

Ville-Veikko Tuokila

## **KUITUBETONIN KÄYTTÖ PAALULAATASTOSSA**

# **KUITUBETONIN KÄYTTÖ PAALULAATASTOSSA**

Ville-Veiko Tuokila  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, talonrakennustekniikka

---

Tekijä(t): Ville-Veikko Tuokila  
Opinnäytetyön nimi: Kuitubetonin käyttö paalulaatastossa.  
Työn ohjaaja(t): Martti Hekkanen  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 50 + 4 liitettä

---

Kuitubetonin käyttö on jäänyt Suomessa vähäiseksi rakennusteollisuudessa käytettävään betonimäärään nähden. Kuitubetonirakenteen hyödyillä betonirakentamisessa on pyritty nopeuttamaan rakennuskohteen työaikataulua edellyttäen, että betonirakenne on aikataulullisesti kriittisellä tiellä vaikuttaen työvaiheiden tahdistukseen.

Opinnäytetyössä tutkittiin paaluperusteisen kuitubetonilattian kustannuksia tavaratalohankkeessa. Tutkimuskohteessa vertailtiin kuitubetonilaattaa ja kahta kohteeseen mitoitettua harjateräslaattaa. Rakenteiden väliset työvaiheet poikkesivat toisistaan merkittävimmin materiaali- ja työmenekeissä. Työssä oli tarkoituksena selvittää kuituteräsbetonin ja harjateräsbetonin väliset eroavaisuudet sekä poikkeavista rakennusaikatauluista johtuvat kustannukset.

Opinnäytetyössä suunniteltiin MBP-menetelmällä tankoraudoitus tavaratalon paalulaattaan. Mitoituksen lähtökohtana oli arvioida uusi laattapaksuus harjateräsradoitukselle. Mitoitus toteutettiin myös kuitubetonilattiassa käytössä olevalle laattapaksuudelle. Laskelmien perusteella vertailtiin työmenekkien ja materiaalien hintoja.

Työssä havaittiin, että kuitubetonirakenne ei ollut kustannustehokkain ratkaisu vertailukohteessa pienemmästä työmäärästä huolimatta. Lisäksi kävi ilmi, että betonilaattojen kuormitukset poikkesivat toisistaan, kun laskelmissa huomioitiin erilaisen rakennustekniikan vaikutuksesta syntynyt, mitoituskaavojen osoittama ohuempi rakenne. Valitussa ohuemmassa lattiarakenteessa betonimassa väheni, minkä vuoksi myös kuormitus ja kustannukset vähenivät pysyvästi.

---

Asiasanat: Kuitubetoni, Betonilaatta, Kustannusvertailu, Betonilaatan mitoitus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Engineering and Building Physics

---

Author(s): Ville-Veikko Tuokila

Title of thesis: Use of Fiber Concrete in Pile Slab

Supervisor(s): Martti Hekkanen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 50 + 4  
appendices

---

The use of fiber-reinforced concrete (FRC) in Finland is limited compared to the overall use of concrete in the construction industry. The structural benefits of FRC are intended to speed up the timetable of the construction, provided that the schedule of the concrete structure is on a critical path determining the pace of the work phase.

The thesis studies the cost of a fiber-reinforced concrete slab used in a pile-based department store project. The object of the study was to compare a FRC slab and two rebar slabs that were measured for the target. The work phases between the structures differ most significantly due to the use of materials and labor. The aim was to bring out the differences between fiber-reinforced concrete and reinforced concrete and also the costs caused by deviating schedules.

The basis of the thesis was to evaluate a new slab thickness for the reinforcing bars and design reinforcement for the department store slab with the massive concrete slab –method. This was also carried out for the FRC slab with the current thickness. The prices of the workload and materials were compared, based on the calculations.

Noticeably the FRC structure was not the most cost-efficient solution in the point of comparison, despite the lower workload. Additionally it became clear that the load of the concrete slab's differed when the thinner structures, shown in the measurement formula, affected by a different building technology were taken into consideration. Choosing the thinner slab structure decreased the amount of concrete mass needed which permanently reduced the loads and costs.

---

Keywords: Fiber-reinforced concrete, Concrete slab, cost comparison, dimensioning of the concrete slab



# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	6
2 TERÄSBETONI	7
2.1 Betoni materiaalina	8
2.2 Betoniteräksset	9
3 KUITUBETONI	11
3.1 Teräskuitu	12
3.2 Muovikuitu	13
3.3 Lasikuitu	14
3.4 Kuitubetonimassan ja kuidun ominaisuudet	14
3.5 Kuitubetonin käyttökohteet	16
3.6 Kuitubetoni kantavissa rakenteissa	17
3.7 Kuitubetonin valmistaminen	18
3.8 Kuitubetonirakenteiden suunnittelu ja käyttö Suomessa	18
4 TARKASTELTAVAT LATTIARAKENTEET	20
4.1 Tutkimuskohde Motonet-tavaratalon paalulaatta	20
4.2 MBP-mitoitus murtorajatilassa	21
5 RAKENTEIDEN VERTAILULASKELMAT	34
5.1 Kuitubetonin käytön vaikutus rakentamisen kokonaisaikatauluun	35
5.2 Kuitubetonin käytön vaikutus rakentamisen kustannuksiin	37
5.3 Erot rakenteiden kelpoisuudessa	42
6 POHDINTA	46
LIITTEET	
Liite 1 Motonet-tavaratalon pohjakuva	
Liite 2 WireFib-laatan rakennekuva	
Liite 3 260 mm harjateräslaatan rakennekuva	
Liite 4 200 mm harjateräslaatan rakennekuva	

# 1 JOHDANTO

Rakennustekniikkaa kehittämällä pyritään tehostamaan työtä ja laskemaan kustannuksia. Betonointityössä merkittävää eroavaisuutta voidaan saada raudoitustavan tuomasta työmenekkidesta, joka voidaan todeta vertailemalla eri rakennustekniikoita. Uuden ja vanhan tekniikan eroavaisuudet tulevat materiaaleissa ja työssä verrannollisiksi, mutta vanhojen rakennustapojen eduiksi katsotaan kokemus. Usein tutuksi ja turvalliseksi todettu rakennustapa on helpompi valita, minkä vuoksi uudet rakennustavat otetaan käyttöön hitaasti. Jatkossa kuitube-tonin käytön oletetaan yleistyvän, kun mitoitusstandardit julkaistaan vuoden 2016 alussa.

Opinnäytetyön tavoitteena on verrata myymälähallin lattian rakentamistapoja. Vertailtavat vaihtoehdot ovat kuitubetonilattia ja teräsbetonilattia, joista jälkimmäinen lattiarakenne mitoitetaan teräsbetonirakenteena Massiva betongplattor -menetelmällä. Tässä opinnäytetyössä mitoitus käydään läpi pääpiirteittäin. Kuitubetonirakenne vaihtoehdon mitoituksen tekee hankkeen rakennesuunnittelija ja Semtu Oy.

Lattiovaihtoehtojen vertailu kohdistuu kolmeen tekijään: rakennusaikaan, lattiarakenteen hintaan ja vaihtoehtojen tekniseen kelpoisuuteen. Näiden tulosten pohjalta luodaan havainnollistavia kuvaajia sekä arvioidaan kustannuksia.

Työssä ei perehdytä kokolaatan betonointiin, vaan pois jätetään iv-konehuoneen, lastauslaiturin ja väestönsuojan lattianbetonointi sekä raudoitus. Näihin rakennuksen kohtiin on käytetty tavanomaista teräsbetonirakennetta. Laskennassa keskitytään myymälän, korjaamon, katsastusaseman ja pesuloiden lattiabetonointiin, joka kattaa noin 3 900 m<sup>2</sup> rakennuksen lattia-alasta. Opinnäytetyössä sivutaan kuitu- ja teräsbetonia materiaalina ja niiden erilaisia käyttökohteita Suomessa ja Euroopassa.

Rakennusliike M.Kurtti Oy on toteuttanut useampana vuonna kuitubetonisia rakenteita. Tornion Motonetin kuitubetonipaalulaatta on uusi rakennustekniikka rakennusurakoitsijalle ja siksi yritys haluaa seurata, saadaanko sen käytöllä tehostettua tuotantoa.

## 2 TERÄSBETONI

Ensimmäinen tiedetty betonilattia on 7 600 vuotta sitten Jugoslaviassa olevan metsästäjän majan laatta, joka koostui sorasta, vedestä ja kalkin seoksesta. Sementin käyttö tuli betoniteollisuuden roomalaisten käyttäessä vulkaanista luontoperäistä sementtiä, joka koostui porsolaanista ja silikasta. Vuonna 1824 Englannissa Joseph Aspdini loi keinotekoisen sideaineen betonille, Portlandsementin, jonka jälkeen betonin käyttö yleistyi. (Meriläinen 2012,3; Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoninkehitys.)

Betonin käyttäminen yleistyi 1900-luvulla vuosisadan alussa Pariisissa pidetyn maailmannäyttelyn tuotoksena ja tieto raudoituksen käytön kokeilusta betonirunkorakenteissa tuli tietoisuuteen. Helsinkiin aloitettiin luomaan nopealla tahdilla uutta betonitekniiikan ja arkkitehtuurin tuotoksia, kuten eduskuntatalo, rautatieasema, Taidehalli ja Stockmann. Betoni tuli käyttöön infrarakentamisessa, viemäroinnissä sekä vesijärjestelmissä, joista merkittävimpinä Imatrankosken vesivoimala ja Enso-Gutzeitin Kaukopään teollisuus. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoninkehitys.)

Vuonna 1970 betonielementtijärjestelmä BES toi betonielementti liitosdetaljit elementtityypeineen ja valmisosien saanti useammilta toimittajilta samaan rakennuskohteeseen mahdollistui. Kantavat seinät esijännitetyillä pitkillä välipohjalaatoilla antoivat monipuoliset ratkaisuvaihtoehdot asuntojen suunnittelulle. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoninkehitys.)

1980-luvun alussa betonirakentamisen kehitys kohdistui pintoihin ja rakenteisiin laatua tarkastellen. Kehitys näkyy tänä päivänäkin betonirakentamisen monimuotoisuutena myös pientalorakentamisessa. Betonitekniiikan uusinta teknologiaa ovat korkealujuusbetoni, väribetoni, pesubetoni, IT-betoni ja kuitubetonit. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoninkehitys.)

## 2.1 Betoni materiaalina

Betonista on tullut käytetyin materiaali rakentamisessa. Suomessa betonin kulu- tus on noin 5 miljoonaa kuutiota infra- ja talorakennuskohteissa. Tälle on ollut hyvät edellytykset johtuen yksinkertaisesta valmistustekniikasta ja vahvasta raaka-aineiden saatavuudesta. Samalla betoni on myös rakennusmateriaa- liemme edullisimmasta päästä ja valmisbetonin hintaluokka on 60–80 €/m<sup>3</sup> käyt- tötarkoituksen vaatimasta rasisluokasta riippuen. (Betoni, linkit Tietoa betonis- ta -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoni rakennusmateriaalina.)

Kivipohjainen materiaali on lähes huoltovapaa ja kulutusta kestävä. Materiaalilla saadaan rakennuksiin paloturvalliset sekä ääneneristävät rakenteet. Betonin ominaisuuksia käytetään hyväksi monella saralla, kun puhutaan suojarakenteis- ta: väestönsuojat, säteilysuojat, satamien aallonmurtajat ja reaktoreiden suo- jusrakenteet. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Be- toni rakennusmateriaalina.)

Betoni koostuu kiviaineksista, vedestä ja sementistä. Nämä pääraaka-aineet saadaan yleisesti paikkakunnalta pitäen materiaalin siirtomatkat maltillisina. Raaka-aineksi hyödynnetään teollisuudesta jätteeksi luokiteltuja tuotteita: sili- kaa, lentotuhkaa ja masuunikuonaa. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betoni rakennusmateriaalina.)

Materiaalin ominaisuuksiin kuuluu korkea puristuslujuus, joka vaihtelee tavan- omaisesti käyttökohteesta riippuen 30 Mpa:sta 80 Mpa:iin. Yli 60 Mpa:n lujuu- den omaavat betonit luokitellaan korkealujuusbetoneiksi, jolla mahdollistetaan materiaalin vähäisempi käyttötarve. (Betoni, linkit Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betonin lujuus.)

Korkealujuusbetoniin lujuutta pyritään saamaan suuremmaksi vähäisellä huo- kosrakenteella, kun huokoset tiivistetään pienillä fillereillä ja sementin partikkelit täytetään silikalla. Huokosten puuttumattomuudesta seuraa pakkasen aiheut- tamana ongelmia, kun vesi ei pääse laajenemaan vapaasti. (Kääriäinen 2015.)

Erikoislujiksi betoneiksi luokitellaan 150–250 MPa:n massat, joita käytetään pääsääntöisesti vaativimmissa erikoisrakenteissa. Tällöin massan seassa käy-

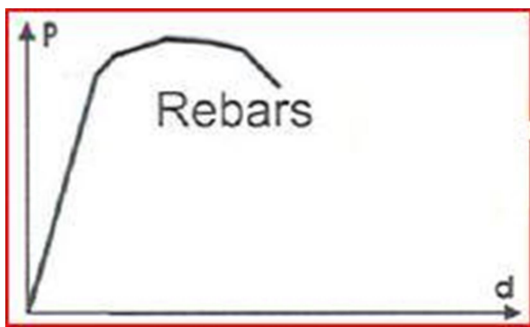
tetään muovi-, hiili-, lasi- tai teräskuituja vetolujuuden nostamiseksi, mikä on betonimassan puristuslujuudesta noin 6-10 %.(Betoni, linkit -> Tietoa betonista -> Betoni ja kestävä kehitys -> Betonin lujuus.)

Valmisbetonia on mahdollista saada useampia erilaisia laatuja ja näiden ominaisuuksia on mahdollista säädellä seos-, lisä- sekä erikoisaineilla. Lisäainebetonit tulevat kysymykseen, kun kohteessa on pitkä työstettävyysaika ja betonia hidastetaan. Tiheäraudoitettu rakenne tai ahdas muotti johtavat notkistimen käyttöön ja pakkasrasituksen kestävyttä hankitaan betonimassaan lisättävällä huokoistimella. (Kääriäinen 2015.)

Betonimassan ominaisuuksia pystytään muuttamaan pelkän kiviaineksen muuttamisella. Suuremmalla raekolla sementtipastaa syntyy vähemmän ja tästä johtuen kutistumat betonirakenteissa pienenevät eli halkeiluriskit vähenevät. (Kääriäinen 2015.)

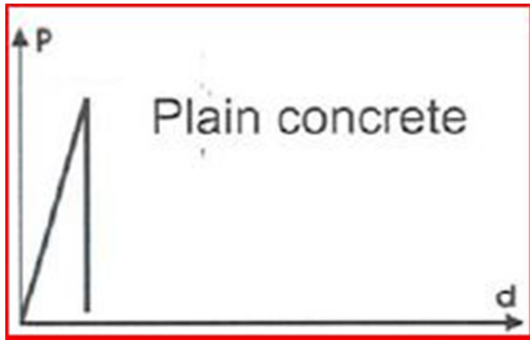
## 2.2 Betoniteräkset

Betoniteräksinä käytetään yleisesti kuumavalssattua terästä verkkorauδοitteita lukuun ottamatta. Tempcoreterästä merkitään A500HW-merkinnällä, mutta eurokoodeihin tultaessa käytetään B500B-merkintää samasta teräsmateriaalista. Teräksen vaikutusta betonirakenteen käyttäytymisessä havainnollistetaan jännitys-muodonmuutos kuviossa, jossa jännityksen nousun yhteydessä betoniteräs aiheuttaa sitkaan murtumistapauksen. (Kuva 1.)



KUVA 1. Teräsbetonin jännitys-muodonmuutoskuvio (Meriläinen 2012)

Samanlaisen raudoittamattoman rakenteen käyttäytyminen kuormituksessa poikkeaa murtumistavaltaan. Raudoituksen tuoma sitkeys puuttuu ja rakenne murtuu äkillisesti. Rakenteen käyttäytymistä kuvaa samanlainen muodonmuutoksen ja jännityksen välinen kuvain kuin teräsbetonisessa rakenteessa. (Kuva 2.)



KUVA 2. Betonin jännitys-muodonmuutoskuvio (Meriläinen 2012)

### 3 KUITUBETONI

Teräskuidut kehiteltiin ja patentoitiin 1870-luvulla Kaliforniassa. Ennen kuituina oli käytetty olkia sekä eläinten karvoja, kuten hevosenjouhia. Materiaalin seuraava kehityksen vaihe tapahtui 1920-luvulla, kun Ranskassa materiaali-kohtainen patentti saatiin teräs-, puu- ja muusta materiaalista valmistetulle kuidulle. Laajempaan käyttöön kuitu tuli vasta 1970-luvulla (Meriläinen 2012, 4.)

Virossa ja Baltian maissa kuituteräsbetonin käyttö on yleistynyt vauhdikkaasti kantavissa kuitubetonirakenteissa välipohjissa ja perustuksissa. Ensimmäiset kuituteräksestä valmistetut välipohjat tehtiin Viroon 2006, mistä on saatu hyviä kokemuksia ja materiaalin käyttö on lisääntynyt. Merkittävimminä kohteina voidaan pitää toimistokäytössä olevaa 18-kerroksista Rocca Al-mare -rakennusta. (Kuva 3.) (Matsinen 2013a, 64.)



*KUVA 3. Rocca Al-Mare toimistorakennus Tallinnassa (Matsinen 2013a)*

Rakennuksen peruslaattana toimii metrinpaksuinen kuitu- ja harjateräsbe-tonilaatta ja tästä poiketen välipohjalaatat on toteutettu täysin kuitubetonoinnilla APC-raudoituksineen. Kuitubetonitekniikkaa käyttäen tuloksena saatiin 20 mm ohuempi laatta ja merkittävimpana etuna rakennusaika lyheni yhdeksällä viikolla verrattuna tavanomaiseen harjateräsraudoitukseen. (Matsinen 2013, 3.)

### 3.1 Teräskuitu

Betoni on kehittynyt osamateriaaleissa sekä valmistuksessa parantaen betonin ominaisuuksia erilaisilta rasituksilta. Tiiveys, säilyvyys ja puristuslujuus ovat pa-rantuneet, kun taas vetolujuus ja sitkeys eivät ole kehittyneet rinnalla. Betonin kehitys on mahdollistanut kuitubetonin käytön, koska pienirakeisella betonimas-salla mahdollistetaan kuidun käyttö, mikä on sidoksissa runkoainekseen. (Lanu 1992, 9.)

Hyödyt rakenneratkaisussa tulevat ajansäästöistä raudoitustöissä asennuksi-neen. Ajansäästöt ovat viikkoja suuremmissa toteutusmuodoissa ja pienimmis-sä voidaan puhua päivistä. Massamäärät pienenevät, kun suojabetonietäisyyk-siä ei tarvita, mikä ohentaa laattaa aiheuttamatta korroosiota muissa, kuin yksit-täisissä kuiduissa. (Piimat Oy, linkit Tuotteet -> Betonilattiat -> Kuitubetoni.)

Teräskuitubetonin toiminta perustuu samaan kuin tankoraudoitetun betonin. Betonin menettäessä vetolujuutensa tiheässä olevat teräskuidut siirtävät rasi-tuksen eteenpäin, kuten harjateräkset. (Matsinen 2014,60–62; Semtu Oy, linkit Tuotteet -> Kuidut -> Teräskuidut.)

Maanvaraisissa laatoissa kuitumäärä on  $\sim 35 \text{ kg/m}^3$ . Kantavissa laatoissa suu-ruusluokka on  $50\text{--}100 \text{ kg/m}^3$ . Harjateräksen ja kuituteräksen ero tulee materiaa-lin ominaisuuksissa: kuituteräksen lujuus on  $800\text{--}3\,000 \text{ MPa}$  eli suurempi kuin yleisesti käytetyn harjateräksen, jonka lujuus on  $500 \text{ MPa}$ . (Matsinen 2014,60–62; Semtu Oy, linkit Tuotteet -> Kuidut -> Teräskuidut.)

Betonin haljetessa kuitu käyttäytyy plastisesti vetäytyen ulos betoniin syntyvästä halkeamasta siirtäen kuormituksen ehjälle laatanosalle (kuva 4). Edellytyksenä kuidun ja betonin väliselle tartunnalle on riittoisa betonin lujuus, vähintään  $k30$ .



Kuidun vetolujuutta nostaessa edellytetään lujemman betonin käyttöä, jotta kuidun lujuus hyödynnettäisiin. (Kuitubetonilla lisää lujuutta. 2012.)



*KUVA 4. Teräskuitubetonilaatan leikkaus (Lumme 2008)*

Kantavissa rakenteissa kuidun yhteydessä ei voida käyttää normaalia betonia, koska ollaan korkeissa kuitupitoisuuksissa: 80–100 kg/m<sup>3</sup>. Tällöin betonin työstettävyyden sekä pumpattavuuden mahdollistamiseksi käytetään IT-betonia. (Lumme 2008,74–75.)

### **3.2 Muovikuitu**

Muovikuidut eli polymeerikuidut ja polypropeenikuidut jaetaan kahteen ryhmään makro- ja mikrokuidut. Mikrokuitujen käytöllä betonissa ei voida korvata raudoituksen käyttöä. Halkaisijaltaan 34 µm:n monisäikeisellä kuidulla halutaan hallita betonin plastisesta kutistumisesta syntyvää halkeilua. (Semtu Oy, linkit Tuotteet -> Kuidut -> Teräskuidut; suomenttp, linkit Kuidut.)

Raudoitteeksi sopivaa makrokuitua voidaan käyttää betonielementeissä, ruis-kubetonissa ja lattiabetonissa sekä kutistumisraudoitteena useissa rakenteissa (kuva 5). Muovikuitujen annostus betonikuutiota kohden on 1-7 kg/m<sup>3</sup>, eli huomattavasti pienempi kuin teräskuitujen annostus. Muovisten kuitujen ja notkean massan käyttämisellä riskinä on kuidun erottuminen, joka ilmenee kuidun nousemisella betonimassan pintaan. (Semtu Oy, linkit Tuotteet -> kuidut -> Teräskuidut; suomenttp, linkit Kuidut; Lumme 2008, 72.)



KUVA 5. Makrokuitu (Semtu 2015)

### 3.3 Lasikuitu

Lasikuidun käytöllä betonimassoissa ja laasteissa haetaan sitkistävästä vaikutuksesta. Samalla saadaan vähäisemmät plastiset halkeilut sekä kutistumat veden tarpeen vähentyessä, mikä johtaa korkeampaan lujuteen. Lasikuidulla on pituutta 12 mm halkaisijan ollessa 14 mikronia. Pienestä koosta johtuen kiloa kohden säikeitä on 212 miljoonaa. Käyttökohteina ovat betoniset elementit, rappaukset, laastit, lattiabetonit ja tasoitteet kuten saneerauslaasti. (Semtu Oy, linkit Tuotteet -> Kuidut -> Lasikuidut.)

### 3.4 Kuitubetonimassan ja kuidun ominaisuudet

Kuidun sitoutuminen massaan riippuu kuidun muodosta, materiaalista ja sen päissä olevista muotoiluista, jotka ovat lähinnä väkäsiä muistuttavia. Sitoutumista haetaan myös muotoilemalla koko kuitu aaltomaiseksi (kuva 6). (Lumme 2008,72.)

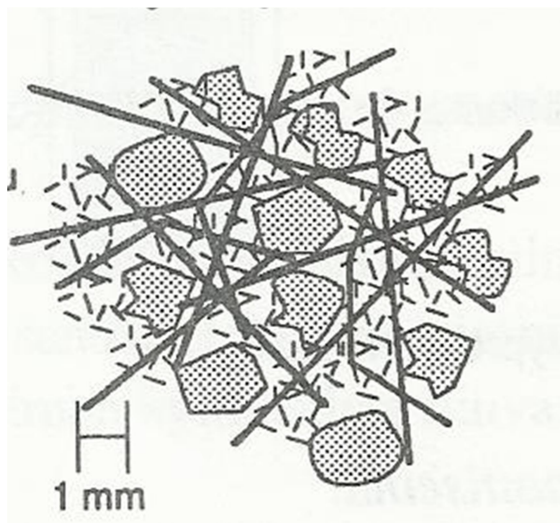


KUVA 6. Erilaisia kuitumalleja (Meriläinen 2012)

Kuitu pysyy kiinnittyneenä kovettuneessa betonimassassa niin kauan, kunnes vetojännityksen nousu alkaa vaikuttaa kuituun, mikä on havaittavissa kuidun vetäytymisellä betonista. Tätä pyritään estämään kuidun muodolla haettavalla ankkuroinnilla. (Matsinen, 2013b.)

Normaaleissa tapauksissa vetojännitys ei tule kasvamaan niin suureksi, että se johtaisi kuidun katkeamiseen. Katkeaminen ei olisi myöskään toivottua sillä murtuminen tulisi ilman ennakkovaroitusta. Tästä syystä ankkuroinnin tarkoitus onkin jarruttaa kuidun vetäytymistä massasta erilaisilla mittatoleransseilla. Kuidun katkeamiseen voi johtaa liiallinen taivutus mutkissa. Ankkuroinnin pitävyyttä laskee turhanloiva mutka ja koukkupäisessä kuidussa edellytetään tasaisuutta koukkujen pituuksissa. Lyhyemmän hännän omaava koukku on ensisijaisesti irtoamassa helpoiten. (Matsinen, 2013b.)

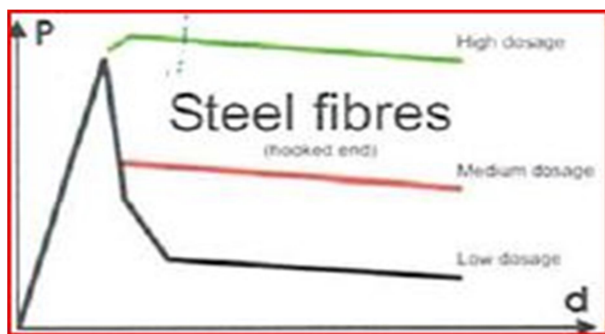
Teräskuidun hoikkuutta kuvataan hoikkuusluvulla, joka tarkoittaa kuidun pituutta suhteessa kuidun paksuuteen. Yleisin kuitutyyppi on yhden millimetrin paksuinen ja 50:tä millimetriä pitkä koukullinen kuitu, jonka hoikkuusluvuksi tulee 50:tä. Kuidun minimipituus on kuvattu siten, että sen tulisi olla kaksi kertaa massan maksimiraekoon verran (kuva 7). Pituuden tarkoituksena on, että kuitu estää betonin halkeilun, mikäli kaksi kiveä on vierekkäin betonimassassa. (Matsinen, 2013b.)



*KUVA 7. Kuidutus betonissa (Lanu 1992)*

Kuitukomposiitin ominaisuudet muodostuvat useammista tekijöistä. Lujuuteen vaikuttavat betonin huokokset, halkeilu, kuitujen määrä, pituus ja suuntautuneisuus. Kuormituksessa kuitumateriaalit toimivat yleensä lineaarisesti ja siksi komposiitin murtotapa on hauras, kun murto tulee katkenneiden kuitujen johdosta. Halutessa sitkeämpää murtumistapaa käytetään lyhyempää kuin kriittistä kuidunpituutta. Tällä saadaan aikaan kuitujen luistaminen riittämättömän tartunnan takia luoden kuvauksen sitkeästä murtotapauksesta. (Lanu 1992, 22–23; Semtu Oy, linkit Tuotteet -> Kuidut -> Teräskuidut; suomentp, linkit Kuidut.)

Teräskuidutuksella mahdollistetaan vetolujuuden nosto kaksinkertaiseksi ja tarvittaessa jopa kymmenkertaiseksi. Kuidutuksella ei kuitenkaan saada materiaaliin sitkeyttä. Pehmeämmillä kuiduilla sitkeyttä saadaan nostettua, mikä johtaa mahdollisesti vetolujuuden alentumiseen. Kuitubetonin vetojännitysvenymäriippuvuutta havainnollistaa ”Kimmainen ideaaloplastinen” käyrä, joka kuvaa sitkeän aineen jännitys-muodonmuutos riippuvuutta (kuva 8). (Lanu 1992, 22–23.)



KUVA 8. Jännitys-muodonmuutosriippuvuus eri kuituannos määrillä (Meriläinen 2012)

### 3.5 Kuitubetonin käyttökohteet

Kuitubetonin käyttökohteita on lukuisia: mv-laatat, paalulaatat, pintalattiat, kelluvat lattiat, ruiskubetonointi ja betonielementit. Kuitubetonia käytetään yleisimmin maanvaraisissa lattioissa, joissa ei ole sortumisvaaraa. Tällaisissa rakenteissa ei ole käytetty ollenkaan tankoraudoitusta lukuun ottamatta detaljeja, jotka ovat arkoja halkeilulle (Lumme 2008,73; Rakentaja, linkit Artikkelit -> 9060 -> Kuitubetonilla lisää lujuutta.)

### 3.6 Kuitubetoni kantavissa rakenteissa

Ensimmäisen kantavan teräskuitubetonilattian suunnitteli Saksaan Jürgen Mandl. Hän on myös hyvin pitkälti näiden rakenteiden suunnitteluratkaisujen pohjalla. (Matsinen 2014,60.)

Teräskuitujen käyttö lisää betonin leikkauslujuutta, mikä poistaa leikkausraudoitusten käytön kantavissa laattarakenteissa. Kuitujen ohella tulee käyttää, joka tapauksessa jatkuvan sortumisen estävää APC-raudoitusta (Anti-progressive collapse) siltä varalta, että laatan tuki pettäisi. Raudoitus tehdään esimerkiksi paalulaatta rakenteissa 3-4 kpl 16 mm:n harjateräksillä, jotka sijoittuvat pilari-kaistoille (kuva 9). (Lumme 2008,74.)



*KUVA 9. APC-raudoitus pilarilinjoilla (Matsinen 2014)*

Tankoraudoitettu laattarakenne on sitkeämpi kuitubetoniin nähden, mutta kuiturakenteen sitkeys on kuitenkin riittävä tavanomaisessa rakentamisessa. Kuorman kantokyvyltään kuitubetonilaatta kantaa kuormaa lähes kaksinkertaisesti maksimimomentin kohdalta verrattuna vastaavanlaiseen minimiraudoituksella olevaan harjateräsbetonilaattaan. Teräskuitubetonin momenttikapasiteetti perustuu kuitujen vastaanottamaan vetojännitykseen ja samalla APC-raudoitus



on mahdollista huomioida kuitubetonilla rakennetuissa kantavissa rakenteissa plastisin määritelmän. (Matsinen 2014,60–62;Juurela 2015,8-9.)

### 3.7 Kuitubetonin valmistaminen

Kuitujen lisäys onnistuu lähes kaikkiin käytössä oleviin normaaleihin betonimas-soihin vaikuttuen betonimassan ominaisuuksiin. Kuitujen lisäys tehdään pää-sääntöisesti betoniasemalla, jossa sekoittaminen betonimassaan onnistuu vai-vattomimmin pitäen tuotteen laadun tasaisempaan (kuva 10). Toisinaan kuidut on sekoitettu betoniautossa, jolloin lopputuloksissa on mahdollisesti suuria heit-toja johtuen autojen säiliöiden muodoista. (Lumme 2008,72.)



*KUVA 10. Kuitujen annostelu betoniasemalla (Lumme 2008)*

### 3.8 Kuitubetonirakenteiden suunnittelu ja käyttö Suomessa

Teräskuitua on käytetty kymmenissä kohteissa Euroopassa: kantavissa raken-teissa, perustuksissa sekä rakenteellisissa kohteissa. Tämän kaltaisiin ratkai-suihin on päästy Suomessa paalulaattarakenteissa, mutta ne eivät ole tulleet vielä käytännöksi. Käyttöä pyritään edistämään useissa maissa ohjeistuksen ja sääntelyiden avulla erityisesti kantaviin rakenteisiin sen suoman etujen vuoksi. (Matsinen 2014, 60.)

Hyväksytyt ohjeistuksen puuttuminen Suomessa kantavissa kuitubetonirakenteissa on aiheuttanut, että mitoitusohjeistukset tulevat valmistajien taholta. Tästä syystä lopputulokset erivalmistajilta ovat hyvinkin erilaisia. Ruotsi, Saksa ja Tanska ovat ottaneet käyttöönsä omat kantavan kuitubetonirakenteen mitoitusohjeistukset tai standardit. Vastaavanlaiset on tarkoitus julkaista Suomessa vuoden 2016 keväällä. Ohjeistuksen on määrä kulkea rinnan julkaisun jälkeen tulevien eurokoodien kanssa. Hankkeen takana ovat Betoniyhdistys ry sekä Betoniteollisuus ry. (Valjus 2015.)

## 4 TARKASTELTAVAT LATTIARAKENTEET

### 4.1 Tutkimuskohde Motonet-tavaratalon paalulaatta

Tutkimuskohde oli Tornion Motonet-myyvälähallissa oleva paalulaatta, jossa käytettiin Wirefib 80/60-kuituterästä ja paalulinjoilla harjaterästä, jotka muodostivat laatan sisäisen palkkiraudituksen (kuva 11). Osa rakennuksen lattia-alasta toteutettiin erilaisella rakennustekniikalla käyttämällä harjateräsverkkoa ja kuitubetonia yhtä aikaisesti.



*KUVA 11. Motonetin paalulinjaraudoitteet (Myllyneva 2015)*

Yksikerroksinen rakennus on brutto-alaltaan 4 498 m<sup>2</sup>, kerros-alaltaan 4 303 m<sup>2</sup> ja tilavuudeltaan 34 430 m<sup>3</sup>. Pituutta hallilla on noin 120 m ja leveyttä 43 m. Rakennuksen muoto on havaittavissa alapinnan raudoituskuvasta (liite1).

Hankkeen rakentamisen aloitusajankohta oli heinäkuun alku ja valmistumisaika maaliskuun puoliväli. Aikavälille oli laskettu kantavan alapohjan rakennusajaksi 28 työvuoroa marraskuun ja joulukuun ajalle.

Laatan rakennustavan idea on tullut teräskuituvalmistajalta, joka teetti täysskaalakoheet Braunschweigin yliopistosta Saksassa vuonna 1997. Tarkoituksena oli ollut selvittää pelkän teräskuidunriittoisuus raudoituksena harjateräksen sijasta.



Lopputuloksessa päädyttiin kuitubetonin ja harjateräksen yhdistelmään ja saatiin sitkaan murtotavan omaava rakenneratkaisu. (Wirefib® paalulaatta. 2011.)

Laatta varustettiin liikuntasaumoilla, jotka toteutettiin liikuntasaumarauodoilla 25–45 metrin välein (kuva 12). Kohteessa käytettiin suunnitellusti Omega-liikuntasaumarauodoitteita paalulinjoilla. Liikuntasaumojen tarkoituksena oli mahdollistaa laatan kutistuma rajoitteita. Laatan täytyi olla myös irrotettuna sokkelista, paaluhatuista ja alustastaan muovilla tai suodatinkankaalla. (Wirefib® paalulaatta. 2011.)



*KUVA 12. Liikuntasaumarauta ja laatan irrottaminen muovilla*

## **4.2 MBP-mitointi murtorajatilassa**

### **Lähtökohdat**

Teräsbetoni-laatan mitoituksen lähtökohdana oli arvioida laatalle syntyvien kuormitusten suuruutta, jotka kysyttiin kohteeseen pääsuunnittelijalta. Laatan mitoituksukuormitus myymälän puolella oli 10 kN/m<sup>2</sup> ja varaston puolella 15 kN/m<sup>2</sup>. Lisäksi rakentamisen ajaksi huomioitiin trukeista johtuvat pistekuormat 2\*28 kN.

Vertailtavassa tankoraudoitus laatussa ei erikseen laskettu myymälän ja varaston välistä raudoitusta kuormituskohtaisesti. Kummankin kuormituksen voitiin olettaa olevan niin pieni, ettei kuormituksen vaatima raudoitus osoittaudu määräväksi.

Laatan mitoitus tehtiin tarkasteluna yhdelle keskikentälle, joka muodostui laatan paalulinjoista (liite 2). Kenttä oli mitoiltaan 4 x 4m jäykästi tuettuna jokaiselta laidaltaan. Toteutuneen ja suunniteltujen laattojen rakenteissa käytettiin samaa paalukaistaraudoitusta, jota ei voitu hyväksi lukea raudoituksen mitoituksessa. (Nykyri 2015b.)

Mitoituksessa ei eritelty laatan fyysisiä mittoja jännemitoista johtuen MPB-menetelmän käytöstä. Menetelmä ei ollut soveliaain paalulaatan mitoittamiseen, koska mitoitettava laatasto oli tuettu reunoiltaan laatan sisäisillä palkeilla. Palkit mahdollisesti taipuvat toisin kuin kantavat seinärakenteet. (Nykyri 2015b.)

Mitoituksen laskentatapana käytettiin MBP-menetelmää myötöviivateorian sijasta. Syynä oli betonilaatan suunnittelukurssin painottuminen MBP-menetelmän käyttöön ja oli näin tutumpi tapa lähestyä aihetta.

## Mitoitus

Laskennassa käytettiin betonina C30/37 lujuusarvon betonia ja raudoituksessa A500HW-harjaterästä. Kuormitukset tulivat laatan omasta painosta, mosaiikki-laatoituksesta, maakosteastabetonista, hyllykuormista ja hyötykuormasta, mitkä muodostivat 15 kN/m<sup>2</sup> kuormituksen. Tästä kuormituksesta vähennettiin betonilaatan ohennuksen seurauksena tuleva rasitus, joka on oletettavaa jännemittoja tarkastellessa.

Uutta laatan paksuutta arvioitiin kaavalla kaavalla 1. Tulokseksi saatiin 60 mm ohuempi laattapaksuus kuin kuitubetonirakenteen laatastossa oli käytössä myymälän ja varaston puolella.

$$\left(\frac{L}{d}\right)_{max} = K \left[ 11 + 1,5 \sqrt{\frac{f_{ck}}{Mpa} \frac{\rho_0}{\rho}} + 3,2 \sqrt{\frac{f_{ck}}{Mpa} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2}} \right] \quad \text{KAAVA 1}$$

$K$  = kerroin jatkuvan laatan reunakentälle

$f_{ck}$  = betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa)

$$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{\frac{f_{ck}}{Mpa}}$$

$\rho$  = suhteellinen raudoituksen ala (%)

$L$  = laatan jännemitta (m)

Tuloksena saatiin laattapaksuudeksi 200 mm.

Alkuperäisen ja uuden betonilattian välille laskettu 60 mm ohuempi rakenne johti pienempään kuormitukseen ohennetussa lattiassa. Laattojen välinen kuormitus ero saatiin kaavalla 2.

$$0,26m * \frac{25kN}{m^3} - 0,2m * \frac{25}{m^3} = 1,5 \frac{kN}{m^2} \quad \text{KAAVA 2}$$

$0,26m$  = alkuperäinen laattapaksuus kuitubetonirakenteelle

$\frac{25kN}{m^3}$  =betonin tiheys ( $kg/m^3$ )

$0,2m$  = uusi laattapaksuus (m)

$1,5 \frac{kN}{m^2}$  =betonilaattojen neliönkuorman erotus

Erotus mitoituSKUORMITUKSESSA 200 mm:n teräsbetonilaatalle laskettiin kaavalla 3. Tällä saatiin uusi murtorajatilan kuorma.

Samalla mitoitettiin raudoitus ohentamattomalle laattapaksuudelle, joka oli käytössä kuitubetonilaatassa. Pd1-merkinnällä merkittiin 200 mm:n laattaa ja Pd2 260 mm:n laattaa.

$$\text{Uusi Pd1 arvo } 15 \frac{kN}{m^2} - 1.15 * 1,5 \quad \text{KAAVA 3}$$

$15 \frac{kN}{m^2}$  = alkuperäinen kuormitus lattianeliötä kohden 260 mm:n laatalle

1.15 = murtorajatila mitoituksen varmuuskerroin pysyvälle kuormalle

$1,5 \frac{kN}{m^2}$  =betonilaattojen neliönkuorman erotus

Uusi kuormitus lattianeliötä kohden 200 mm:n laatalle oli 13,3 kN/m<sup>2</sup>.

Laattojen kuormitusten mitoitusmomenttia arvioitiin kaavalla 4.

$$m_{ed} = Ped * \frac{Lx^2}{8} \quad \text{KAAVA 4}$$

$p_{ed} = 0,7 * Pd$  laattakentän tasainen mitoituskuorma (kN/m<sup>2</sup>)

$m_{ed}$  = kuormien mitoitusmomentti (kNm)

Tuloksina saatiin 200mm:n laatalle  $m_{ed}$  arvoksi 18,62 kNm ja 260mm:n laatalle  $m_{ed}$  21 kNm.

### Perustapausten lähtömomentit

Tarkasteltiin kentän tuentatapauksia sekä sivusuhteita  $L_y/L_x$  ja näitä vastaavia momenttikertoimia  $\alpha_{yf}$ ,  $\alpha_{xf}$ ,  $\alpha_{ys}$ ,  $\alpha_{xs}$ . Saaduilla arvoilla laskettiin lähtömomentit kaavalla 5. (Nykyri 2015a.)

$$M = \alpha * ped * Lx^2 \quad \text{KAAVA 5}$$

$\alpha$  = momenttikerroin MBP- taulukosta 3,1

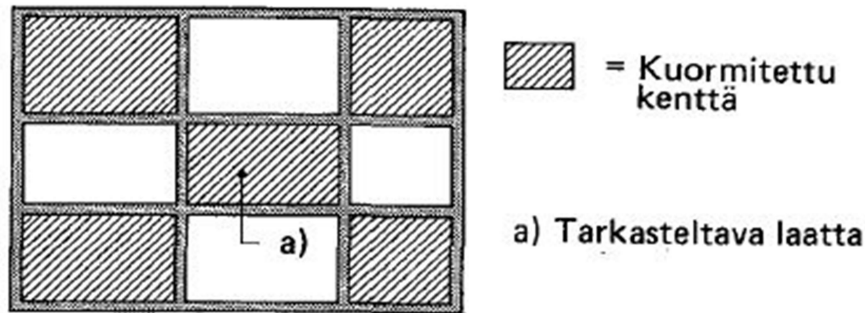
$ped$  = laattakentän tasainen mitoituskuorma (kN/m<sup>2</sup>)

$Lx^2$  = laatan jännemitta (m)

Ohuemmalle laatalle tukimomentiksi tuli 6,21 kNm ja kenttämomentiksi 3,55 kNm. Vastaavasti 260 mm:n laatalle tukimomentiksi 7,08 kNm sekä kenttämomentiksi 4,01 kNm. Tuloksissa oli heti huomioitavaa arvojen pienuus, mikä johtui lyhyistä jänneväleistä ja jolloin momentit eivät päässeet kasvamaan.

### Hyötykuormalisä

Jatkuvien laattakenttien laskennassa huomioitiin kuormitusten jakautuminen epäedullisesti laatastossa (kuva 13). Kaavalla 6 saatu hyötykuormalisä summataan tämän jälkeen kenttämomenttiin. (Nykyri 2015a.)



KUVA 13. Muuttuvan kuorman jakautuminen jatkuvissa laattakentissä (Nykyri 2015a)

$$\Delta m_{fq} = \alpha_q * q_{md} * L^2 x$$

KAAVA 6

$\alpha_q$  = momenttikerroin MBP-taulukosta 3,5

$$q_{md} = 1,5 * q_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$L^2 x$  = lyhyempi jännemitta (m)

Hyötykuormalisä oli sama molemmissa laatoissa, koska muuttuvan kuorman suuruus  $q_k$  oli sama. Saatu tulos 0,466 kNm/m lisättiin kenttämomentteihin, jotka laskettiin kaavalla 5. Lopulliset kenttämomentit olivat 4,016 kNm/m ja 4,476 kNm/m.

### Vähimmäisraudoitus kentässä

Kaavalla 7 laskettiin poikkileikkauksen tehollinen korkeus  $d$  molemmille laattapaksuuksille. Korkeus saatiin vähentämällä rakennepaksuudesta suojabetoni ja harjatankopaksuus. Tankopaksuutena käytettiin paalukaistalle suunniteltua 16 mm:n terästä. Suojabetoni mittana käytettiin katsastus- ja korjaamohalliin määrättyä 35 mm.

$$d = h - c_{nom} - \varnothing_x$$

KAAVA 7

Erotuksena teholliseksi korkeudeksi tuli 149 mm ja 209 mm.

Minimiraudoituspinta-ala laskettiin kaavalla 8. Raudoitus tulee määrääväksi, kun kenttään kohdistuvat kuormitukset eivät nosta raudoitustarvetta suuremmaksi.

$$A_{S, min} = 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * d \quad \text{KAAVA 8}$$

$f_{ck}$  = betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa)

$$f_{ctm} = 0,3 \left( \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{2/3} \text{ (MPa)}$$

$f_{yk}$  = teräksen vetolujuus (MPa)

$d$  = poikkileikkauksen tehollinen korkeus (mm)

Minimiraudoituksiksi tuli 225 mm<sup>2</sup>/m ja 315 mm<sup>2</sup>/m. Pinta-alan vaatima raudoitustajako määritetään 10 mm:n harjateräkselle kaavalla 9.

$$K = \frac{\pi r^2}{A_{S, min}} \quad \text{KAAVA 9}$$

$r$  = harjateräksen poikkileikkauksen säde (mm)

$A_{S, min}$  = minimiraudoitus pinta-ala (mm<sup>2</sup>)

200 mm:n laatasta päästiin raudoituspinta-alan täyttämään rautamäärän 349 mm:n raudoitustaolla ja 260 mm:n laatasta 249 mm:n tankojaolla. Ohuemmalle laatalle valittiin EC2 luvun 9.3.1.1 kansallisen liitteen mukainen maksimitankoväli 250 mm ja paksummalle laatalle 200 mm.

### **Mitoitusmomentin mukainen raudoitus**

Suhteellinen momentti laskettiin kaavalla 10.

$$\mu = \frac{m_{ed}}{f_{cd} * d^2} \quad \text{KAAVA 10}$$

$m_{ed}$  = tukimomentti (kNm/m)

$f_{cd}$  = betonin lujuuden laskenta-arvo (MPa)

$d$  = laatan tehollinen korkeus (mm)

Puristusvyöhykkeen suhteellista korkeutta arvioitiin kaavalla 11.

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad \text{KAAVA 11}$$

$\mu$  = suhteellinenmomentti.

Mekaaninen raudoitussuhde määritettiin kaavalla 12.

$$\omega = \beta \quad \text{KAAVA 12}$$

Kunkin edellä lasketun kaavan tuloksiksi tuli laattakohtaisesti samansuuruinen arvo, ohuemmalle laatalle 0,16 ja paksummalle 0,0095

Sisäinen momenttivarsi laskettiin kaavalla 13 ennen vaaditun raudoituksen määrittämistä.

$$z = d \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad \text{KAAVA 13}$$

$d$  = laatan poikkileikkauksen tehollinenkorkeus (mm)

$\beta$  = puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus

Momenttivarren mitoiksi tuli 147,81 mm ja 208 mm. Tulokset sijoitettiin edellä laskettujen arvojen lisäksi kaavaan 14. Kaava määritti vaaditun raudoitusmäärän laatan kuormituksista syntyvän suurimman momentin suhteen.

Vähimmäisraudoitusala tukimomentin suhteen laskettiin kaavan 14 mukaisesti.

$$A_{S, vaad} = \omega d * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{m_{ed}}{z * f_{yd}} \quad \text{KAAVA 14}$$

Tukimomenttien mukaiset raudoitukset olivat huomattavasti pienemmät (93 mm<sup>2</sup>/m ja 78 mm<sup>2</sup>/m) kuin määrääväksi tulevat kaavan 8 (sivulla 26) miniraudoitukset. Siksi valittiin raudoitukseksi aikaisemmin lasketut  $A_{S, min}$ -arvot.

Taivutusmitoitus tulisi tarkastaa tukimomenttien lisäksi myös kenttämomenttien suhteen. Koska momentit jäivät kentässä vielä pienemmiksi, voitiin suoraan todeta, etteivät kentänmomenttien raudoitukset tule määrääviksi.

Huomioitavaa on, että tietyissä kohteissa kaavan 8 (sivulla 26) arvot voivat nousta turhan suureksi tarpeeseen nähden. Tilanne voi tulla laatan kuormituksen ollessa pienehkö ja silloin, kun laatan paksuus mitoitetaan muun kuin kuormituksen suhteen. (Nykyri 2014, 79.)

### Leikkausmitoitus

Mitoitustarkastelu viivamaisesti kannatetuille laatoille tehtiin leikkausraudoittamattomana. Tukien kuormitusten oletettiin kertyvän tuelle liittyvältä laatanosalta, joten tuelle tuleva maksimikuormitus toimi mitoituskuormana. Mitoituksen ehtona oli, että leikkauskestävyyden  $V_{Rd,c}$  tulee olla suurempi kuin laatan tuelle kertyvän leikkausvoiman  $V_{ed}$ . (Nykyri 2013,57; Nykyri 2015.)

Leikkauskestävyyden minimiarvo laskettiin ensin tuelle, mikä oli mitoitettavassa laatastossa sama jokaisella tuella. Kentän laidoilla olevat laatat keräsivät erilaiset leikkausvoimat, mutta tarkasteltavan laatan vähimmäisarvoksi tulee oletettavasti niin suuri arvo, että mitoitusehto täytyisi helposti.

Jatkuvalla tuelle laskettiin kertyvä leikkausvoima kaavalla 15.

$$V_{Ed} = 0,5 Lx P_{ed} \quad \text{KAAVA 15}$$

$Lx$  = laatan jännemitta (m)

$p_{ed} = 0,7 * Pd$  Laattakentän tasainen mitoituskuorma ( $\text{kN/m}^2$ )

200 mm:n paksuiselle laatalle leikkausvoimaa kertyi 18,62 kN/m ja 260 mm:n laatalle 21 kN/m. Leikkauskestävyyden tarkastettiin olevan suurempi leikkausvoimaa kaavalla 16.

$$V_{Rd, cmin} = 0,035 d k^{3/2} \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \text{ Mpa} \quad \text{KAAVA 16}$$

$d$  = Laatan poikkileikkauksen tehollinen korkeus (mm)

$$k = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \rightarrow 2 \right.$$



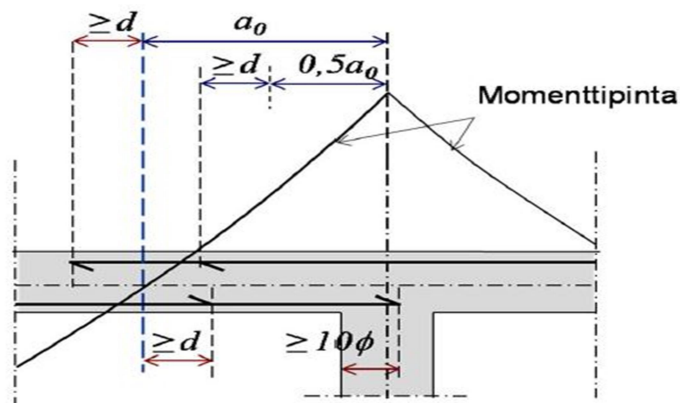
$f_{ck}$  = betonin lieriölujuuden ominaisarvo (MPa)

Mitoitusehto kävi toteen suurimman leikkausrasituksen jäädessä pienemmäksi leikkauskestävyydestä. Kestävyys arvot olivat 80,8 kN/m ja 113,32 kN/m.

Jos ehto ei toteutuisi, voitaisiin laatan leikkauskestävyyttä nostaa pääraudoituksen lisäämisellä sekä raudoituksen ankkuroinnin vahvistamisella. Menetelmillä kestävyys nousee parhaimmillaan kaksinkertaiseksi. (Nykyri 2014,58.)

### Tukiraudoitus

Tankoraudoituksen ankkurointi ja alapinnan raudoitusten katkaisuetäisyydet tuesta laskettiin vapaalle tuelle kuvan 14 määrein. Laataston raudoitteista 50 % tuotiin paalujen välisille kaistoille edellyttäen toimenpiteen noudattavan tankovälisääntöä. Liikuntasaumojen vastaisille laatanreunoille tuotiin 100 % kentänraudoitusmäärästä. (Nykyri 2015a.)



KUVA 14. Jatkuvantuen raudoituspituudet (Nykyri 2015a)

Käytettävää rautamäärää oli mahdollista pienentää paalulinjojen reunoille tehtävillä kevennyksillä. Raudoituksen tankoväli saatiin kaksinkertaistaa kentän laidoilta alueelta, jonka leveys on neljännes laatan jännemitasta. Tankoväliä ei kuitenkaan saanut nostaa yli 400 mm ohjeistuksen mukaisesti. (Nykyri 2015a.)

### Momentin 0-kohta

Tuen yläpinnan raudoituksen määrittämisessä arvioitiin momentin 0-kohtaa kenttä- ja tukimomenttien maksimiarvojen pohjalta kaavalla 18. Momenttisuh-

teet  $k_i$  ja  $k_j$  lasketaan kaavalla 17. Momenttisuhteet ovat kussakin laatussa samansuuruiset johtuen laatan symmetriasta.

$$k_j = k_i = \frac{m_i}{m_{i-j}} \quad \text{KAAVA 17}$$

$m_i$  =tukimomentti (kNm/m)

$m_{i-j}$  =kenttämomentti (kNm/m)

$k_i$  ja  $k_j$  ovat 200 mm:n laatalle 1,55 sekä 260 mm:n laatalle 1,58

Momentin 0-kohta kentässä jatkuvalta tuelta arvioitiin kaavalla 18.

$$a_{0i} = \frac{\sqrt{1+k_i}-1}{\sqrt{1+k_i}+\sqrt{1+k_j}} * Lx \quad \text{KAAVA 18}$$

$Lx$  = laatan jännemitta (m)

$k_i$  ja  $k_j$  = laatan momenttisuhte

Momentin nollakohtaksi jatkuvalta tuelta saatiin 200 mm:n laatalle 0,748 m ja 260 mm:n laatalle 0,755 m. Tulokset sijoitettiin kaavaan 19 sekä 23. Kaavojen tulokset summaamalla saatiin lopullinen jatkuvalta tuella käytetyn yläpinnan raudoituksen harjateräksen pituus.

Ankkurointi ja katkaisukohtat raudoitukselle jatkuvalta tuelta laskettiin levittämällä momenttipintaa sisäisenmomenttivarren verran kaavalla 19. Kaavan  $L_{bd}$  arvo saatiin sijoittamalla kaavaan 20 kaavat 21 ja 22.

$$L_{yp1} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} a_0 + d \\ 0,5 * a_0 + d + L_{bd} \end{array} \right. \quad \text{KAAVA 19}$$

$a_0$  = momentin nollakohtan etäisyys jatkuvalta tuelta (mm)

$d$  = laatan poikkileikkauksen tehollinen korkeus (mm)

$$L_{bd} = \frac{\emptyset}{4} \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \text{ ankkurointipituus (mm)} \quad \text{KAAVA 20}$$

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \text{ (MPa)} \quad \text{KAAVA 21}$$

$$f_{ctd} = 0,21 * (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \text{ betoninvetolujuus (MPa)} \quad \text{KAAVA 22}$$

Maksimiarvoiksi valittiin 897 ja 964 millimetriä. Puolet tukiraudoituksesta mahdollistettiin katkaistavaksi etäisyydeltä  $0,5a_0 + d$ . Pituus laskettiin paksummalle laatalle kaavalla 23. Ohuemmassa laataassa käytetyllä k250-raudoituksella lyhennystä ei voitu tehdä ilman, että tankoväli kasvaisi yli sallittua 400 mm:n.

$$L_{yp2} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5a_0 + d \\ d + L_{bd} \end{array} \right. \quad \text{KAAVA 23}$$

Maksimiarvoksi valittiin 523 mm paksummalle laatalle, jonka pituuksiin lisättiin kaavan 19 pituus. Tukiraudoituksen teräksen pituudeksi tuli 1 420 mm ja ohuemmalle laatalle valittiin tuen molemmin puolin kaavan 19 arvo, summana 1 928 mm.

### **Raudoituksen katkaisukohdan määrittäminen**

Minimiraudoitukselle laskettujen alapinnan raudoituksista puolet pystyttiin katkaisemaan etäisyydeltä, joka saatiin lyhentämällä momentin 0-kohdasta laatan tehollinen korkeus kaavalla 24. Ohuemmassa 200 mm:n laataassa tankoväli oli 250 mm, joten alapinnan raudoituksiakaan ei voinut lyhentää, koska tällöin tankoväli olisi kasvanut yli sallitun 400 mm:n. Lyhennyksiä käytettiin vain 260 mm:n laataassa.

$$L_{ap} = a_0 - d \quad \text{KAAVA 24}$$

$a_0$  = momentin nollakohdan etäisyys tuelta (mm)

$d$  = laatan poikkileikkauksen tehollinen korkeus (mm)

Alapinnan raudoituksista 260 mm:n laataassa puolet teräksistä laskettiin katkaistavaksi 600 mm:n etäisyydeltä jatkuvantuen keskikohdasta. Tuelle tuotiin vähintään kaavan 25 mukainen ankkurointipituus.

$$10 * \varnothing = \text{jatkuvantuen ankkurointipituus (mm)} \quad \text{KAAVA 25}$$

$\varnothing$  = Harjateräksen halkaisija (mm)

Ankkurointipituuden tulokseksi saatiin 100 mm.

### Ankkurointipituuden määrittäminen vapaalle tuelle

Tartuntalujuus ja kiinnityspituus määritettiin vapaalle tuelle kaavalla 26.

$$L_{b, rqd} = \frac{\emptyset}{4} \frac{\delta_{sd}}{f_{bd}} \quad \text{KAAVA 26}$$

$\emptyset$  = harjateräksen halkaisija (mm)

$$\delta_{sd} = \frac{F_{ed}}{A_s} \text{ (MPa)} \quad (91,95 \text{ Mpa ja } 74,07 \text{ MPa}) \quad \text{KAAVA 27}$$

$$F_{ed} = V_{Ed} \frac{d}{z} \text{ (kN/m)} \quad (20,69 \text{ kN/m ja } 23,33 \text{ kN/m}) \quad \text{KAAVA 28}$$

$$Z = 0,9 d \text{ (mm)} \quad (134,1 \text{ mm ja } 188,1 \text{ mm}) \quad \text{KAAVA 29}$$

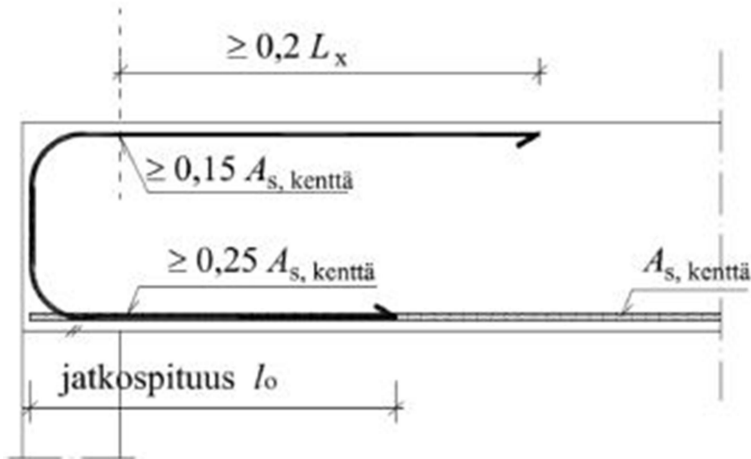
$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \text{ (MPa)} \quad (4,57 \text{ MPa}) \quad \text{KAAVA 30}$$

$$f_{ctd} = 0,21 * (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \text{ (MPa)} \quad (2,03 \text{ MPa}) \quad \text{KAAVA 31}$$

Myötövoiman vaatimat ankkurointipituudet jäivät pieneksi 50,3 ja 40,52 mm:iin, joten minimipituudeksi valittiin vapaalle tuelle arvoksi  $L_{b, \min}$  100 mm.

### Raudoituksen ankkurointi vapaalla tuella.

Vapaan reunatuen hakarauditus mitoitettiin kiinnitysmomentin mukaan (kuva 15). Pienimmillään tämä momentti on 15 % kenttämomentin maksimiarvosta ja rauditus saatiin sen mukaan kaavalla 33. Hakasen pituus määräytyi kentän lyhyemmästä jännemitasta kaavalla 32. Raudoituksen jaoksi valittiin 400 mm tankovälisäännön mukaan. (Nykyri 2015a.)



KUVA 15. Vapaantuen raudoitus (Nykyri 2015a)

$$0,2 * L_x$$

KAAVA 32

$L_x$  = laatan lyhyempi jännemitta (m)

Reunahakasen mitaksi valittiin 800 mm kuvan 15 antaman ohjeistuksen mukaisesti.

$$0,15 * A_s \text{ kenttä}$$

KAAVA 33

$A_s \text{ kenttä}$  = kentän autamäärä ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

Tulokseksi tuli  $33,75 \text{ mm}^2/\text{m}$  ja  $47,25 \text{ mm}^2/\text{m}$ . Määrille valittiin vielä tankojako kaavan (9) (sivulta 26) mukaisesti, T8 k400.

## 5 RAKENTEIDEN VERTAILULASKELMAT

Laskennassa otettiin tarkasteluun kuitubetoniset rakenteet ja niistä johtuvat materiaali sekä työmenekit, jotka vaikuttivat työmaan läpivientiin. Tarkasteltavat työvaiheet olivat betonointi ja raudoitus sekä materiaalikustannusten seuranta betonissa ja betoniteräksissä 3 906 m<sup>2</sup>-betonilaatalle. Näiden pohjalta kokonaisaikataulun laatimisessa käytettiin RATU-2002 1198-S perustusten tehtäväsuunnitelmakorttia ja Ratu-2012 23–0403 betonointi tehtäväsuunnitelmakorttia. Työmaan läpivientiajan vaikutus huomioitiin arvioitaessa kiinteiden kustannusten vaikutusta hankkeen kokonaiskustannuksiin, jotka ovat kohteessa 60 000 €/kk.

Molempien rakennustekniikoiden pääpiirteet olivat samanlaiset, joten vertailulaskelmat olivat keskenään verrannollisia työvaiheiden pysyessä samanlaisina. Mitoitetuissa harjateräslaatoissa paalukaistaraudoitteita ei voinut hyväksi lukea teräsbetonilaatan raudoitukseen, joten kaikissa kolmessa tarkasteltavassa tapauksessa on samanlaiset paalukaistaraudoitteet. Suunnitelluissa paalulaattaraudoitteissa vain laajemmassa mittakaavassa, koska verkkoteräsalue korvattiin kaistaraudoitteilla. Suunniteltuihin harjateräslaattoihin arvioitiin 16 mm kaistaraudoitteiden menekit saman suuruusluokan raudoituskentästä verkkoteräsradoitteiden tilalle.

Liikuntasaumojen vastaiset hakaset erosivat toisistaan mitoituksen ja kohteen suunnitelmien välillä. Tämä huomioitiin laskennassa päällekkäisyyksien estämiseksi raudoituksissa.

Vertailussa ei ollut mukana väestönsuojaa, kahta pientä betonilaattaa väestönsuojan yhteydessä, lastauslaituria ja iv-konehuonetta. Laatan kuituannoskoko betonikuutiota kohden myymälän puolella oli 35 kg/m<sup>3</sup> ja varaston puolella 37 kg/m<sup>3</sup>. Korjaamon, katsastusaseman ja pesuloiden puolella kuituannos oli laskettu 25 kg/m<sup>3</sup>, jonka yhteyteen tuli 10 mm:n harjateräsverkko.

## 5.1 Kuitubetonin käytön vaikutus rakentamisen kokonaisaikatauluun

Painotettavin resurssien kuormittaja tarkastelussa oli raudoitustyö, jonka työryhmäkokona laskennassa käytettiin kahta rakennusmiestä ja betonoinnissa kolmea rakennusmiestä. Työryhmää huomioimatta T3-aika kuitubetonilaatassa oli 15 työvuoroa lyhyempi ja työmenekissä kuitulaatta oli 22 % pienempi. Työryhmät huomioiden eroa tuli kahdeksan työvuoroa, joten kokonaisaikatauluun kuitubetonin käytöllä ei saavutettu harjateräslaatan toteutukseen verrattuna merkittäviä muutoksia.

Työsuoritteiden eroavaisuuksista johtuen työmaan kiinteät kustannukset nostivat kalliimman kuitubetonilattian kustannustehokkuutta. Raudoitusta kohden oleva työmenekki oli 39 % pienempi kuitubetoniraudoitteena.

### Kokonaistyöaikamenekit

Kuitubetonilaatta oli kokonaistyöaikameneiltään pienin kentänraudoituksen jäädessä vähäiseksi muista kuin paalulinjojen 16 mm:n harjateräksistä. Harjateräslaattojen kesken erot pysyivät maltillisina työmäärissä. Ainoastaan betonointimäärät erosivat toisistaan materiaalien kesken, eivät niinkään raudoitukset.

Rakennusaikaa tarkasteltiin T3-aikana. Ratu-korttien avulla määritettiin rakenteiden työaikamenekit. Raudoitustyövaiheen poisjättämisellä kentistä kuitubetoni oli 121 tth vähäisempi työmenekiltään 260 mm:n harjateräslaattaan nähden ja 99 tth 200 mm:n harjateräslaattaan verrattuna (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Betonilaattojen T3-kokonaistyöaikamenekit

WireFib® paalulaatta 260/250 mm	Harjateräslaatta 260/250 mm	Harjateräslaatta 200 mm
417 tth	538 tth	516 tth
52 tv	67 tv	65 tv

Kuitubetonin lähtökustannus oli korkeampi betoniin lisättävän teräskuidun takia. Kustannusta kompensoi työmaan rakennusajan lyhentyminen ja tällöin kiinteät kustannukset pienenivät rakennushanketta kohden. Kustannukset muodostuivat vakuutuksista, vuokrista, lämmityksestä ja työnjohdosta.

Kuitubetonin käytön etuna oli työmenekin pientyminen kohteessa. Materiaaleissa etenkin betonin kustannukset olivat taas 27 % korkeammat, kun verrataan vastaavanlaiseen harjateräslaattaan. Korkeampi hinta johtui massaansa tulevaan 34 360 kg:sta teräskuitua.

Kohteessa poikkeuksellisen raudoituksena materiaalikuluna voitiin pitää 630 m<sup>2</sup>:n alalle tulevaa 10 mm:n harjateräsverkkoa, jota tuli korjaamon, katsustusaseman ja pesuloiden lattioiden ylä- ja alapintaan yhteensä 10 546 kg. Yksi verkkokappale oli mitoiltaan 2,35 x 5 m ja painoltaan noin 100 kg, joten käytännössä verkon siirtelyyn tarvittiin neljä henkilöä.

### **Ajallinen kesto**

Kokonaistyöaikamenekissä ei huomioitu käytännössä katsoen muita kuin työpäivistä kerääntyviä tunteja, jotka eivät riitä kattamaan kokotyömaan tarkasteluun tarvittavia vuorokausia. Kiinteät kustannukset juoksivat vuorokauden läpi ja korreloivat työviikkojen eroavaisuuksien kasvaessa.

Kuitubetonilaatan T3-aikakertymä edellä mainitulla työryhmällä oli 22 tv. Viiden työpäivän viikkoja tehdessä kertymän osamäärä on neljä viikkoa, mistä saadaan viikonpäivien tulona ajalliseksi kestoksi 31 vuorokautta. Vastaavasti samalla rakennepaksuudella olevalla harjateräs laatalla aika oli 39 vuorokautta sekä ohuemmalle 200 mm:n laatalle 38 vuorokautta.

Laattojen toteutuksen eroavaisuuksina aikataulullisesti voitiin pitää ajallista kiireystasoa, joka on todennäköisesti matalampi kuitubetonilaatassa. Kuitubetonilaatassa mahdollisia työvaiheiden viivästyksiä ja niistä aiheutuvia myöhästymisiä työvaiheiden muutoksista johtuen vähemmän, koska rauditusvaiheessa on pienempi volyymitaso.



## **Työtekniset riskit**

Kosteudenhallinta on tärkeänä osana betonirakenteiden käyttöä. Betonoinnin suurimpina riskeinä ovat kiiruhtaminen rakenteen pinnoittamisessa. Suurissa kohteissa betonointi on aikataulullisesti kriittisellä polulla, mikä mahdollisesti johtaa riskinottoihin rakenteen pinnoituksessa.

Kohteen laatan betonointi tehtiin EPS-eristeen päälle, mistä johtuen massa ei pääse kuivumaan alaspäin eikä maasta pääse tulemaan kosteutta laattaan-kaan. Paksulla 260 mm:n laattalla on pitkä kuivumisaika. Tätä eivät olleet edesauttamassa talviset rakennusolosuhteet, joten betonin suhteellisen kosteuden voi olettaa pysyvän kauan korkeana.

Työteknisien riskien aiheuttajana voitiin pitää laatan paksuuden vaatimaa kuivumisaikaa, jonka tulisi tapahtua ennen päällystämistä mahdollisen kuivumiskutistuman takia. Kutistuma mahdollisesti johtaisi laatoituksen korkkaamiseen lattiasta.

Laatta tulee kuivumaan olosuhteiden sallimissa määrin ennen laatoitusta ja laatojensaumoista betonin ei voinut olettaa kuivuvan rakentamisen loputtua. Toisaalta kuivumattomuus on hyvä seuraus, koska kuivumiskutistumaakaan ei täten pääse syntymään.

Todennäköisemmäksi riskiksi osoittautuikin hiipuman aiheuttama ongelma. Painumisen voi havaita pääsääntöisesti ensimmäisen vuoden aikana tapahtuvasta 70 % virumasta, mutta mahdollisesti vasta useiden vuosien jälkeen valmistuksesta. (Nykyri 2015b.)

### **5.2 Kuitubetonin käytön vaikutus rakentamisen kustannuksiin**

Kuitubetonin käytöllä saadaan joudutettua rakennuksen läpimenoaikaa etenkin suurissa kohteissa, kun rauditusmäärät kasvavat. Hyödyn käytön edellytyksenä on, että laatanrakentamisen täytyy olla aikataulullisesti kriittisellä polulla, jolloin työmaan tahdistaa betonilaatanrakennus sen toteutuksen aikana. Jos betonilaatan rakentaminen ei olisi aikataulullisesti kriittisellä polulla ei rauditus-työvaiheen pienentämisellä saavutettaisi kokonaisaikataulussa muutoksia.

Kohteen läpimenoa tarkasteltiin T4-ajan suhteen ja käytetyt materiaalihinnat olivat 0 %:n ALV-hintoja. Rakennustyöntekijöiden keskituntiansiona käytettiin 18 euroa tuntia kohden. Summaan huomioitiin sosiaalikulusta ja lomarahoista aiheutuvat kulut, minkä jälkeen laskennassa käytetyksi määräksi tuli 31,14 €/h.

## Betonimenekit

Hinnoittelussa on käytetty Ruskonbetonin 2015 valmisbetonihinnastoa. Materiaalipuolella kuitubetonin kustannukset nousivat lisätystä kuituteräksestä johtuen. Betonimassan kuutiohintaa on sidoksissa käytettävään kuituannos määrään nostamalla kuitubetonin hintaa (taulukko 2).

### TAULUKKO 2. Laattojen betonimassojen hinnoittelu

Kuitubetoni 260mm laattaan C30\37							
Määrä	hukka	hinta	pumppaus		kuitumäärä	hinta	yhteensä
m3	%	€/m3	€/m3	€/m3	kg	€/kg	€
1 030	2	149	12	161	34 361	1,32	211 269
Betoni 260 mm laattaan C30\37							
Määrä	hukka	hinta	pumppaus				yhteensä
m3	%	€/m3	€/m3	€/m3	€/m3	€	
1 030	2	149,18	11,9		161	165 912	
Betoni 200 mm laattaan C30\37							
Määrä	hukka	hinta	pumppaus				yhteensä
m3	%	€/m3	€/m3	€/m3	€/m3	€	
796	2	149,18	11,9		161	128 220	

Betonointityömenekkejä verratessa saman paksuisten laattojen kesken ei poikkeavuutta syntynyt. Ohuemmassa laatussa menekit pienenevät materiaaleissa ja työmenekkeissä (taulukko 3).

### TAULUKKO 3. T4-betonointimenekit

#### Kuituteräs paalulaatta

Betonointi Laatta	Työmenekki tth/m3	määrä m3	työmenekki tth
Pumppubetonointi	0,23	1 030	237
		Summa	237
Suoritemääräkerroin	0,95		yhteensä 225 tth 28 tv

#### 260/250mm harjateräs paalulaatta

Betonointi Laatta	Työmenekki tth/m3	määrä m3	työmenekki tth
Pumppubetonointi	0,23	1 030	237
		Summa	237
Suoritemääräkerroin	0,95		yhteensä 225 tth 28 tv

#### 200mm harjateräslaatta paalulaatta

Betonointi Laatta	Työmenekki tth/m3	määrä m3	työmenekki tth
Pumppubetonointi	0,23	796	183
		Summa	183
Suoritemääräkerroin	0,95		yhteensä 174 tth 22 tv

### Raudoitus

Harjaterästen kustannukset osoittautuivat oletetustikin pienimmiksi hybridi-raudoitteisessa rakenteessa, johon ei tullut tankoraudoitteita kenttiin. Ohuemman laattarakenteen käyttäminen nosti teräsmenekkiä noin 10 % johtuen siitä, ettei mitoituksen tankojako mahdollistanut kevennysten käyttöä raudoitteissa. Pienimmän ja suurimman harjateräsmenekin erot olivat 30 % eli noin 8 000 €. Tämä on yllättävän pieni summa, kun huomioidaan, että Wirefib-laatussa käytettävien kuituterästen arvo on yli 45 000 €.

Verkkoteräksen korkeampi kilohinta nosti kohteen raudoitteiden kokonaishintaa 1 400 €, kun huomioitiin tuotteen kilokohtainen hinnoittelu ero. Korkeamman hinnan lisäksi verkkoterästä meni yllättävän paljon verrattuna raudoitettavaan neliömäärään, jota oli 80 % vähemmän kuin verkkoraudoittamatonta lattiaa.

Harjateräslaatoissa verkko korvattiin samanlaiseksi kaistaraudoitteeksi kuin myymälän ja varaston puolella. Käyttö näkyi kaistaraudoitteiden kasvavana määränä 16 mm:n teräksissä (taulukko 4).

#### TAULUKKO 4. Teräksien materiaalikustannukset

##### Kuituteräs paalulaatta

Teräs Ø mm	menekki kg	hukka %	hukankera kg	hinta €/kg	yhteensä €
16	13 037	15	14 992	0,75	11 244
10	6 507	10	7 158	0,75	5 368
10#-150	10 584	10	11 642	0,87	10 129
					26 741

##### 260/250mm harjateräs paalulaatta

Teräs Ø mm	menekki kg	hukka %	hukankera kg	hinta €/kg	yhteensä €
16	16 288	15	18 731	0,75	14 049
10	21 669	10	23 836	0,75	17 877
8	1 235	10	1 358	0,75	1 018
					32 944

##### 200mm harjateräs paalulaatta

Teräs Ø mm	menekki kg	hukka %	hukankera kg	hinta €/kg	yhteensä €
16	16 288	15	18 731	0,75	14 049
10	23 765	10	26 141	0,75	19 606
8	1 372	10	1 509	0,75	1 132
					34 786

Rakennuskohteessa verkkoraudoitteen käyttö johtui lattiapinnoitteesta, joka toteutettiin tuoreen betonimassan pintaan. Pinnoitteesta teräskuitu ei saanut tulla lävitse, joten kuitupitoisuutta lähdettiin laskemaan ja korvaamaan verkkoraudoitteella.

Raudoitustyömenekit kulkivat rinnan materiaalimenekkien kanssa. Kuitube-tonilaatta oli pienin menekeiltään työn ja materiaalien sekä materiaalien siirte-lyissä. Menekit olivat 27 % pienemmät kuitubetonilaatassa verratessa 200 mm laatan suurimpaan menekkiin (taulukko 5).

## TAULUKKO 5. T4-raudoitustyömenekit

### Kuituteräs paalulaatta

Teräs Ø mm	työmenekki tth/1000kg	määrä kg	yhteensä tth
16	5,3	13 037	69
10	9,4	6 507	61
10#-150	4,7	10 584	50
			180

Suoritemääräkerroin 5 % 189

### 260/250mm harjateräsmaalulaatta

Teräs Ø mm	työmenekki tth/1000kg	määrä kg	yhteensä tth
16	5,3	16 288	86
10	9,4	21 669	204
8	12	1 235	6
			296

Suoritemääräkerroin 5 % 311

### 200mm harjateräs maalulaatta

Teräs Ø mm	työmenekki tth/1000kg	määrä kg	yhteensä tth
16	5,3	16 288	86
10	9,4	23 765	223
8	12	1 372	6
			316

Suoritemääräkerroin 5 % 332

## Työaikamenekit

Kuitubetonin työmenekkiä tarkasteltaessa oli selvää, että työntekijöiden palkkauksesta syntyvät kulut asettaisivat kuitubetonin kustannukset alhaisimmiksi.

Kohteessa kustannukset olivat noin neljänneksen alhaisemmat kuin harjateräslaatoissa (taulukko 6).

## TAULUKKO 6 T4-työmenekkimäärät ja kustannukset

WireFib® paalulaatta	Harjateräsbetoni 260mm	Harjateräslaatta 200mm
483 tth	626 tth	601 tth
15 052 €	19 488 €	18 721 €

Viimeisimmät huomioitavat kustannuserät olivat rakennushankkeen kiinteistä kustannuksista johtuvat menoerät, jotka olivat laskennassa 2 000 € päivää kohden. Kulujen huomioitiin juoksevan vuorokauden ympäri koko viikon.

Toteutuneelle kuitubetonilaatalle yllämainitun kulujen kattavia päiviä oli 35 vrk, paksulle harjateräslaatalle 49 vrk ja ohuemmalle laatalle 45 vrk (taulukko 7).

TAULUKKO 7. T4-aikataulu

			1vk	2vk	3vk	4vk	5vk	6vk	7vk
Kuitubetonilaatan raudoitus ja Betonointi	2RM+3RM	35,0							
260mm Laatan raudoitus ja Betonointi	2RM+3RM	49,0							
200mm Laatan raudoitus ja Betonointi	2RM+3RM	45,0							

Kuitubetonin käytöllä saatiin pienenettyä kiinteitä kustannuksia 14 vuorokauden edestä, mikä teki noin 28 000 €. Työvaiheiden tahdistuksella saavutettaisiin vähemmän tarkasteltavia päiviä, jotka vaikuttaisivat tämän tarkastelun tulokseen. Tekijä jätettiin pois, koska sen vaikutus ei todennäköisesti muuttaisi eroavaisuuksien suuruutta.

### 5.3 Erot rakenteiden kelpoisuudessa

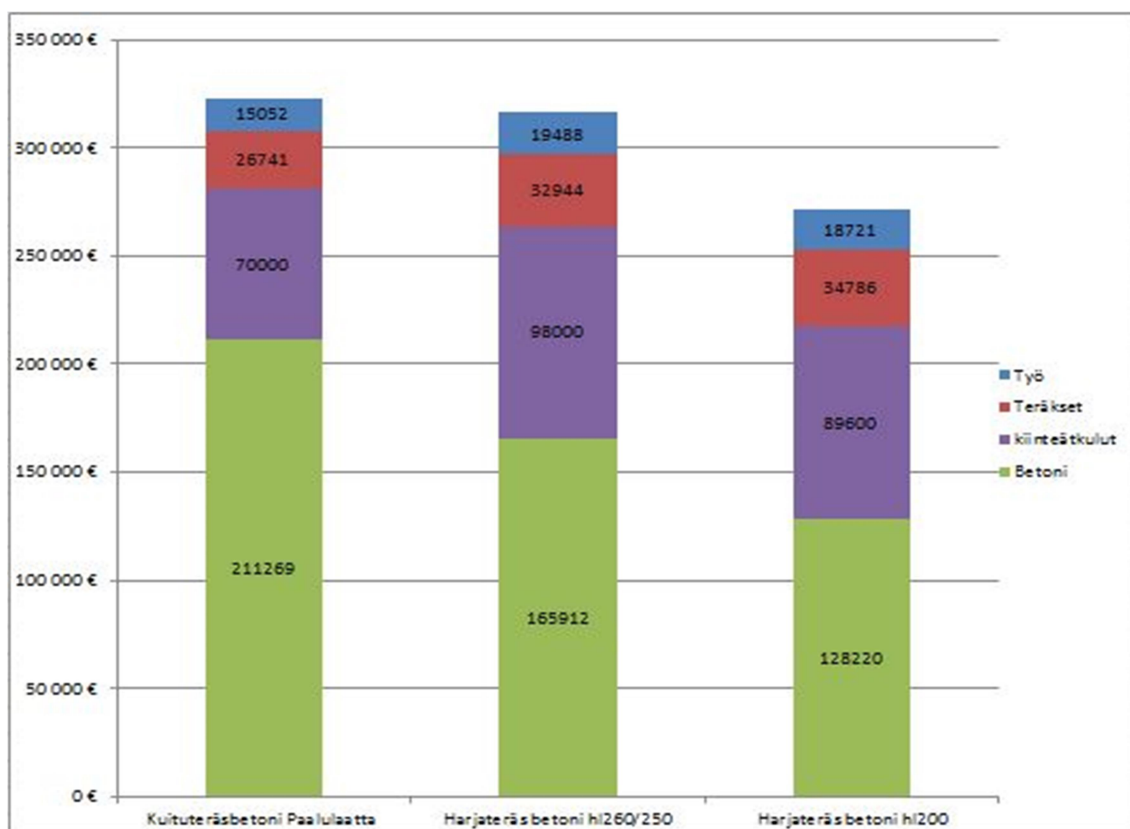
Kuitubetonipaalulaatta ei osoittautunut kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi kohteessa, vaikka työn läpivientiaika oli nopein. Syynä tähän voi pitää teräskuidun korkeaa hintaa verrattuna harjateräkseen ja käytettyä hybridiraudoitusta, joka ei mahdollistanut suojabetonietäisyyksien pois jättämistä.

Jos suojabetonietäisyyksiä ei olisi käytetty kuitubetonirakenteessa, oltaisiin päästy ohuempaan laattarakenteeseen (katso luku 3.1). Laattarakenteen raudoituksen vähentymisellä saatuja hyötyjä ei edesauttanut myöskään teräsverkoraudoite, jonka käyttö söi kustannustehokkuutta entisestään tutkittavasta kohteesta.

Laattojen harjateräsraudoitusmäärät betonikuutiota kohden olivat kuitubetonilaatassa 30 kg/m<sup>3</sup>, 260 mm:n laatasta 38 kg/m<sup>3</sup> ja ohuimmassa laatasta 50

kg/m<sup>3</sup>. Kaikissa teräsmäärissä huomioitiin paalukaistojen teräsmäärän vaikutus sekä kentässä olevat raudoitteet harjateräslaatoissa. Kuituteräksset lisättyinä kohteen laatan teräsmäärä nousi 65 kg/m<sup>3</sup>, jota oli korottamassa poikkeuksellisesti harjateräsverkon käyttö osassa rakennuksen lattiaa. Harjateräsverkon huomioimatta jättäminen laskee määrän 58 kg/m<sup>3</sup>.

Kolmen eri ratkaisun kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa hallissa toteutettu rakenne oli 2 % kalliimpi kuin harjateräsraudoitteena toteutettu versio. Ohuempana rakenteena, 200 mm:n laattapaksuudella ja tavanomaisella teräsbe-tonirauδοituksella olisivat kustannukset laskeneet 16 % (kuva 16).



KUVA 16. Betonilaattojen kokonaiskustannusjakaumat

Hankkeen kustannuksia ei tule seurata ainoastaan materiaalikustannusten näkökulmasta. Suhteellisten kustannuksen määrää kokonaishintaa tarkasteltiin betonikuutioista ja lattianeliöistä (taulukko 8). Kun kokonaiskustannuksia verrattiin valettuun lattiapinta-alaan ja käytettyyn betonimäärään, kuitubetonipaalu-laatta oli noin 1,5 % kalliimpi toisena tulevaan ratkaisuun.

TAULUKKO 8. Kustannukset lattianeliölle ja betonikuutiolle

Kuitubetoni paalulaatta 260/250 mm	Harjateräs paalulaatta 260/250 mm	Harjateräs paalulaatta 200 mm
82 €/m <sup>2</sup>	81 €/m <sup>2</sup>	67 €/m <sup>2</sup>
313 €/betm <sup>3</sup>	307 €/betm <sup>3</sup>	340 €/betm <sup>3</sup>

Tuloksista pystyttiin havaitsemaan, että kuitubetonin kuutiohintaa ei asettunut kalleimmaksi. Kohteen kokonaiskustannukset ja lattianeliöiden hinnatkin asetettiin samalle viivalle paksuuden teräsbetonilaatan kanssa.

Hintoja vertailtaessa huomioitavana seikkana oli, ettei kohde ollut paras mahdollinen osoittamaan kuitubetonirakennustekniikan etuja. Kuitua ei käytetty yksinään raudoituksena, kuten maanvaraisessa tai kantavassa teräskuiturakenteessa.

Suunniteltujen harjateräsbetonilaattojen käyttöasteet olivat hyvin alhaiset noin kolmasosan, mikä todettiin Pia Lindorsin (2011) tekemällä myötöviiviteoriaan perustuvalla Excel-laskentaohjelmalla, joka on toteutettu Oulun seudun ammattikorkeakoulun opinnäytetyönä. Ohjelman pohjalta optimoituun käyttöasteeseen harjateräslaatoilla päästiin paksuudeltaan laatalle 8,4 x 8,4 m:n sivumitoilla ja 200 mm:n laatalle 7 x 7 m:n sivumitoilla.

Tilanteessa ei ole huomioitu, että muutos todennäköisesti vaikuttaisi laatan sisäisten palkkien dimensioihin, mutta seinien varaan laatta olisi mahdollinen toteuttaa edellä mainituilla huomattavasti pidemmällä mitoilla. Täältä ajatus pohjalta lähdettynä harjateräsbetonilaatan kustannukset olisivat pienemmät perustuksia myöten, kun paalumäärät vähenisivät jännemittojen kasvaessa. Samalla laatan käyttöaste nousisi korkeammaksi.

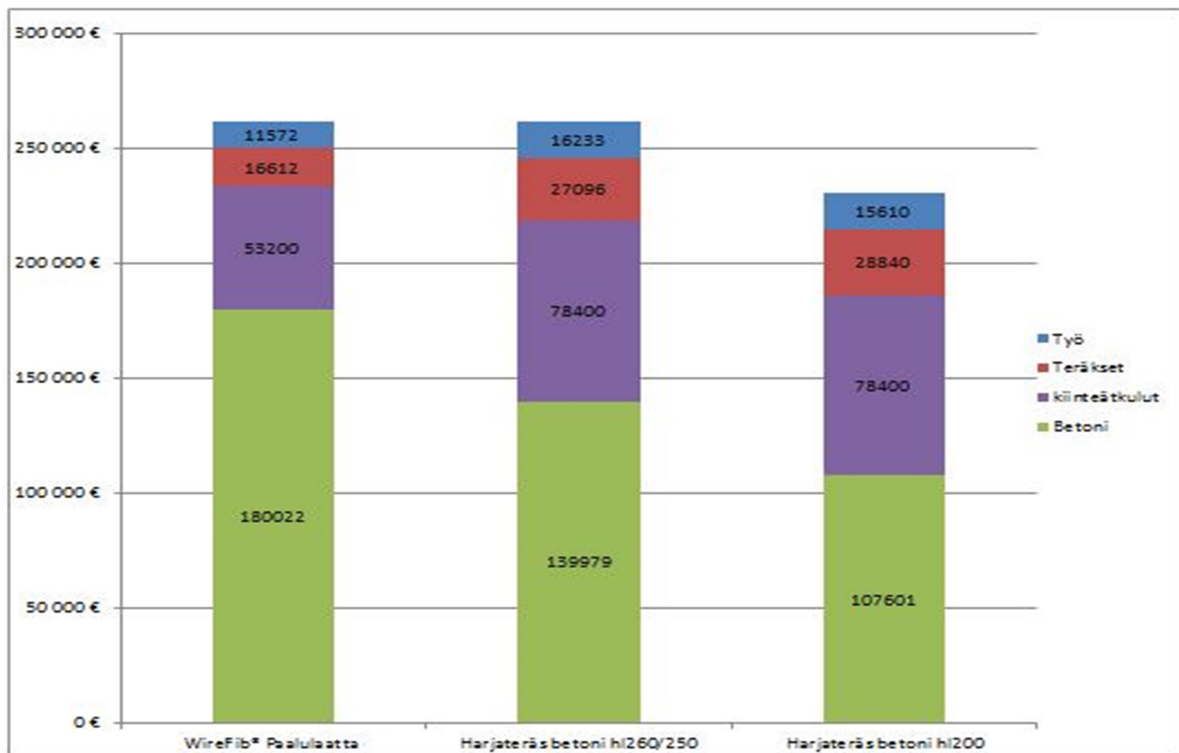
Rakennuslaajuudeltaan kohde loi edellytykset kuitubetonitekniikalla päästäviin etuisuuksiin kustannustehokkaammasta rakentamisesta, koska kuitubetonilla rakennusaika lyhenee rauditusmäärän kasvaessa. Kuitubetonin käytön kan-



nattavuus nousee myös, kun käytetään ainoastaan kuituraudoitusta eikä hybridirauoitusta.

Kohteessa toteutunut kuitubetonilattia olisi ollut kilpailukykyinen vaihtoehto, mikäli sen rakennepaksuus olisi voitu toteuttaa samalla rakennepaksuudella kuin harjateräsbetonilaatalla mitoitettiin. Ohuemmissa 200 mm:n laatoissa eroavaisuus olisi todennäköisesti kasvanut kuitulaatan eduksi suhteessa enemmän kuin paksummissa laatoissa. Paksummassa 260 mm:n laatussa oli mahdollista käyttää harjateräsradoituksen kevennyksiä, mikä kavensi harjateräsradoituksen kustannusten eroavaisuuksia kuitubetonilaattaan.

Verkkoteräs alueen pois jättäminen tarkastelusta muutti rakenteiden kustannusjärjestystä. Samanlaisen vertailun jälkeen kuiturakenteen ominaisuutena pysyi edelleen rakenteen teräskuidun korkea hinnoittelu, mikä nosti betonimassan hintaa. Kuitubetonin käytöllä olisi pitänyt työn nopeutumisesta johtuen kattaa sen aiheuttamat korkeammat materiaalikulut (kuva 17).



KUVA 17. Wirefib- ja harjateräspaalulaattojen kustannusjakaumat

## 6 POHDINTA

Teräskuitubetonia käytetään pääsääntöisesti laajoissa rakennuskohteissa. Sen käyttökohteina ovat yleisimmin maanvaraiset ja kantavat laatat, joiden kokonaisrautamäärät ovat suuria teräsbetoniraidoittaisena.

Kuitubetoni on Suomessa vielä vähäiselle käytölle jäänyt materiaali sen suunnittelustandardien puuttuessa. Keväällä 2016 julkaistavat betoniyhdistyksen ohjeistukset oletettavasti lisäävät kuidun käyttöä rakentamisessa ja mitoituskäytännön vakiintuessa kuitubetonin kokonaiskustannuksia voidaan optimoida rakennuskohteen tarpeita vastaavaksi.

Tutkimuslaskenta tehtiin Rakennusliike M.Kurtti Oy:n rakennuskohteesta. Kohde oli urakoitsijan ensimmäinen WireFib®-paalulaatta rakennustekniikalla tehty kuitubetonirakenne.

Tavoitteena oli selvittää myymälähallin betonilaatan kahden eri rakennustavan erot ja tuoda näiden kautta esille kustannusjakaumat suunnitelmiin perustuen. Opinnäytetyö pohjautui teoreettiseen laskentaan tehtäväsuunnitelman avulla ja materiaalimenekkien laskentaan piirustuksista sekä suunnitelluista teräsbetoniraidoituksista.

Tuloksista pystyi päättämään WireFib-rakenteen soveltuvaksi vaihtoehdoksi, mutta ei kustannustehokkaimmaksi tavaksi laajassakaan mittakaavassa olevan paalulaatan toteutukseen, kun rakennepaksuus kasvaa suureksi. Pienemmissä rakennuskohteissa tulokset antaisivat vielä katteettomamman vaikutelman työsuoritteiden jäädessä pienemmäksi raudoitustyössä.

Kuitubetonitekniikan edut saadaan parhaiten esille, kun se tehdään ohuempana betonirakenteena kuin harjateräslaatta voitaisiin rakentaa. Raudoitusten hintaerot kilo kohden ovat suuret kuituteräksen ja harjateräksen välillä harjateräksen eduksi, kun työstä aiheutuvia kustannuksia ei huomioida. Rakenteiden materiaalikustannukset pitäisi saada samalle viivalle alhaisemmalla kuitubetonimenekillä, koska kuituteräsrakenteen materiaali kustannukset ovat suuremmat ja ajallisista tarpeista johtuvat menekit taas pienemmät.

Semtu Oy:n ohuin rakennepaksuus WireFib-paalulaatalle on 200 mm, jolloin käytettävän kuidun määräkin laskisi kokonaisuudessaan. Kuitubetonilaatan mitoituksessa periaatteessa betonikuutiota kohden oleva kuituannosmäärä voisi pysyä samana, vaikka laatan poikkipinta-ala pienenesi, koska laatan mitoituskuormakin pieneni.

Tornion Motonet-rakennustyömaan betonilaatassa arvioitiin ongelmaksi betonin kuivumisesta aiheutuva kutistuminen, joka aiheuttaisi laattojen korkkaamisen irti laatan päälle tulevasta maakosteastabetonista. Haastatteluissa kävi ilmi, että ongelma ei muuttunut, mutta syy seuraukseen vaihtui pitkäaikaiskäyttötarkastelussa. Paksun laatan hiipuma nousi todennäköisemmäksi ongelmaksi.

Maakosteambetonin käyttö laatoituksen kiinnityksessä oli erinomainen valinta, koska laatan kosteudessa ei tule ongelmia, kuten polymeeripohjaisilla kiinnitysmenetelmillä. Toiseksi teräskuitulattian timanttihionta tai kuidun peittäminen betonia pinnasta täryyttämällä jäi kokonaan pois ennen laatoitusta.

## LÄHTEET

Betoni ja kestävä kehitys. 2015. betoni.com. Saatavissa:

<http://www.betoni.com/tietoa-betonista/betoni-ja-kestava-kehitys/betoni-rakennusmateriaalina>. Hakupäivä 30.11.2015.

Betonikuidut. 2015. Semtu Oy. Saatavissa:

<http://www.semtu.fi/fi/tuotteet/kuidut/teraeskuidut/>. Hakupäivä 27.11.2015.

Juurela, Mikko 2015. Paikalla valettu kuitubetonilaatta välipohjarakenteena. Kymeenlaakson ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Kadenius, Esa 2015. Pääsuunnittelija DI, RAK-TOR Oy. Keskustelu marraskuussa 2015.

Kuitubetonilla lisää lujuutta. 2012. Rakentaja.fi. Saatavissa:

[http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9060/kuitubetonilla\\_lisaa\\_lujuutta.htm](http://www.rakentaja.fi/artikkelit/9060/kuitubetonilla_lisaa_lujuutta.htm). Hakupäivä 27.11.2015.

Kuidut. 2015. Suomen TTP Oy. Saatavissa: <http://suomentpp.fi/kuidut/>. Hakupäivä 27.11.2015.

Kurtti, Mikko 2015. Toimitusjohtaja RI, Rakennusliike M.Kurtti Oy. Keskustelut syksy 2015–kevät 2016.

Kääriäinen, Hannu 2015. T512605 Betonitekniikka 2 5op. Opintojakson luennot syksy 2015–kevät 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Lanu, Matti 1992. Kuitubetonikomposiittien säilyvyys. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Lindros, Pia 2011. Teräsbetonilaatan mitoitus myötöviivamenetelmällä. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Lumme, Pentti 2008. Kehitysjohtaja Rudus Oy. Kuitubetonienkäyttö lisääntyy rakenteissa – jopa kantavissa rakenteissa. PDF-Diasarja. Saatavissa: [www.betoni.com/Download/22208/BET0803%20s%2072-77.pdf](http://www.betoni.com/Download/22208/BET0803%20s%2072-77.pdf).

Hakupäivä 27.11.2015.

Matsinen, Martti 2013a. Rakenteellinen kuitubetoni – Viro kulkee edellämme. PDF-diasarja. Saatavissa: [www.betoni.com/Download/24365/BET1304\\_62-67.pdf](http://www.betoni.com/Download/24365/BET1304_62-67.pdf). Hakupäivä 30.11.2015.

Matsinen, Martti 2013b. Teräskuitu vs. teräskuitu. Saatavissa: <https://piimat.wordpress.com/2013/06/28/teraskuitu-vs-teraskuitu/>. Hakupäivä 9.12.2015.

Matsinen, Martti 2014. Teräskuitubetonin käyttäminen kantavissa rakenteissa. PDF-diasarja. Saatavissa: [www.betoni.com/Download/24438/BET1401\\_60-69.pdf](http://www.betoni.com/Download/24438/BET1401_60-69.pdf). Hakupäivä 28.9.2015.

Meriläinen, Teuvo 2012. Teräskuitubetoninkäyttö. PDF-Diasarja. Saatavissa: [www.bly.fi/File/2012-5Merilainen.pdf?rnd=1356604168](http://www.bly.fi/File/2012-5Merilainen.pdf?rnd=1356604168). Hakupäivä 27.11.2015.

Myllyneva, Pekka 2015. Toimihenkilö. Rakennusliike M.Kurtti Oy. Keskustelu syksy 2015 – kevät 2016. Motonet tavaratalon paalulaatan toteutus.

Nykyri, Pekka 2014. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2 by 211. Helsinki: Betoniyhdistys.

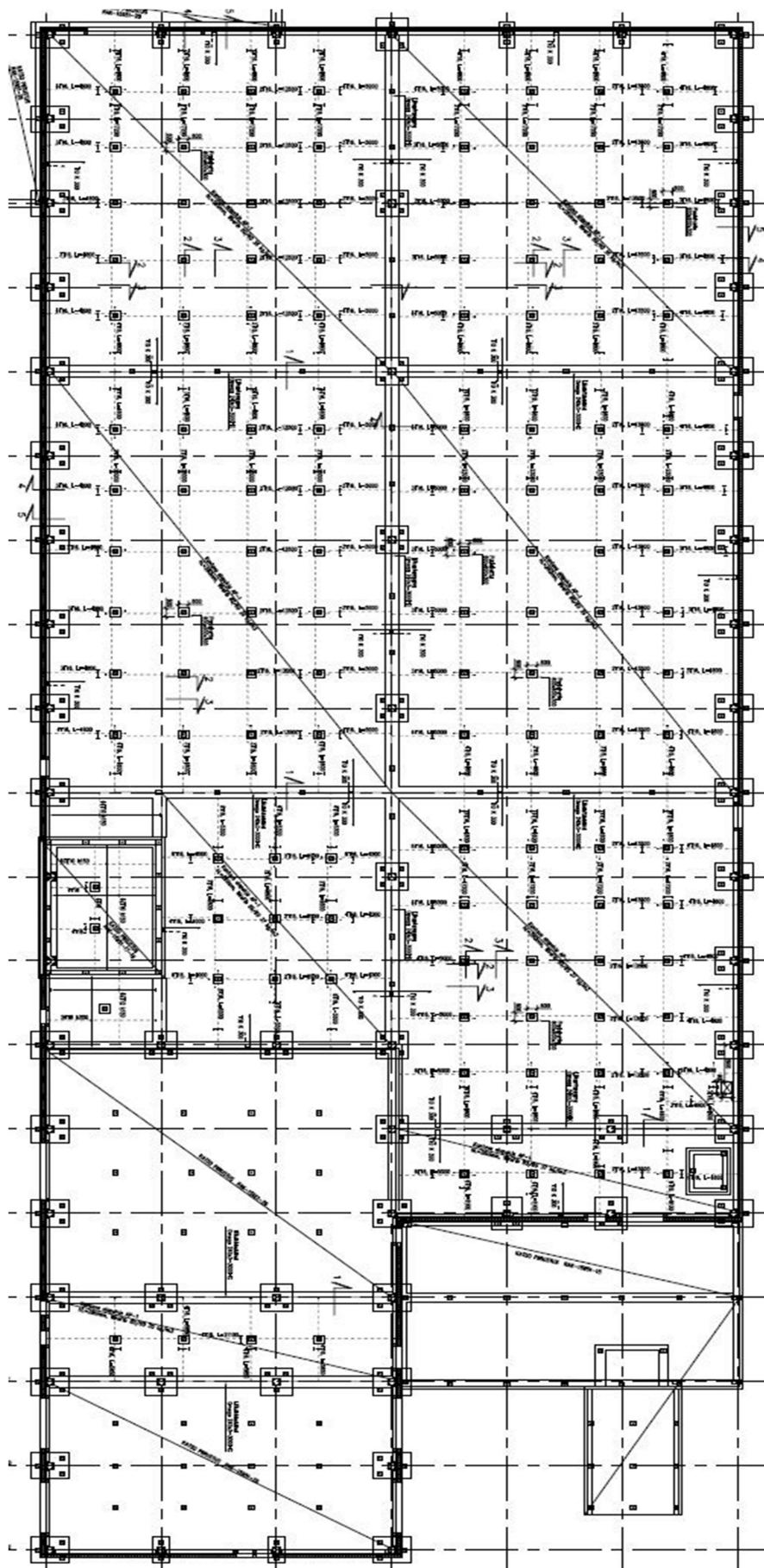
Nykyri, Pekka 2015a. T512503 Betonirakenteet 2 3op. opintojakson luennot keväällä 2015. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikanyksikkö.

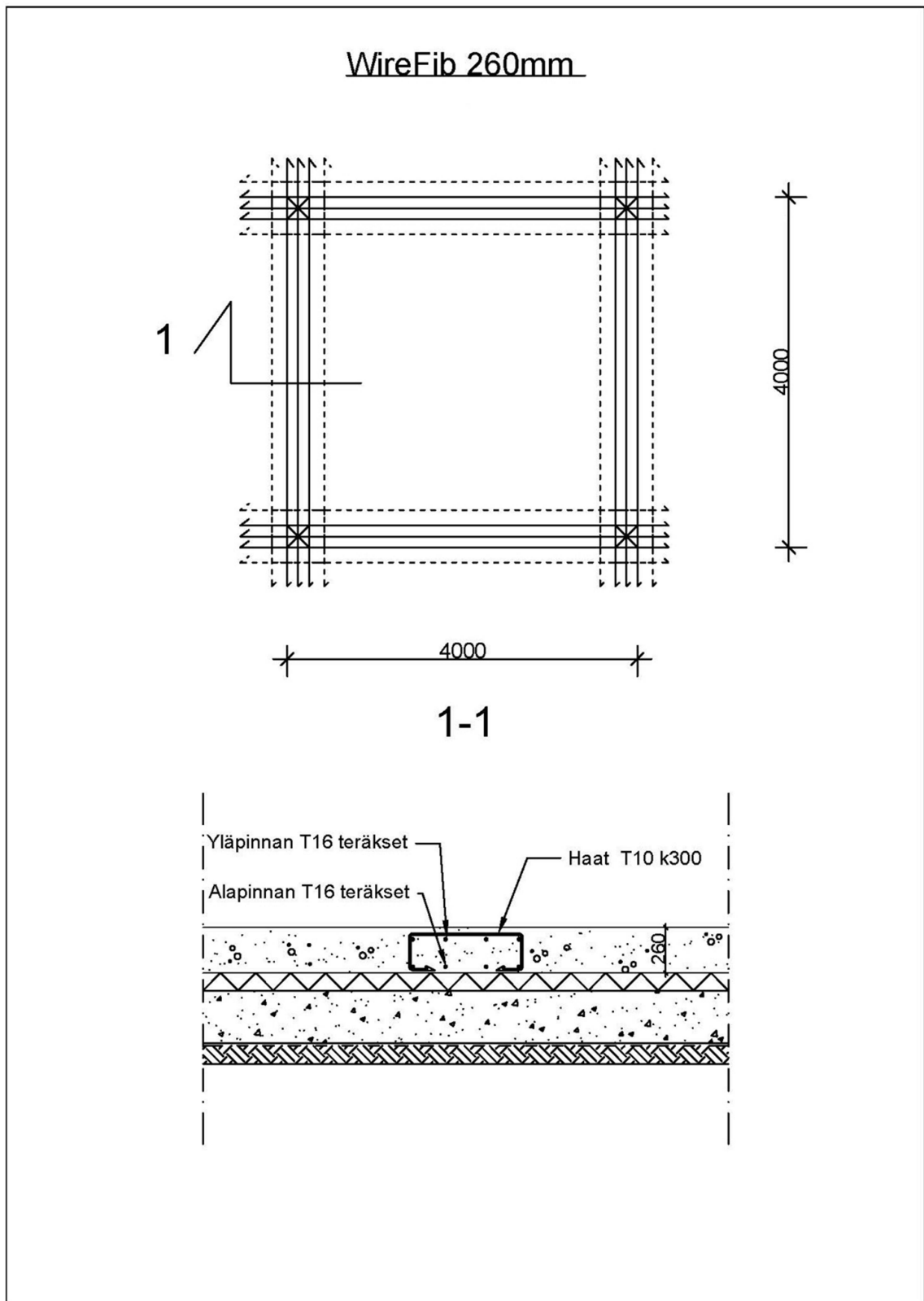
Nykyri, Pekka 2015b. Yliopettaja ,Oulun ammattikorkeakoulu. Keskustelu syksy 2015 – kevät 2016. Motonet-tavaratalon paalulaatan suunnittelu.

Saumattomat kuitubetonilaatat. 2015. Piimat Oy. Saatavissa: <http://www.piimat.fi/tuotteet/betonilattiat/kuitubetoni>. Hakupäivä 17.11.2015.

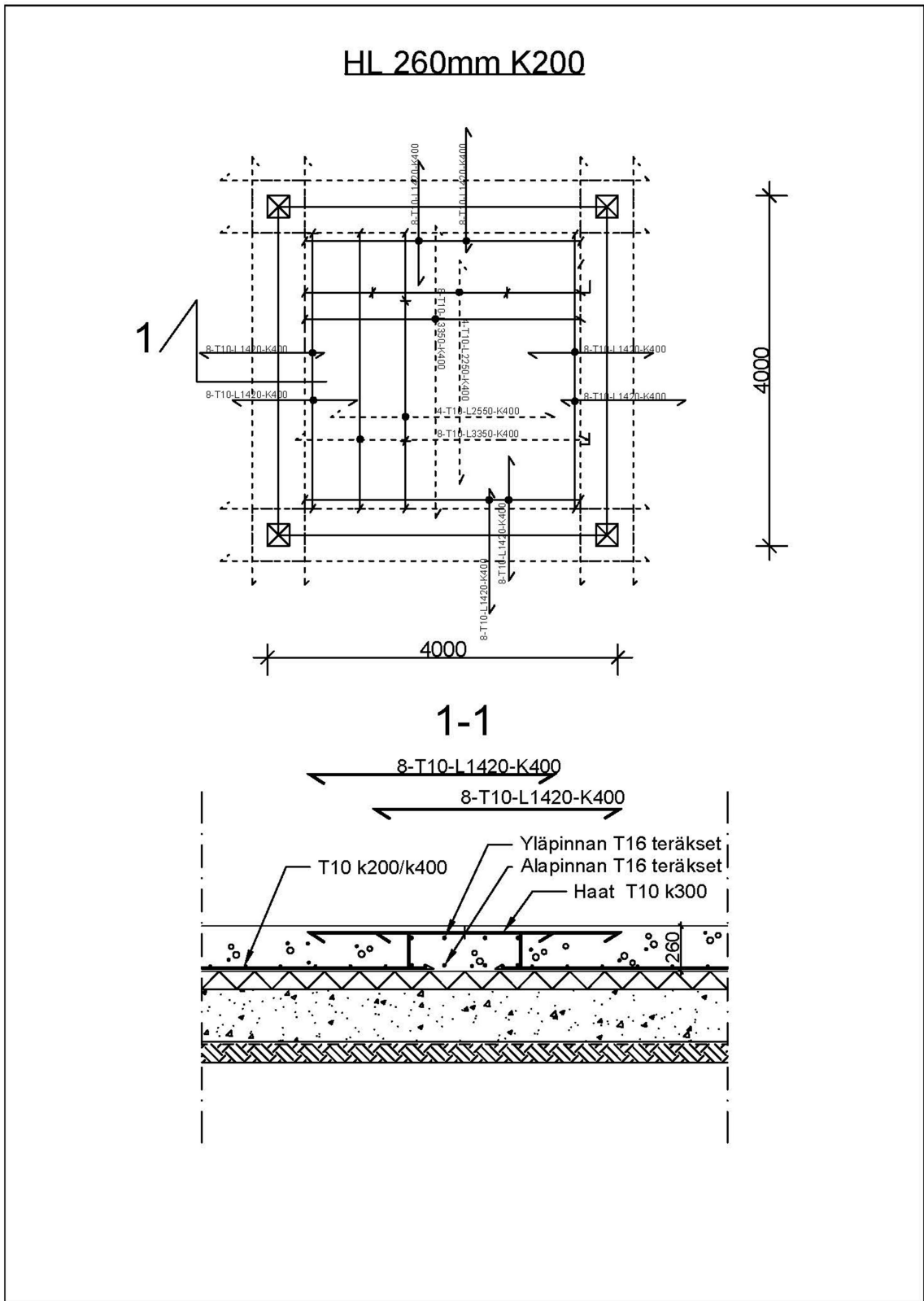
Valjus, Juha 2015. Betonin ominaisuuksia, kuitubetonia ja monitorointia. Saatavissa: [www.betoni.com/Download/24705/BET1501\\_83.pdf](http://www.betoni.com/Download/24705/BET1501_83.pdf)  
Hakupäivä 29.12.2015.

Wirefib paalulaatta. 2011. Semtu Oy. Pdf-esite Saatavissa: [http://www.semtu.fi/files/9413/1357/5720/WireFib\\_8060\\_paalulaatta\\_esite\\_2011.pdf](http://www.semtu.fi/files/9413/1357/5720/WireFib_8060_paalulaatta_esite_2011.pdf). Hakupäivä 19.12.2015.

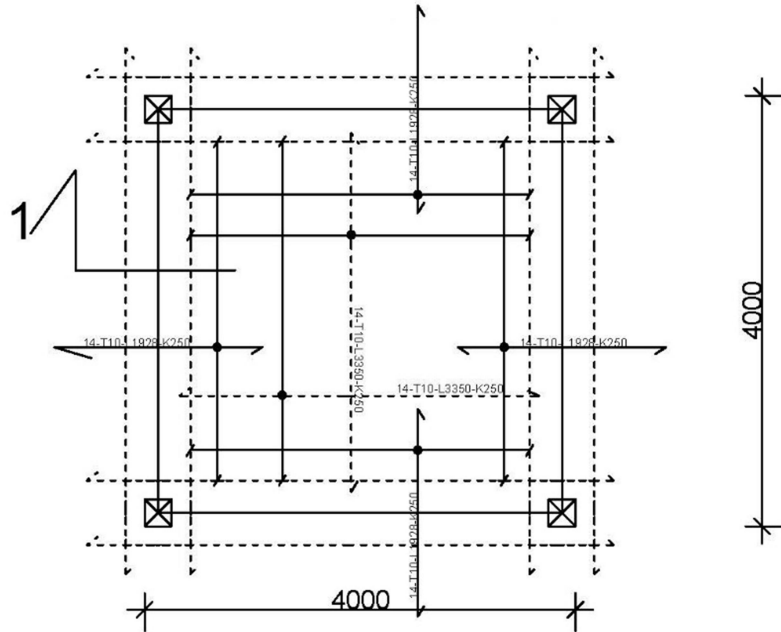








### HL 200mm K250



### 1-1

