiksi kuin tavalliset laastikappaleet. Niin ei kuitenkaan käynyt, vaan myös 91 päivän iässä laastikappaleiden koestuksesta saatiin samansuuntaiset tulokset: lentotuhkalliset laastikappaleet olivat keskimäärin hieman tavallisia laastikappaleita heikompia. Betonikappaleiden kanssa kävi juuri päinvastoin: kaikki lentotuhkal-

liset betonikappaleet olivat 91 päivän iässä hieman lujempia kuin tavalliset betonikappaleet (kuvio 10 ja liite 1). Siinä vaiheessa lentotuhka oli kasvattanut koekappaleiden keskilujuutta 20 prosentilla.



KUVIO 11. Kahden tavallisen ja kolmen lentotuhkallisen betonikappaleen kuutiolujuudet

Koska laastikappaleiden lentotuhka oli seulomatonta, mutta betonikappaleiden lentotuhka seulottua, ei ole varmaa, johtuiko laastikappaleiden heikentyminen juuri tuhkassa olleista kokkareista, jotka puristuksessa antoivat ensimmäisenä myöten, vai eikö lentotuhka sovellu laihahkoon laastiin. Vaikka näin suppeiden koesarjojen tuloksista ei voida vetää varmoja johtopäätöksiä, niistä silti nähdään eräs huomionarvoinen seikka: sekä 28:n että 91 päivän iässä lentotuhkallisten laastikappaleiden keskimääräinen lujuus ylitti 85 %:a tavallisten laastikappaleiden keskilujuudesta (kuvio 11 ja liite 1).



KUVIO 12. Laastikappaleiden kuutiolujuudet

6 POHDINTA

Malawissa hyvin yleinen rakennustapa tuli varsin tutuksi tämän työn kautta, samoin siellä käytetyt tavallisimmat rakennusmateriaalit. Työn tarkoitus siis täyttyi johtaen työn tavoitteeseen eli konkreettisiin muutosehdotuksiin rakennusprosessin tehostamiseksi. Eri asia on, tulevatko muutosehdotukset käyttöön, koska ne kaikki vaativat vähintään ajan ja vai- van investoimista niiden toteuttamiseksi ennen kuin ne alkavat tuottaa säästöä.

Tulospalkkausjärjestelmän luomiseksi on nähtävä se vaiva, että selvittää kaikkien raken- nustöiden työmenekit. Tässä työssä esitetyt työmenekit ovat epätarkkoja, koska aineis- tonkeruuvaiheessa työntekijöiden päivittäiset määrät jäivät merkitsemättä muistiin.

Muottityön parannusehdotukset liittyvät siihen, ettei rakennettaessa juuri ajatella kyseistä työvaihetta pitemmälle. Vaikka suunnittelun vähyys nopeuttaakin työn aloittamista ja to- leranssien suuruus työn kulkua, aiheuttavat ne toisinaan myös hidasteita ja materiaalime- nekin kasvua.

Betoniharkkotuotannon aloittaminen olisi suuri investointi, mutta jopa ostetuilla harkoilla harkkomuuraus olisi kokeilemisen arvoinen. Niin tehden olisi mahdollista vertailla myös harkko- ja tiilirakenteen työmenekkejä ja sitä kautta todellisia kokonaiskustannuksia.

Lentotuhkan käyttö betonissa todella alentaisi materiaalikustannuksia, mutta se vaatisi lisätutkimuksia lentotuhkan optimaalisimman määrän sekä laatuvaihteluiden selvittä- miseksi. Parasta olisi, jos koekappaleet voisi koestaa Malawissa. Mikäli lentotuhkaa alet- taisiin käyttää, olisi joitakin betonoinnin työtapoja muutettava. Jälkihoito olisi tehtävä paljon nykyistä huolellisemmin. Parhaaseen tulokseen varmasti päästäisiin koneellisella sekoituksella, mutta käsin sekoittaenkin se olisi mahdollista. Sementti ja seulottu lento- tuhka vain olisi sekoitettava ensin tarkasti keskenään. Se aiheuttaisi jonkin verran lisä- työtä ja vaatisi siihen tehtävään perehdytetyt henkilöt sitä tekemään. Se kuitenkin toden- näköisesti tulisi kannattavaksi etenkin laajoissa rakennushankkeissa, koska materiaali- kustannukset ovat työkustannuksia paljon suuremmat. Lentotuhkan käyttö olisi paras aloittaa maanvaraisen laatan valamisesta kuumankostean sadekauden aikana. Silloin ei olisi vaaraa liian aikaisesta muotin purkamisesta, ja ilmasto-olosuhteet olisivat lentotuh- kan pozzolaaniselle reaktiolle otollisimmat.

LÄHTEET

Halme, S. Teknikko. 2016. Keskustelu 1.2016.

Howard, M. Pastori, toiminnanjohtaja. 2015. Keskustelu 5.2015

Howard, M. Pastori, toiminnanjohtaja. 2016. Keskustelu 2.3.2016.

Howard, M. Pastori, toiminnanjohtaja. 2017. Re: Thesis and drawings. Sähköpostiviesti. Luettu 22.4.2017.

Kufa, B. Rakennusosaston johtaja. 2016. Keskusteluja 29.1.–19.4.2016

Mbalazo, M. Rakennusurakoitsija. 2016. Keskustelu 1.4.2016.

Paavola, T. 2013. Lajitellun lentotuhkan käyttö betonissa. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Rantanen, J. Kirvesmies. 2015. Keskustelu 9.2015.

Rantakangas, P. Kirvesmies. 2016. Keskustelu 6.4.2016.

SFS-EN 450-1 + A1 Fly Ash for Concrete. Part 1: Definition, Specifications and Conformity Criteria. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2004. Betoninormit 2004 by 50. 5. painos. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2007. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

Thomas, M. Portland Cement Association. 2007. Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete. Tulostettu 7.4.2016. http://www.cement.org/docs/default-source/fc_concrete_technology/is548-optimizing-the-use-of-fly-ash-concrete.pdf

Ventoniemen Sora Oy. 2017. Soralaadut. Luettu 10.1.2017. <http://www.ventoniemi.fi/sora/soralaadut.php>

LIITTEET

Liite 1. Betoni- ja laastikoeokappaleiden koestustiedot

Koekappaleen tunnus	Valupäivä	Koestusikä (d)	Korkeus (m)	Halkaisija (m)	Tilavuus (m ³)	Paino (kg)	Tiheys (kg/m ³)	Pään pinta-ala (m ²)	Murtokuorma (kN)	Puristuslujuus (kN/m ²)	Kuutiolujuus (N/mm ²)
T3K1.1	5.7.2015	28	0,0756	0,0696	0,0003	0,656	2279,5	0,003806	22,2	5833,4	6,4
T3K1.2	5.7.2015	28	0,0757	0,0696	0,0003	0,657	2281,5	0,003805	48,2	12668,9	13,9
T3K1.3	9.7.2015	28	0,0750	0,0699	0,0003	0,665	2309,6	0,003837	32,8	8547,3	9,4
T3H.4	11.7.2015	28	0,0757	0,0701	0,0003	0,659	2259,7	0,003854	38,1	9886,0	10,9
T3H.5	11.7.2015	28	0,0756	0,0695	0,0003	0,669	2332,6	0,003794	41,5	10939,3	12,0
T3H.6	11.7.2015	28	0,0755	0,0708	0,0003	0,657	2212,2	0,003935	33,6	8539,4	9,4
T3H.7	13.7.2015	28	0,0757	0,0698	0,0003	0,67	2316,6	0,003821	33,5	8767,3	9,6
T3H.8	13.7.2015	28	0,0753	0,0706	0,0003	0,657	2230,6	0,003914	34,6	8841,0	9,7
T3H.9	13.7.2015	28	0,0750	0,0708	0,0003	0,666	2255,6	0,003937	44,9	11404,9	12,5
T3H.10	13.7.2015	28	0,0754	0,0709	0,0003	0,664	2234,6	0,003944	35,9	9103,4	10,0
L1(N)28	12.4.2016	28	0,0759	0,0751	0,0003	0,627	1868,3	0,004427	6,9	1558,5	1,7
L2(LT15%)28	12.4.2016	28	0,0758	0,0749	0,0003	0,64	1918,5	0,004403	6	1362,8	1,5
L1.1(N)91	12.4.2016	91	0,0749	0,0750	0,0003	0,593	1795,4	0,004412	12	2719,9	3,0
L1.2(N)91	12.4.2016	91	0,0750	0,0749	0,0003	0,587	1778,7	0,004406	10,3	2337,7	2,6
L2.1(LT15%)91	12.4.2016	91	0,0756	0,0748	0,0003	0,596	1795,2	0,004394	9,4	2139,1	2,4
L2.2(LT15%)91	12.4.2016	91	0,0748	0,0749	0,0003	0,6	1822	0,004400	10,2	2318,1	2,5
B1.1(N)	12.4.2016	91	0,0755	0,0748	0,0003	0,745	2246,1	0,004394	50,9	11583,1	12,7
B1.2(N)	12.4.2016	91	0,0753	0,0747	0,0003	0,742	2248,4	0,004383	45	10267,9	11,3
B2.1(LT15%)	13.4.2016	91	0,0754	0,0747	0,0003	0,727	2200,9	0,004383	53,8	12275,8	13,5
B2.2(LT15%)	13.4.2016	91	0,0748	0,0748	0,0003	0,723	2199,9	0,004394	55,3	12584,4	13,8
B2.3(LT15%)	13.4.2016	91	0,0755	0,0748	0,0003	0,727	2194,7	0,004388	64,9	14788,8	16,3

Liite 2. Lisää valokuvia Kalibun työmailta



KUVA L2.1. Maakaapelia vedetään vastarapattuun yliopiston hallintorakennukseen



KUVA L2.2. Vastavalettuja alakoulun kokoontumishallin pilarianturoita



KUVA L2.3. Vielä käyttämätön alusta betonin ja laastin sekoitukseen



KUVA L2.4. Luokkarakennuksen alustäyttöä tiivistetään



KUVA L2.5. Alapohjan tiilikerroksen ladonta ja lattiavalu meneillään



KUVA L2.6. Silitystalon seinien muurausta



KUVA L2.7. Asuntolan ylimmän kerroksen rengaspalkkivalu



KUVA L2.8. Ikkunakehikko liitetään seinään muurauslaastilla



KUVA L2.9. Puunsuoja-aineen sivelyä silitystalon kattotuoleihin



KUVA L2.10. Hallintorakennuksen sisäkattolevytystä



KUVA L2.11. Julkumetsää



KUVA L2.12. Sähköputkia asennetaan asuntolan välipohjaan