
Luja-lankku-elementti

Joona Tahkola

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Joona Vihtori Tahkola	
Työn nimi Luja-lankku elementti	
Päiväys	5.4.2011
Sivumäärä/Liitteet	27 + 28
Ohjaaja(t) Lehtori Harry Dunkel	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujabetoni Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinööriyön aiheena oli Luja-lankku-elementti, eli kehitteillä oleva ohutkuorinen solupolystyreeniytiminen betonielementti. Työn tavoitteena oli tutkia ja kehittää erilaisia liitosratkaisuja uuden betonielementin käyttöön rakentamisessa sekä tutkia elementin kestävyyttä. Tarve tälle työlle tuli Lujabetoni Oy:n toiveesta kehittää kilpailijoiden villa-pelti-elementille kilpailukykyinen betonielementti.</p> <p>Insinööriyössä selvitettiin aluksi elementin kehitystyön taustaa, rakennetta ja käyttötarkoitusta. Tutkimustyössä keskityttiin etsimään erilaisia mahdollisia vaihtoehtoja liitosratkaisuksi. Työssä tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja elementin kiinnittämisestä pilariin, nurkkaliitoksista, sokkeliliitoksesta, elementin liittymisestä yläpohjaan, elementin kiinnittämisestä L-teräksiin, nosto-oven liittymisestä elementtiin ja nauhaikkunan kiinnittämisestä elementteihin. Lisäksi työssä esitettiin laskelmia elementin kestävydestä. Lisäksi tutkittiin voidaanko elementtien väliin tehdä nauhaikkuna. Insinööriyössä tehtiin myös elementtikuvat koe-elementtejä varten. Lisäksi työssä selvitettiin Lujabetonin kanssa yhteistyössä elementin valmistamisen kustannuksia. Liitosratkaisujen pohjaksi tutustuttiin betonisandwich-elementeillä toteutetun hallin suunnitelmiin, Ruukin villa-pelti-elementtien rakennedetaljeihin sekä elementtisuunnittelu.fi –sivuston detaljikirjastoon. Lisäksi tehtiin työmaavierailuja. Piirustukset tehtiin AutoCad-ohjelmalla</p> <p>Insinööriyössä löydettiin muutamia mahdollisia liitosratkaisuja. Laskelmien perusteella elementti kestää umpiseinäisen tavanomaiseen hallirakennukseen kohdistuvat kuormitukset ilman raudoitusta tai betonin kuiduttamista. Nauhaikkuna vaatii tukirakenteet tai elementin raudoittamisen. Kustannusanalyysin perusteella Luja-lankun hinta on hieman korkeampi kuin kilpailijoiden vastaavan villa-pelti-elementtien hinta. Yritys jatkaa elementin kehitystyötä insinööriyön pohjalta.</p>	
Avainsanat Ohutkuorinen betonielementti, liitosdetaljit,	
Luottamuksellisuus Osittain salainen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Joonas Vihrori Tahkola			
Title of Thesis The prefabricated concrete unit Luja-lankku			
Date	5 May 2011	Pages/Appendices	27 + 28
Supervisor(s) Lecturer Harry Dunkel			
Project/Partners Lujabetoni Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis investigated the prefabricated concrete unit Luja-lankku, a thin-shell concrete element with an expanded polystyrene core. The element is under development. The aim of the thesis was to study and develop different joint solutions for the new concrete element in the field of construction and examine its durability. The demand for this thesis originated from the wish of the company Lujabetoni Oy to develop a prefabricated concrete unit that would be competitive with the wool and sheet metal elements produced by rival firms.</p> <p>The following aspects of the element were examined: the background of the development work, the structure of the element and the purpose of its use. Joint solutions were chosen as the main topic of the thesis. Several possibilities for joint solutions were studied, including the attachment of the element to a column, the corner joint, the footing joint, the attachment of the element to the roof and to L-shaped steel components, the attachment of the lever gear door to the element and the attachment of a ribbon window to the element. Estimates concerning the durability of the element were presented. In addition, it was investigated whether a ribbon window can be made between the prefabricated concrete elements. Further, the element drawings for the exploratory elements were presented. In collaboration with the company Lujabetoni, the cost of constructing the element was investigated. The facts that were chosen as the foundations for the joint solutions are as follows: the design of a factory shed fabricated from concrete sandwich elements, the structural details of the wool and sheet metal elements manufactured by the company Ruukki and the online detail library on elementtisuunnittelu.fi. In addition, construction sites were visited. The plan was made with AutoCad software.</p> <p>Some potential joint solutions were found. According to the calculations, the element as a solid wall was durable enough to endure the load that is directed towards a common factory shed. No iron or fibre reinforcement was necessary. In the case of a ribbon window, a supporting structure or reinforced concrete was required. According to the cost analysis, the price of the Luja-lankku element was slightly higher than the price of the rival wool and sheet metal elements. The company will continue the developmental work on the basis of this thesis.</p>			
Keywords thin-shell concrete element, joint details			
Confidentiality Partly classified			

Alkusanat

Haluan kiittää hyvästä yhteistyöstä Lujabetoni Oy:n kehitysjohtajaa Markus Haataista, Savonia-ammattikorkeakoulun Kuopion tekniikan yksikön lehtoria Harry Dunkelia sekä Ari Taskista insinööritoimisto Kari Kolari Oy:stä. Kiitos kuuluu myös vaimolleni Mariannelle, joka on mahdollistanut opinnäytetyön tekemisen.

Kuopiossa 5. toukokuuta 2011

Joona Tahkola

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	7
1.1	Tausta ja tavoitteet	7
1.2	LUJABETONI OY	8
2	BETONIN HISTORIA.....	9
2.1	Betonin historia maailmalla	9
2.2	Betonin historia Suomessa	9
3	BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN HISTORIA	11
3.1	Sota ja jälleenrakennus	11
3.2	Kevytbetonista betonielementteihin	11
3.3	Esijännitystekniikka	11
3.4	Elementtien esiinmarssi.....	12
3.5	Elementtirakentamisen huippuvuodet.....	12
3.6	Lama ja uusi nousu	13
3.7	2000-luvulle	13
4	LUJA-LANKKU – TAUSTATIETOA	14
5	LASKELMAT	15
5.1	Esimerkkihalli	15
5.2	Tuulikuorman määrittäminen	15
5.3	Luja- lankun leikkauskestävyys.....	17
5.4	Elementin taivutuskestävyys.....	19
5.5	Nauhaikkuna	21
5.6	Spike-kiinnike	23
6	ELEMENTTIEN NOSTAMINEN JA KOE-ELEMENTIT	24
6.1	Elementtien nostaminen	24
6.2	Koe-elementit	24
7	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET	27

LIITTEET

- Liite 1 Elementin rakennedetaljit
- Liite 2 Koe-elementtikuva 1
- Liite 3 Koe-elementtikuva 2
- Liite 4 Elementin kustannusanalyysi

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Tämä insinöörityö tehdään Lujabetoni Oy:lle Siilinjärvelle. Työ sai alkunsa Lujabetoni Oy:n tarpeesta kehittää ulkoseinissä käytetylle villa-pelti-elementille betoninen kilpailija. Uuden tuotteen kehittäminen aloitettiin, koska tavanomainen betonisandwich-elementti ei ole hinnaltaan kilpailukykyinen kilpailijoiden villa-pelti-elementille. Markkinoilla on useita julkisivuelementtituotteita, joissa on villaydin ja metallikuoret, mutta ei yhtäkään vastaavaa betonista tuotetta. Luja-lankku on Lujabetonin työnimi suunnitella olevalle elementille. Elementti koostuu ohuista betonikuorista ja niiden välissä olevasta eristeestä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään EPS-eristeiseen elementtiin. Elementin lämmöneristeinä voidaan käyttää myös villaa. Elementin käyttökohteet ovat mm. erilaiset tuotantorakennukset, myymälärakennukset, logistiikkakeskukset ja varastotilat. Tutkimustyössä keskitytään etsimään erilaisia toimivia vaihtoehtoja liitosratkaisuksi, esitetään laskelmia tavanomaisen hallirakennuksen elementteihin kohdistuvista kuormituksista ja laaditaan elementtikuvat koe-elementtejä varten. Lisäksi työssä tutkitaan elementin valmistuksen kustannuksia.

Insinöörityön tavoitteena on etsiä erilaisia toimivia liitosratkaisuja joita voidaan käyttää Luja-lankku elementillä tehdyn tavanomaisen hallirakennuksen rakentamiseen. Liitosratkaisujen tavoitteena on löytää hinnaltaan riittävän edulliset menetelmät, jotta elementti on kilpailukykyinen julkisivuelementtimarkkinoilla. Lisäksi tarkoituksena on tutkia elementin kestävyyttä tavanomaisilla kuormituksilla. Insinöörityössä käytettäviin eurokoodin kuviin on kysytty lupa.

Liitosratkaisujen pohjaksi tutustutaan yhteen villa-pelti-elementeillä rakennettuun kohteeseen sekä yhteen perinteisillä betonisandwich-elementeillä rakennettuun kohteeseen ja niiden suunnitelmiin. Liitossuunnitelmien pohjana on myös elementtisuunnittelu.fi –sivusto. Piirustukset tehdään AutoCad-ohjelmalla. Työn liitteet ovat luottamuksellisia.

1.2 LUJABETONI OY

Lujabetoni Oy kuuluu Luja-yhtiöihin. Luja on perheyritys, joka on perustettu 16.11.1953. Lujan perustaja on Feliks Isotalo. Luja on Suomen suurimpiin kuuluva rakennusalan konserni. Luja-yhtiöiden liikevaihto on 357 M€ ja yhtiö työllistää lähes 2 000 työntekijää. Luja-yhtiöihin kuuluu Lujatalo, Lujabetoni, Fescon ja Lujapalvelut. Lujabetoni on Suomen kolmanneksi suurin betonteollisuusyritys. Se tekee betonista toimitila-, asuinrakentamis- ja maatalouselementtejä, paaluja, infratuotteita, ratapölkkyjä, harkkoja, ympäristötuotteita, Luja-kivitaloja sekä valmisbetonia. Lujabetonilla on tehtaita 25, joista kaksi sijaitsee Tukholmassa ja kolme Pietarissa. /1./

2 BETONIN HISTORIA

2.1 Betonin historia maailmalla

Betoni on ikään kuin keinotekoisesti tehtyä ”kiveä”, jota valmistetaan liittämällä irrallinen kiviaines veden ja jonkin sideaineen avulla kovaksi massaksi. Valmistustavan vuoksi betonin ominaisuuksia, kuten muodonmuutosta, säänkestävyyttä, tiivyyttä ja lujuutta voidaan säädellä. Vanhin tunnettu betonirakenne on kivikaudelta peräisin oleva maanvarainen lattia. Se on löydetty entisestä Jugoslaviasta ja sen valmistukseen on käytetty vettä, soraa ja kalkkia. Tämä maanvarainen lattia on noin 7 600 vuotta vanha. /2. s.131./

Rooman Pantheonin 120–124 jKr. valumuurirakenne on yksi varhaisimmista betonin käyttökohteista. Myös kuningas Salomonin (960–926 eKr.) Jerusalemiin rakennuttama luonnonsementtinen vesisäiliö on yksi mainitsemisen arvoinen varhainen betonirakenne. Kuitenkin roomalaisten taito vaipui unohduksiin ja vanhat betonirakennustaidot alkoivat kiinnostaa vasta 1700-luvun loppupuolella, jolloin betonin kehitys sai varsinaisesti alkunsa. /2. s. 131./

Englantilainen muurari Joseph Aspdin valmisti ensimmäisenä keinotekoisia sementtiä ja patentoi keksintönsä vuonna 1824. Nykyisenkaltaisen Portland-sementin keksi rakennusmestari Isaac Johnson vuonna 1844. Maailman ensimmäinen sementtitehdas rakennettiin vuonna 1843 Englantiin, sitten Saksaan 1850 ja Venäjälle 1856. /2. s.131–132./

Koska betonin puristuslujuus oli hyvä, mutta vetolujuus oli olematon, siksi betonista ei voitu valmistaa kappaleita, jotka olisivat kestäneet erisuunnista tulevia rasituksia. Ensimmäisenä betonin raudoittamista kokeili ranskalainen Joseph Monier, joka lisäsi betoniin kukkaruukkuihin teräsverkon ja esti näin ruukkujen halkeamisen. Hän patentoi valmistusmenetelmänsä vuonna 1867. Monierin oivalluksen jälkeen tehtiin runsaasti betonin käyttöön liittyviä keksintöjä. Ranskalainen Francois Hennebique keksi tavan jäykistää betonirakenne pyöröraudoilla. Vuonna 1886 ranskalainen insinööri C. E. Doehring kehitti esijännitysmenetelmän, jossa märkään betoniin laitettiin terästankoja, jotka venytettiin ennen massan kovettumista. /3. s.13–14./

2.2 Betonin historia Suomessa

Suomessa betoniin tutustuttiin 1800-luvun puolivälissä. Tietävästi sementtiä käytettiin ensimmäisen kerran vuonna 1856 valmistuneessa Saimaan kanavan muuriraken-

teissa. Silloin sementti oli vielä tuontitavaraa, mutta pian alkoi kotimainen Portland-sementin valmistus. Ensimmäinen kotimainen sementtitehdas valmistui Keravan Saviolle vuonna 1869. Aluksi betonia käytettiin rakennusten perustuksiin, kattotiiliin, viemäriputkiin ja kaivonrenkaisiin. Savion tehtaan sementin valmistus jäi kuitenkin vähäiseksi, sillä sementtiä käytettiin vain vaativiin rakenteisiin. Niinpä tehtaan tuotanto loppui jo vuonna 1894. Teräsbetonirakenne tuli laajemmin tunnetuksi vuoden 1900 Pariisin maailmannäyttelyn yhteydessä. Ensimmäistä kertaa Suomessa käytettiin teräsbetonia vuonna 1905 valmistuneen Viipurin tyttökoulun rakentamiseen. /3. s.14–15./

Betonin käytön lisääntymisen vuoksi sementin valmistus aloitettiin uudelleen Suomessa kun Kalkkivuori Oy aloitti sementintuotannon Paraisilla vuonna 1914. Kerrostalojen puiset välipohjat alettiin korvata teräsbetonisilla rakenteilla 1920-luvulla. Kantavissa pystyrakenteissa teräsbetonia alettiin käyttää 1930-luvulla. Betoni alkoi pikkuhiljaa vallata markkinoita ja niinpä 1930-luvun lopulla betonista tuli yleisin rakennusaine tiilen sijaan. Betonin käytön yleistymisen myötä syntyi tarve raaka-aineiden käytön ohjeistamiselle. Alalle yritettiin luoda sääntöjä jo 1900-luvun alussa, mutta ensimmäiset määräykset tulivat vasta 1911. Määräykset laati Suomenkielisten Teknikoiden Seuran Betoniklubi. Suomen Betoniyhdistys perustettiin vuonna 1924, joka oli alan henkilöjärjestö. Suomen Betoniyhdistys laati ensimmäiset betoni- ja teräsbetonirakenteiden määräykset vuonna 1929, jotka valtioneuvosto vahvisti. /3. s.16–18./

3 BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN HISTORIA

3.1 Sota ja jälleenrakennus

Sota-aikana merkittävin rakennustyömaa oli Salpa-linjan rakentaminen itärajalla. Suuri osa linnoituksista tehtiin teräsbetonista. Näin saatiin arvokasta tietoa betoniva-lumenetelmistä, joita voitiin käyttää sodan jälkeen siviilirakentamisessa. Sodan jäl-keen Suomen rakennusalalla oli yllin kyllin tekemistä sodan jälkien korjaamisessa. Uusia rakentamisratkaisuja kehitettäessä betoni näytti tarjoavan eniten kehitysmah-dollisuuksia. Viranomaiset julkaisivat uudet betoninormit vuonna 1946. Vuonna 1942 perustettu Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos (VTT) rationalisointi- ja standardisointi-työ siirtyi puutalotutkimuksesta betoni- ja teräsrakenteisiin, tämä loi pohjan elementti-teknologialle. /3. s.19–22./

3.2 Kevytbetonista betonielementteihin

Kivitaloissa esivalmisteisten rakennusosien käyttö alkoi kevytbetonista. Ensimmäiset askeleet elementtirakentamisessa otettiin valmistamalla kevytbetonisia harkkoja sei-närakenteen lämmöneristeeksi. Pian välipohjissa alettiin käyttää Siporex-laattoja. Kevytbetonin käyttöön asetti rajoituksia kevytbetonin heikko lujuus. Tietävästi en-simmäinen betonielementtien käyttökohde oli Valtion Rautateiden Hyvinkäälle valmis-tama keskuskonepaja vuonna 1946. Siellä käytettiin esivalmisteisia betonipalkkeja. Suurin este elementtirakentamisen yleistymiselle oli kaavoitus, joka salli ainoastaan korttelin kokoisten alueiden rakentamisen vielä 1950-luvulle saakka. Kun kohteet pysyivät pieninä, ei kehitystyöhönkään ollut monella yrityksellä mahdollisuuksia. /3. s.23–26./

3.3 Esijännitystekniikka

Suomessa esijännitystekniikka otettiin käyttöön 1940-luvun lopulla, ja se merkitsi käännettä betonielementtien käyttöönotossa rakentamisessa. Silta ja Satama-yhtiö valmistivat ensimmäiset jännebetonipalkit vuonna 1949 valmistuneeseen Pikisaaren Repola-Viipuri Oy:n sahalaitokseen. Palkit toteutettiin Magnelin menetelmällä kaape-libetonista. Vuonna 1952 rakennetussa Kaukas Oy:n kuorimossa käytettiin myös Magnelin menetelmää, kattopalkit olivat jo 28 metriä pitkiä. /3. s.27./

3.4 Elementtien esiinmarssi

Ensimmäiset betoniset julkisivuelementit asennettiin Teollisuuskeskus Oy:n Helsingin Eteläranta 10:een. Elementtejä tuli 400 eri tyyppiä ja niitä oli noin 6 000 neliometriä. Ensimmäinen varsinainen elementtitehdas perustettiin Helsingin Konalaan, sen perusti Rakennuselementti Oy. Tehdas erikoistui esijännitettyjen betonielementtien suunnitteluun ja valmistukseen. Ensimmäinen täyselementtirakennus Suomessa oli Helsingin yliopiston Porthania –instituutti, se valmistui vuosien 1952–1953 aikana ja sen suunnittelija oli arkkitehti Aarne Ervin. Asuinrakennuksissa elementtien laajempi käyttöönotto kesti pitkään. Syynä tähän oli puute nostureista, työmaiden hidas koneellistuminen ja uusien muottitekniikoiden kehittäminen. Asuinrakentamisessa ensimmäisenä sandwich-elementtiä käytettiin vuonna 1957 Helsingin Maunulaan valmistuneessa rivitalossa. 1960-luvun alussa yleisimmäksi sandwich-elementiksi tuli niin sanottu nauhaelementti. Vähän myöhemmin yleistyi myös yhden kerroksen korkeinen ruutuelementti, joka syrjäytti 1960-luvun lopulla nauhaelementin. /3. s.30–31, 41, 48–49./

3.5 Elementtirakentamisen huippuvuodet

Suomessa avoin elementtijärjestelmä eli BES-järjestelmä otettiin käyttöön 1970-luvun alussa. Se perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja välipohjina käytettäviin pitkälaattoihin. Suomessa 1970-luvun alkupuolella muuttoliike maasta kaupunkiin oli huipussaan, keskimäärin 243 000 henkeä vuodessa. Tämä antoi elementtirakentamiselle huikeat mahdollisuudet. Tätä aikaa kutsutaankin rakentamisen ”hulluiksi vuosiksi”. Niinpä vuonna 1974 rakennettiin noin 73 000 uutta asuntoa. Ennätysmäinen asuntotuotanto 1970-luvun alkupuolella ei olisi ollut mahdollista ilman BES-järjestelmää. 70-luvun puoliväli oli yksi taitekohta betoniteknologian kehittämisessä. Silloin alettiin tehdä pakkasenkestävää betonia lisäaineita käyttäen. Erilaiset muutkin lisäaineet, kuten hidastimet, kiihdyttimet ja notkistimet lisääntyivät betoniresepteissä. 1970-luvun puoliväliin mennessä niin sanotut pitkälaatat syrjäyttivät massiivilaatan suosituimpana välipohjarakenteena. Pitkälaatoiksi kutsuttiin ontelolaattaa, Nilcon-kotelolaattaa ja Variax-ontelolaattaa. Pitkälaatasta tuli avoimen elementtijärjestelmän ydin. Myöhemmin ontelolaatta voitti kilpailun yleisimpänä välipohjana. Puutteelliset tiedot monista betonin kestävyysvaikuttavista tekijöistä, kuten raudotteiden ruostuminen, pakkasen vaikutus betoniin sekä betonin lämpökäsittely, perustuivat aikanaan hyvin lyhytaikaiseen kokemukseen. Niinpä osa julkisivuista vaati peruskorjausta jo 30–40 käyttövuoden jälkeen. /3. s. 99,105–107./

3.6 Lama ja uusi nousu

1980-luvun loppuvuosina Suomi eli pitkään jatkuneen nousukauden huipulla. Nousukausi kuitenkin päättyi 1990-luvun alussa syvään lamaan. Neuvostoliiton hajoaminen aiheutti idänkaupan kriisin, niinpä oli löydettävä uusia markkinoita lännestä. Myös työttömyyttä esiintyi rakennusalalla, aiemman 205 000 työntekijän ala kutistui 114 000 työntekijään. Laman vaikutus korostui erityisesti betonielementtiteollisuudessa. Elementtirakentaminen oli uudisrakentamista, eikä lisääntyneestä korjausrakentamisesta ollut elementtiteollisuuden auttajaksi. Betoniteollisuusyrityksistä noin kaksi kolmannesta joutui konkurssiin. /3. 271–274./

3.7 2000-luvulle

Käänte parempaan alkoi rakennusalalla vuosien 1996–1997 aikana. Nousu jatkui 2000-luvulle, vuosituhannen alussa tuli pieni notkahdus, mutta sitä seurasi voimakas kasvu vuosina 2004–2008. Erityisen huipun ala koki vuonna 2008. /3. s.292./ Syksyllä 2008 maailmantalous ajautui taantumaa. Suomessa taantuma näkyi rakentamisessa vasta vuonna 2009 rakennuslupien ja aloitettujen työmaiden määrässä. Valtion elvytystoimien ansiosta taantumasta selvitettiin myös rakennusalalla ja ala toipui nousuun jo vuonna 2010, jolloin kasvua oli 5 % edellisestä vuodesta. /4./

Arkkitehtuuri, rakennuksen ominaisuudet, elinkaarikustannukset, ympäristövaikutukset vaikuttivat kehitykseen jo 1990-luvulla. Noista ajoista rakentamisen asenteet ovat kuitenkin muuttuneet ja betoni tarjoaa väri vaihtoehtojen ja säilyvyyden kannalta monipuolisia variaatiomahdollisuuksia. Lisäksi julkisivuissa rappaustekniikat ja graafinen betoni lisäävät suosiotaan. BES- ja Runko- BES- järjestelmät ovat edelleen runkojärjestelminä käytössä. /5./

4 LUJA-LANKKU – TAUSTATIETOA

Luja-lankun kehitystyö sai alkunsa tarpeesta kehittää hinnaltaan kilpailukykyinen betonielementti kilpailijoiden villa-pelti-elementille. Perinteinen betonisandwich-elementti ei ole hinnaltaan kilpailukykyinen tuote halli- ja varastorakennuksien julkisivutuotteeksi. Luja-lankku on ohutkuorinen, solupolystyreeniytiminen betonielementti, minkä käyttökohteiksi on ajateltu mm. erilaisia tuotantorakennuksia, myymälärakennuksia, logistiikkakeskuksia ja varastotiloja. Elementin kehitystyö on aloitettu Lujabetonilla vuonna 2008 ja tämä opinnäytetyö aloitettiin marraskuussa 2010. Elementistä oli tuolloin olemassa joitakin ideapiirustuksia ja muutama elementtikuva, elementin päämitat oli tuolloin pääpiirteissään valittu. Elementin korkeudeksi oli päätetty 1,2 metriä ja pituudeksi 7,2 metriä, pituus riippuu pilariin kiinnitysmenetelmästä, pilarijaon ollessa 7,2m. Elementin betonikuoret on alun perin suunniteltu tehtävän muovikuitubetonista, niinpä Lujabetoni on teettänyt Tampereen Teknisellä Yliopistolla tutkimuksia kuitubetonin kutistumasta. Lisäksi TTY on antanut alustavan lausunnon Luja-lankun paloteknisestä toimivuudesta. Tässä insinöörityössä ei oteta kantaa elementin palonkestävyyteen.

5 LASKELMAT

5.1 Esimerkkihalli

Laskelmissa käytetään esimerkkihallia. Esimerkkihalliksi on valittu mitoiltaan hyvin tavanomainen hallirakennus. Laskennassa käytettävän esimerkkihallin dimensiot ovat seuraavat:

Hallin korkeus $h=15\text{m}$

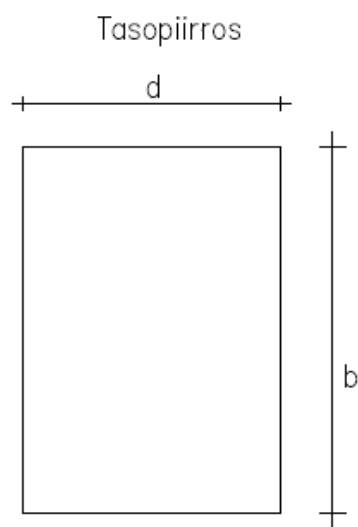
Hallin pituus $b=100\text{m}$

Hallin leveys $d=35\text{m}$

Aukkosuhde $< 0,65$

Maastoluokka 2

Betoni C35/45



Kuva 1. Hallin tasopiirros.

5.2 Tuulikuorman määrittäminen

Tuulikuorma lasketaan standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan. Lasketaan tuulikuorman pahin vaihtoehto.

Tuulikuorma

$$w_e = \sum |W_e, W_i|$$

, missä

(1)

W_e = tuulen paine ulkopintaan

W_i = tuulen paine sisäpintaan

Tuulen paine ulkopintoihin

$$W_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad , \text{ missä} \quad (2)$$

q_p = puuskanopeuspaine

c_{pe} = ulkoisen paineen painekerroin

z_e = nopeuspainekorkeus

Tuulen paine sisäpintoihin

$$W_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad , \text{ missä} \quad (3)$$

q_p = puuskanopeuspaine

c_{pi} = sisäisen paineen painekerroin

z_e = nopeuspainekorkeus

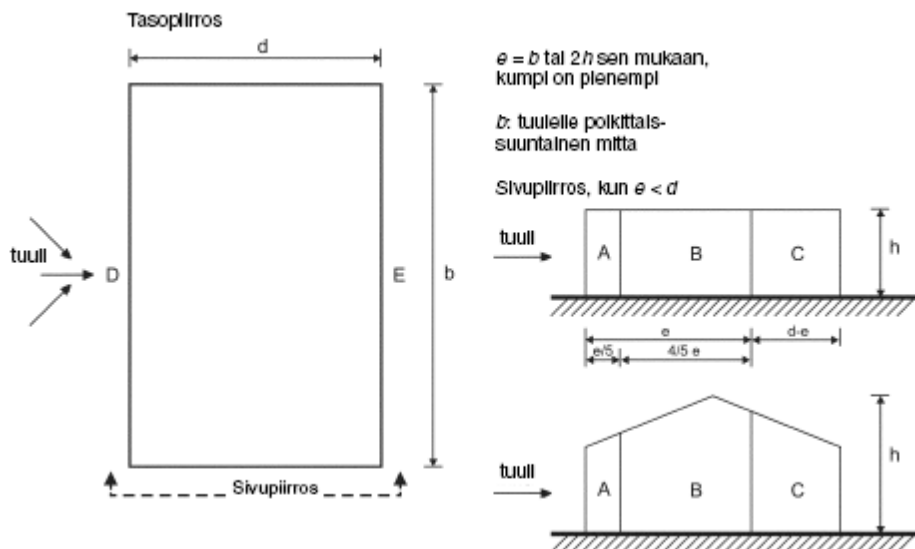
Puuskanopeuspaine maastoluokassa 2, kun $z = 15\text{m}$

$$q_p = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

Sisäisen paineen painekerroin

$$c_{pi} = -0,1$$

Ulkoisen paineen painekertoimen määrittämistä varten halli jaetaan alueisiin seuraavasti:



Kuva 2. Tuulenpainekerroin alueet. /6. s.60./

Alueittain ulkoisen paineen painekerroin saadaan seuraavasta taulukosta

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Taulukko 1. Paine kertoimet. /6. s.60./

$e = b$ tai $2h$, sen mukaan kumpi on pienempi, tässä tapauksessa $2h=30$

$d = 35$, joten $h/d = 0,42$, eli välillä $1 > h/d > 0,25$

Pahin tapaus on alue A, jossa tuulen ulkoinen paine $c_{pe} = -1,2$

Pienin arvo on alue E, jossa tuulen ulkoinen paine $c_{pe} = -0,35$

Tuulen paine ulkopintaan

$$W_e = 0,72 \frac{kN}{m^2} \cdot (-1,2) = -0,864 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen paine sisäpintaan

$$W_i = 0,72 \frac{kN}{m^2} \cdot (-0,1) = -0,072 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulikuorma

$$w_e = |-0,864 + (-0,072)| = 0,94 \frac{kN}{m^2}$$

5.3 Luja- lankun leikkauskestävyys

Tässä luvussa tutkitaan elementin leikkauskestävyyttä. Määrääväksi tulee EPS- eristeen leikkauskestävyys.

Eristeen taivutuksesta johtuva mitoitusleikkauslujuus saadaan kaavasta

$$\tau_u = \frac{V_u}{\gamma_c} \quad , \text{ missä} \quad (4)$$

$$V_u = \text{eristeen leikkauskestävyys} = 0,08 \text{ MPa}^*$$

$$= \frac{0,08 \text{ MPa}}{1,5} = 0,053 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = \text{osavarmuuskerroin} = 1,5$$

*VTT:n julkaisu *Solupolystyreeniytiminen sandwich-rakenne* s.21–26

Lasketaan tuulesta tuleva leikkausrasitus.

Tuuli $q_w = 0,94 \text{ kN/m}^2$

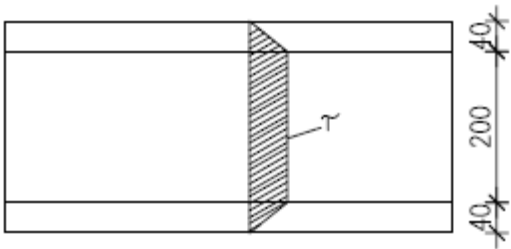
1,2 metriä korkeaan elementtiin kohdistuva tuulikuorma saadaan kaavasta

$$\begin{aligned}
 q_{wd} &= \gamma_c \cdot q_w \cdot h & , \text{ missä} & & (5) \\
 &= 1,5 \cdot 0,94 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,2 \text{ m} & \gamma_c &= \text{osavarmuuskerroin} = 1,5 \\
 &= 1,69 \text{ kN/m} & q_w &= \text{tuulikuorma} = 0,94 \text{ kN/m}^2 \\
 & & h &= \text{elementin korkeus} = 1,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maksimi leikkausvoima V_d saadaan kaavasta

$$\begin{aligned}
 V_d &= q_{wd} \cdot L \cdot 0,5 & , \text{ missä} & & (6) \\
 &= 1,69 \text{ kN/m}^2 \cdot 7,2 \text{ m} \cdot 0,5 & L &= \text{elementin pituus} = 7,2 \text{ m} \\
 &= 6,1 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

VTT:n julkaisun /7. s.31/ mukaan ydinkerroksen jäykkyyttä pidetään niin pienenä pinta-kerrosten jäykkyyksien suhteen, että ydinkerroksen normaalijännitykset voidaan jättää huomioimatta. Tästä johtuen ydinkerroksen leikkausjännitykset ovat vakioita ytimen koko paksuudella.



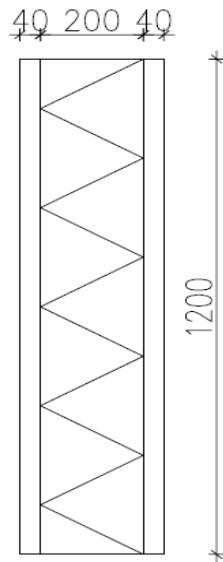
Kuva 3. Leikkausjännitys.

VTT:n julkaisun perusteella leikkausvoimasta johtuva leikkausjännitys τ saadaan kaavasta

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{V_d}{h \cdot d} & , \text{ missä} & & (7) \\
 &= \frac{6100 \text{ N}}{1200 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}} & h &= \text{elementin korkeus} = 1200 \text{ mm} \\
 & & d &= \text{eristeen paksuus} = 200 \text{ mm} \\
 &= 0,0254 \text{ N/mm}^2 = 0,0254 \text{ MPa} < \tau_u & \rightarrow \text{OK!}
 \end{aligned}$$

5.4 Elementin taivutuskestävyys

Tässä luvussa tutkitaan elementin taivutuskestävyyttä. Taivutuskestävyyttä tutkitaan edellä lasketun tuulikuorman pahimman vaihtoehdon mukaan.



Kuva 4. Elementin rakenne.

Vetolujuuden laskenta-arvo raudoittamattomalle betonille saadaan kaavasta

$$f_{ctd,pl} = \frac{\alpha_{ct,pl} f_{ctk0,05}}{\gamma_{c,red3}} \quad ,\text{missä} \quad (8)$$

$$\alpha_{ct,pl} = 0,6\alpha_{ct}$$

$$\alpha_{ct} = 1$$

$f_{ctk,0,05}$ = betonin vetolujuuden ominaisarvo
5% fraktiili

$$\gamma_{c,red3} = \text{betonin osavarmuuskerroin} = 1,35^*$$

*Koska elementin mittapoikkeamat ovat riittävän pieniä ja betonin lujuuden keskihajonta on alle 10 %, voidaan käyttää pienennettyä betonin osavarmuuskerrointa.

$f_{ctk,0,05}$ saadaan kaavasta

$$f_{ctk0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad ,\text{missä} \quad (9)$$

f_{ctm} = betonin keskimääräinen vetolujuus

f_{ctm} saadaan kaavasta

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad , \text{ missä} \quad (10)$$

$f_{ck} = \text{lieriölujuuden ominaisarvo} = 35 \text{ N/mm}^2$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot 35^{2/3} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk0,05} = 0,7 \cdot 3,21 = 2,25 \text{ N/mm}^2$$

Vetolujuuden laskenta-arvo

$$f_{ctd.pl} = \frac{0,6 \cdot 1 \cdot 2,25 \text{ N/mm}^2}{1,35} = 1,0 \text{ N/mm}^2$$

Seuraavaksi lasketaan elementin momenttikestävyys.

Momenttikestävyys saadaan kaavasta

$$M_{Rd} = \frac{f_{ctd.pl} \cdot d \cdot h \cdot z}{1 \cdot 10^6} \quad , \text{ missä} \quad (11)$$

$d = \text{betonikuoren paksuus} = 40 \text{ mm}$

$$= \frac{1,0 \cdot 40 \cdot 1200 \cdot 240}{1 \cdot 10^6}$$

$h = \text{elementin korkeus} = 1200 \text{ mm}$

$$= 11,52 \text{ kNm/1,2m}$$

$z = \text{sisäinen momenttivarsi} = 240 \text{ mm}$

Lasketaan tuulesta johtuva momentti

$$M_{wd} = \frac{q_{wd} \cdot L^2}{8} \quad , \text{ missä} \quad (12)$$

$q_{wd} = \text{tuulikuorma} = 1,69 \text{ kN/m}$

$$= \frac{1,69 \cdot 7,2^2}{8} = 11 \text{ kNm/1,2m}$$

$L = \text{elementin pituus} = 7,2 \text{ m}$

Lasketaan tuulesta kuoreen tuleva vetojännitys

$$\delta_w = \frac{M_{wd}}{z \cdot h \cdot d} \quad (13)$$

$$= \frac{11 \text{ kNm}}{0,24 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,04 \text{ m}} = 954 \text{ kN/m}^2 = 0,945 \text{ N/mm}^2 < 1,0 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{OK!}$$

⇒ Elementti kestää raudoittamatta umpiseinä.

5.5 Nauhaikkuna

Tutkitaan voidaanko halliin sijoittaa 6,8 metriä pitkä nauhaikkuna. Tutkitaan ensin nauhaikkunan alapuolisen elementin jännitys. Sen jälkeen tutkitaan nauhaikkunan yläpuoliseen elementtiin kohdistuva jännitys. Lasketaan ensin tuulesta elementtiin tuleva jännitys. Oletetaan, että nauhaikkunaan kohdistuvasta tuulikuormasta 30 % jakautuu alapuoliseen elementtiin.

Tuulikuorma $q_{wd}=1,69$ kN/m

Tuulikuormasta tuleva jännitys saadaan kaavasta

$$\delta_w = \frac{N_s}{h \cdot d} \quad , \text{missä} \quad (14)$$

N_s = Tuulesta tuleva voima kuoreen

h = elementin korkeus = 1,2m

d = betonikuoren paksuus = 0,04m

N_s saadaan kaavasta

$$N_s = \frac{M_{wd}}{z} \quad , \text{missä} \quad (15)$$

z = sisäinen momenttivarsi = 0,24m

$$= \frac{14,23}{0,24} = 59,3 \text{ kN}/1,2 \text{ m}$$

Elementtiin tuulesta tuleva momentti saadaan kaavasta

$$M_{wd} = \frac{(q_{wd} + 0,3 \cdot q_{wd}) \cdot l^2}{8} \quad , \text{missä} \quad (16)$$

$$= \frac{(1,69 + 0,3 \cdot 1,69) \cdot 7,2^2}{8}$$

$q_{wd} = 1,69$ kN/m

$$= 14,23 \text{ kNm}/1,2 \text{ m}$$

l = elementin pituus = 7,2 m

Tuulikuormasta tuleva jännitys

$$\delta_w = \frac{0,0593}{1,2 \cdot 0,04} = 1,23 \text{ N}/\text{mm}^2 > f_{ctd,pl} = 1,0 \text{ N}/\text{mm}^2$$

⇒ Elementti ei kestä ilman tuentaa, raudoitusta tai betonin kuidutusta. Muovikuitubetonin vetolujuus on 1,5 N/mm².

Nauhaikkunan yläpuoliseen elementtiin tulee lisäksi jännitystä elementin omasta painosta, mikä saadaan kaavasta

$$\begin{aligned} \delta_x &= \gamma \cdot \frac{M_{g0}}{W_x} && \text{,missä} && (17) \\ &= 1,15 \cdot \frac{13,87 \cdot 10^{-3}}{0,0192} && \gamma = \text{osavarmuuskerroin} = 1,15 \\ &= 0,83 \text{ N/mm}^2 && M_{g0} = \text{omasta painosta tuleva momentti} \\ &&& W_x = \text{taivutusvastus} \end{aligned}$$

Taivutusvastus saadaan kaavasta

$$\begin{aligned} W_x &= \frac{2 \cdot d \cdot h^2}{6} && \text{,missä} && (18) \\ &= \frac{2 \cdot 0,04 \cdot 1,2^2}{6} = 0,0192 \text{ m}^3 && d = \text{betonikuoren paksuus} = 0,04 \text{ m} \\ &&& h = \text{elementinkorkeus} = 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Omasta painosta johtuva momentti saadaan kaavasta

$$\begin{aligned} M_{g0} &= \frac{g_0 \cdot l^2}{8} && \text{,missä} && (19) \\ &= \frac{2,4 \cdot 6,8^2}{8} = 13,87 \text{ kNm} && g_0 = \text{elementin omapaino} = 2,4 \text{ kN/m} \\ &&& l = \text{aukon pituus} = 6,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Nauhaikkunan yläpuoliseen elementtiin kohdistuva kokonaisjännitys saadaan kaavasta

$$\begin{aligned} \delta_{kok} &= \delta_x + \delta_w && \text{,missä} && (20) \\ &= 0,83 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 1,23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} && \delta_x = \text{jännitys omasta painosta} \\ &= 2,06 \text{ N/mm}^2 && \delta_w = \text{tuulesta tuleva jännitys} \end{aligned}$$

⇒ Mikäli halliin halutaan nauhaikkuna, ikkunan yläpuolinen elementti vaatii tukirakenteet tai elementin raudoittamisen.

5.6 Spike-kiinnike

Lasketaan kuinka monta kiinnikettä tarvitaan elementin päätä kohden. Spike-kiinnikkeiden määrä lasketaan Spike twister –metalliankkurin käyttöohjeen mukaan.

Spike-kiinnikkeen laskentavetokapasiteetti saadaan kaavasta

$$F_{td} = K \cdot \frac{F_{tk}}{2,5} \quad , \text{missä} \quad (21)$$

$$= 0,7 \cdot \frac{3}{2,5} = 0,85 \text{ kN} \quad K = \text{aikavaikutuskerroin} = 0,7$$

$$F_{tk} = \text{ominaisvetokapasiteetti} = 3 \text{ kN}$$

Murtorajatilassa tuulen imu esimerkkihallissa saadaan kaavasta

$$q_{wd} = \gamma \cdot q_{p0} \cdot c_p \quad , \text{missä} \quad (22)$$

$$= 1,5 \cdot 0,72 \cdot (0,6 \dots 1,3) \quad \gamma = \text{osavarmuuskerroin}$$

$$= 0,65 \dots 1,4 \text{ kN/m}^2 \quad q_{p0} = \text{puuskanopeuspaine} = 0,72$$

$$c_p = \text{paine kerroin } 0,6 \dots 1,3$$

Tuulikuorma elementin päätä kohden saadaan kaavasta

$$F_w = q_{wd} \cdot h \cdot \frac{l}{2} \quad , \text{missä} \quad (23)$$

$$= 0,65 \dots 1,4 \cdot 1,2 \cdot \frac{7,2}{2}$$

$$= 2,8 \dots 6,05 \text{ kN} \quad h = \text{elementin korkeus} = 1,2 \text{ m}$$

$$l = \text{elementin pituus} = 7,2 \text{ m}$$

Spike-kiinnikkeiden määrä saadaan kaavasta

$$n = \frac{F_w}{F_{td}} = \frac{6,05 \dots 2,8}{0,85} \quad (24)$$

$$= 7,11 \dots 3,3 \quad \Rightarrow 8-4 \text{ kpl alueesta riippuen}$$

6 ELEMENTTIEN NOSTAMINEN JA KOE-ELEMENTIT

6.1 Elementtien nostaminen

Tehtaalla elementit voidaan nostaa alipainenostimella. Lujabetonilta löytyy alipainenostin, joten koe-elementtejä voidaan kokeilla nostaa alipainenostimella. Mikäli työmaaolosuhteissa ei voida käyttää alipainenostinta, elementtejä tulee voida nostaa jollakin muulla tavalla. Erillisiä nostolenkkejä elementtiin ei oikein kannata tehdä, koska se hidastaa asennustyötä ja tuo samalla elementtiin lisää hintaa. Kyseeseen voisi tulla puristimilla nostaminen. Puristimilla nostamista tulisi kokeilla koe-elementeillä.

6.2 Koe-elementit

Elementistä valetaan koe-elementit Lujabetonilla. Koe-elementtejä valetaan kahdenlaisia. Toisissa on pistoansaat ja toisissa ei ole ansaita lainkaan. Koe-elementeillä testataan erilaisia urituksia eristeessä ja niiden eroja. Koe-elementeissä ainakin yhdessä tulee olla viistetty pääty, tällä testataan elementin nurkan onnistumista.

Elementit valetaan vaakavaluna. Koe-elementeillä testataan elementin nostamista imukuppinostimella. Lisäksi niillä voidaan kokeilla tuulikuorman vaikutusta elementteihin. Elementit laitetaan lappeelleen tukien päälle niin, että elementin omapaino vastaa tuulesta tulevaa kuormaa. Tukipisteet tulee laskea erikseen.

Koe-elementeillä tutkitaan elementin käyritystä ja kokeillaan miten ohutkuorisen betonielementin valaminen onnistuu. Lisäksi tutkitaan betonikuoren halkeilua. Koe-elementtejä valaessa kaikki tiedot kirjataan ylös myöhempää tuotantoa varten. Elementtien koekappaleiden perusteella selviää, kannattaako kehitystyötä jatkaa.

7 POHDINTA

Insinööriyön tavoitteena oli löytää erilaisia toimivia liitosratkaisuja Luja-lankku elementin käyttöön hallirakennuksessa ja tutkia elementin kestävyyttä tavanomaisilla kuormituksilla.

Erilaisia liitosratkaisuja löytyi muutamia käyttökelpoisia. Elementin kiinnittämiseksi pilariin löytyi kaksi järkevää ratkaisua. Pilariin upotettuun sisäkierrehylsyyn kierretangolla kiinnittäminen on noin 5 euroa halvempi kuin C-kiskoon kiinnittäminen. Toisaalta C-kisko jättää enemmän asennusvaraa. Spike-kiinnikkeellä kiinnitys vaatisi laskelmien mukaan pahimmilla kuormitusalueilla jopa 8 kiinnikkeen käyttöä, mikä ei liene järkevää.

Nurkkaliitokseksi esteettisesti paras tapa on viistetyt elementit. Elementtien viistäminen tulee kokeilla koe-elementeillä. Jos elementtien viistäminen ei onnistu, voidaan käyttää nurkkaliitos 4:ää, missä toisesta nurkkaelementistä leikataan kuori pois ja tilalle laitetaan villakaista. Lopuksi nurkka peitetään kulmapellillä.

Järkevin ratkaisu hallin yläpohjaksi on TT- laatta bitumikermikatteella, ylösnostetturäystä. Pilarin yläpuolella elementit kiinnitetään L-teräksiin joko itseporautuvilla ruuveilla tai sitten L-teräksiin hitsattuun sisäkierrehylsyyn kierretangolla. Helpompi tapa on kiinnittää elementit itseporautuvilla ruuveilla. Myös elementtien nurkassa olevaan L-teräkseen kiinnittäminen on järkevämpää itseporautuvilla ruuveilla.

Laskelmien oletuksena on, että halli sijaitsee korkeintaan maastoluokassa 2. Mikäli hallin sijainti on maastoluokassa 1, joudutaan elementin kestävyyttä tarkastelemaan uudestaan. Laskelmien perusteella elementti kestää raudoittamatta ja ilman kuidutusta umpiseinänä koko hallin alueella. Mikäli halliin halutaan nauhaikkuna, laskennallisesti ikkunan alapuolinen elementti vaatii betonin kuiduttamisen, raudoituksen tai tukirakenteet. Nauhaikkunan yläpuolinen elementti ei kestä pelkästään kuiduttamalla vaan se vaatii tukirakenteet tai raudoituksen. Elementille voidaan myös tehdä kuormituskokeita joiden perusteella voidaan todistaa elementin kestävyys raudoittamatta.

Kustannusanalyysin mukaan Luja-lankku on hinnaltaan hieman kalliimpi kuin Parocin villa-pelti-elementti. Voidaan kuitenkin ajatella, että betoni materiaalina on parempi kuin peltikuorinen elementti, joten hintakin voi olla hieman korkeampi.

Mikäli koe-elementit onnistuvat niin hyvin, että kehitysprojektia kannattaa jatkaa, niin elementeille kannattaa tehdä kuormituskokeita. Esimerkiksi tuulikuormaa voidaan tutkia laittamalla elementti lappeelleen tukipisteiden päälle, niin että elementin omapaino vastaa tuulikuormaa. Myös elementin palonkestävyys vaatii tarkempaa tarkastelua. Todennäköisesti elementeille täytyy tehdä polttokokeita, joiden perusteella elementin palonkestävyys voidaan todistaa. Lisäksi elementin kosteustekninen tarkastelu kannattaa tehdä. Kosteustekninen tarkastelu voidaan tehdä vaikka uuden opinnäytetyön pohjalta koulun laboratoriossa.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Työ onnistui mielestäni hyvin. Vaikeinta työssä oli elementin liitosratkaisujen kehittäminen, koska kyseessä oli uusi tuote, niin aineistoa ei juuri ollut saatavilla. Liitosratkaisujen suunnittelu onnistui kuitenkin hyvin, hyvän yhteistyön ansiosta projektin yhteistyökumppaneiden kanssa. Mielestäni parhaiten onnistuin liitosratkaisujen piirtämisessä. Piirtäminen sujui nopeasti hyvän AutoCad-osaamisen ansiosta. Työn osittainen luottamuksellisuus vaikeutti työn julkisen version yhteenvetoa.

LÄHTEET

1. Lujayhtiöiden www-sivut [viitattu 12.2.2011]. Saatavissa: <http://www.luja.fi>
2. Siikanen, U. 2009. *Rakennusaineoppi*. 7.painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
3. Hytönen, Y & Seppänen, M. 2009. *Tehdään elementeistä*. Jyväskylä: Betonitieto Oy.
4. Rakennuslehden www-sivut [viitattu 4.4.2011].
Saatavissa: http://www.rakennuslehti.fi/tietoa/rakennusmarkkinat_suomessa/
5. Betonin www-sivut [viitattu 12.2.2011]. Saatavissa: <http://www.betoni.com/>

Laskelmissa käytetyt lähteet:

6. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1-4 Tuulikuormat. SFS-EN 1991-1-4.
7. Tolva, I & Jumppanen, P. 1980. *Solupolystyreeniytiminen sandwich-rakenne*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
8. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. SFS-EN 1992-1-1.
9. Suomen kansallinen liite standardiin SFS-EN 1992-1-1.
10. SFS intec Oy, SPIKE twister -metalliankkurin käyttöohje.