

AUKOT SANDWICH- ELEMENTEISSÄ

Jan-Erik Kivinen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikan suuntautumisvaihtoehto

KIVINEN, JAN-ERIK:
Aukot sandwich-elementeissä

Opinnäytetyö 25 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2014

Tässä opinnäytetyössä käsitellään niitä haasteita, joita ikkuna- ja oviaukot sandwich-elementeissä aiheuttavat elementtisuunnittelijalle. Työssä keskitytään erityisesti ikkunapalkkien raudoitukseen sekä urakkalaskenta-aineiston tarkentamiseen raudoitusten osalta. Aukkojen aiheuttamia haasteita pohditaan myös elementtitehtaan näkökulmasta.

Työ sisältää esimerkkejä ikkunapalkkien raudoituksista mallikuvineen. Raudoitusten laskemisessa on käytetty sellaisia rakennemalleja, jotka mahdollistavat tehokkaan elementtisuunnittelun. Ikkuna-aukkojen mitoille on taulukoitu ääriarvoja, joilla aukko on toteutettavissa tuotannon kannalta järkevillä raudoituksilla. Työhön on sisällytetty myös muita elementtisuunnitteluun liittyviä asioita, kuten tietoa suojabetonipeitteestä ja rasitusluokista.

Lopputuloksena on katsaus elementtisuunnitteluun oleellisesti liittyvistä asioista sekä tietoa ikkunapalkkien raudoitusten suunnittelusta.

ABSTRACT

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

KIVINEN, JAN-ERIK:
Openings in Sandwich Elements

Bachelor's thesis 25 pages, appendices 2 pages
May 2014

This thesis is about the challenges that window or door openings in sandwich elements are causing to element designer. The thesis is focused especially on the reinforcements of the lintel beam and specification of the request of quotations. The challenges caused by openings are also inspected from the element factory's point of view.

The thesis includes examples and model drawings about the reinforcements of the lintel beam. The structure models used for calculating the reinforcements were such of a kind that it is possible to do effective element designing. The maximum width of the window openings were calculated in the way that the reinforcements are still reasonable from the point of view of the element factory. The thesis includes also other things related to element designing like information about the protective concrete layer and the exposure classes.

The result of the thesis is overview about the things closely related to element designing and information about lintel beam reinforcements.

Key words: element designing, sandwich element, reinforcement

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	5
2 SANDWICH-ELEMENTTI.....	6
2.1. Historia.....	6
2.2. Rakenne.....	7
2.2.1 Lujuus ja suojaetäisyys.....	10
2.2.2 Mittamaailma.....	12
3 AUKON AIHEUTTAMAT HAASTEET.....	14
3.1. Tuotanto.....	14
3.2. Suunnittelu.....	15
4 IKKUNAPALKKIRAUDOITUS.....	17
4.1. Esimerkkitapaus 1: Paikallavaluholvi.....	18
4.2. Esimerkkitapaus 2: Ontelolaattaholvi.....	21
5 POHDINTA.....	24
LÄHTEET.....	25
LIITTEET.....	26
Liite 1. Mallikuva, esimerkkitapaus 1.....	26
Liite 2. Mallikuva, esimerkkitapaus 2.....	27

1 JOHDANTO

Sandwich-elementissä oleva ovi- tai ikkuna-aukko aiheuttaa erinäisiä haasteita elementin suunnittelu- ja tuotantoprosesseissa. Esimerkkinä lisämitoitustarve, joka johtuu aukon vaikutuksesta kuormien kulkuun sandwich-elementin kantavassa sisäkuoressa. Ei-kantavat ruutuelementit on rajattu tästä työstä pois. Aukko aiheuttaa myös mm. elementin nostoon liittyviä haasteita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa aukkojen aiheuttamia haasteita, selvittää näiden haasteiden hallintaa sekä toimia apuvälineenä elementtisuunnittelun tehostamisessa Suunnittelu Teräsmä Oy:ssä. Työssä on keskitytty erityisesti ikkunapalkkiraidoiteisiin ja niiden mitoittamiseen yksinkertaisella ja tehokkaalla tavalla.

2 SANDWICH-ELEMENTTI

2.1. Historia

1960–70-luvun suuri muuttovirta maalta kaupunkiin asetti asuinrakentamiselle haasteen raakentaa nopeasti ja edullisesti. Rakennusteollisuus vastasi haasteeseen tuomalla betonirakentamiseen mukaan suur- ja pöytämuotit sekä kenttävalimot. Kenttävalimoissa valettiin Suomen ensimmäiset sandwich-julkisivuelementit. (Elementtirakentamisen historia.)

Sandwich-elementtien tuotantoa kiihdytti BES (betonielementtisysteemi) -järjestelmän kehittäminen Suomessa 1968–1970. BES-järjestelmä perustuu kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin ja laatastovälipohjaan. Järjestelmässä standardoitiin betonielementit ja niiden liitosdetaljit. BES-järjestelmä mahdollisti 1970-luvun ennätysmäisen asuntotuotannon. (Elementtirakentamisen historia.) Kuvassa 1 tyypillinen BES-järjestelmän mukainen asuinkerrostalo.



KUVA 1. Tyypillinen BES-asuinkerrostalo
(Elementtirakentamisen historia).

80-luvulla laadittiin Runko-BES -aineisto, joka sisälsi pilari-palkkirungon mittajärjestelmän, rakenneosien mitta- ja tyyppisuositukset sekä liitosdetaljit. Runko-BES -aineisto laajensi aiemmin laaditun BES-järjestelmän toimitila- ja teollisuusrakentamisen puolelle. 80-luvun betonirakentamisen kehitystyö alkoi näkyä 90-luvun betonirakenteiden monimuotoistumisena. (Elementtirakentamisen historia.)

2000-luvulla elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset ovat saaneet lisää huomiota betonirakentamisessa. Graafinen betoni, rappaustekniikat ja väribetonit ovat lisänneet suosiotaan julkisivuratkaisuissa. Betonielementtitalojen osuus pientalorakentamisessa on kasvanut. (Elementtirakentamisen historia.)

2.2. Rakenne

Sandwich-elementti muodostuu kolmesta itsenäisestä kerroksesta: sisäkuoresta, lämmöneristekerroksesta sekä ulkokuoresta. Lämmöneristekerros on yleensä polyuretaania tai mineraalivillaa ja materiaalista riippuen kerroksen paksuus on n. 160-240 mm. Sisä- ja ulkokuori ovat betonia. Sisäkuoren paksuus on yleensä 150-160 mm. Ulkokuoren paksuus vaihtelee välillä 70-85 mm. Kuvassa 2 oviaukollinen sandwich-elementti.

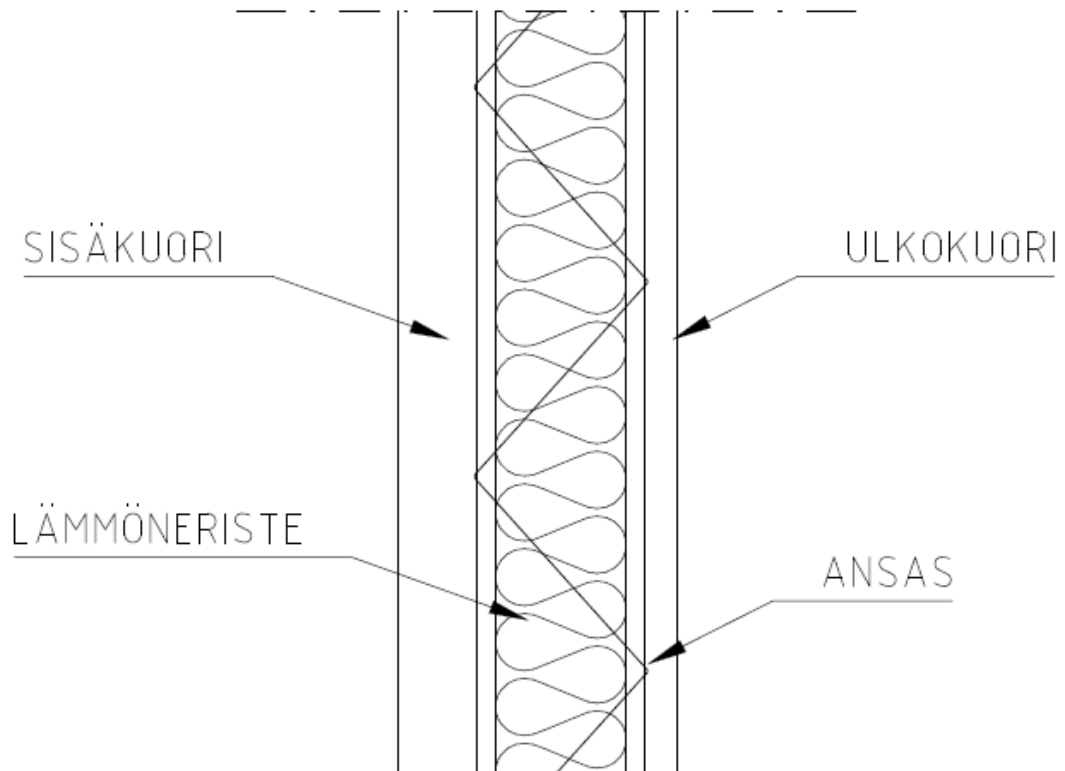


KUVA 2. Sandwich-elementti oviaukolla.

Sandwich-elementissä betoninen sisäkuori toimii kuormiavälittävänä rakenteena. Koska kuormien suunta on pääsääntöisesti suoraan ylhäältä alas, ei sisäkuorta tarvitse raudoittaa taivutusta vastaan. Kyseessä on siis raudoittamaton puristettu rakenne. Sisäkuoreen tulee kuitenkin aina sellaisia teräksiä, jotka eivät liity rakenteen kestävyyskuormia vastaan. Tällaisia teräksiä ovat esim. reuna-alueiden kutistumahalkeilua vastaan tarkoitettut pieliteräkset ja elementtien sidontaan liittyvät teräset.

Ulkokuoren tehtävänä on suojata sisäkuorta ja lämmöneristettä sateelta ja muilta ulkoisilta rasituksilta. Lisäksi ulkokuoren väreillä ja pintatekstuureilla voidaan suuresti vaikuttaa rakennuksen ulkonäköön. Ulkokuoreen tulee sisäkuoren tavoin pieliterästys. Lisäksi ulkokuoreen tulee teräsverkko, jolla pyritään vähentämään kutistumahalkeilua ja toisaalta lisäämään kuoren pitkäaikaiskestävyyttä.

Ulkokuori sidotaan sisäkuoreen diagonaaliensailla. Sisäkuori siis kantaa ulkokuoren kuorman ansaiden välityksellä. Yleensä ansaat asennetaan elementtiin 600 mm välein. Ansaiden määrä ja keskiöväli tulee kuitenkin tarkistaa aina tapauskohtaisesti. Kuvassa 3 esitettynä ansaat sandwich-elementissä.



KUVA 3. Sandwich-elementin pystyleikkaus

Lämmöneristekerros on yleensä polyuretaania tai pystyuritettua mineraalivillaa. Mineraalivillassa olevat pystyurat toimivat tuuletusurina. Tuuletusurien kautta ulkokuoren ja eristeen rajapintaan mahdollisesti muodostunut kosteus pääsee haihtumaan. Polyuretaanieristeessä ei pystyuria tarvitse olla.

2.2.1 Lujuus ja suojaetäisyys

Betonelementtirakenteissa käytetyt betonilujuudet ja betoniterästen suojaetäisyydet määräytyvät halutun suunnittelukäyttöiän ja elementtiin kohdistuvien rasistusten perusteella. Asuinkerrostalon suunnittelukäyttöikä on tyypillisesti 50 vuotta. Ohjeellisia suunnittelukäyttöikä talukossa 1.

TAULUKKO 1. Ohjeellinen suunnittelukäyttöikä (Betoniteollisuus Ry)

Suunniteltu käyttöikä, vuotta	Esimerkkejä
10	Tilapäisrakenteet
10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat
15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
100	Monumentaaliset rakennukset, sillat sekä muut maa- ja vesirakennuskohteet

Sandwich-elementin sisäkuoren rasituluokka on XC1. Ulkokuori menee rasitusluokkiin XC3, XC4 ja XF1. Rasitusluokat esitetty talulukossa 2.

TAULUKKO 2. Rasitusluokat (Betoniteollisuus Ry)

Luokka	Kuvaus
Ei korroosiovaaraa tai rasituksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korroosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

Sandwich-elementin betoniterästen suojaetäisyys ulkokuoressa on vähintään 35 mm, kun määräävänä rasitusluokkana on XC4. Taulukossa 3 esitettyyn betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukseen 25 mm on lisätty betonipeitteen sallittu mittapoikkeama 10 mm. Rasitusluokassa XC4 betonin minimilujuusluokka on C30/37. Vastaavasti sisäkuoressa betoniterästen suojaetäisyys on vähintään 20 mm ja betonin minimilujuusluokka C20/25. Yleisesti käytössä tässä kuitenkin C25/30.

TAULUKKO 3. Betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset (EN 1992-1-1, taulukko 4.1)

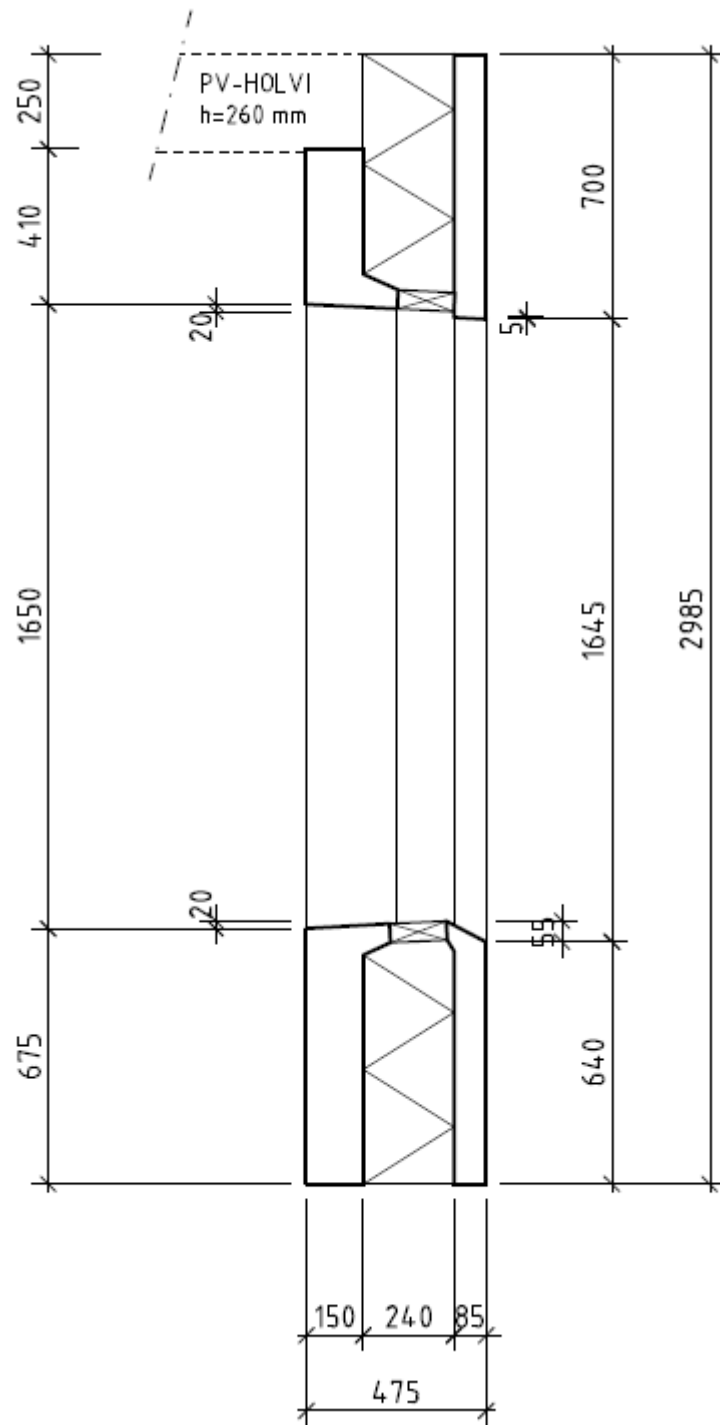
Kriteeri	Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $c_{min,dur}$ (mm)							
	Rasitusluokka eurokoodin EN 1992-1-1 taulukon 4.1 mukaan							
	X0	XC1	XC2 XC3	XC4	XD1	XS1	XD2	XD3 XS2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100 vuoden suunniteltu käyttöikä ¹⁾	+0	+0	+5	+5	+5	+5	+5	+5
Minimilujuusluokka ²⁾	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
Valittu lujuusluokka \geq	C20/25	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45	C40/50	C35/45	C45/55
RakMK B4 1-rakenneluokka	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

1) Jos rakenteen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta, on myös muut säilyvyysvaatimukset tarkistettava RakMK B4 (SFS-EN 206-1 kansallinen liite) mukaisesti.

2) Minimilujuusluokat on määritetty soveltaen SFS-EN206-1 kansallista liitettä

2.2.2 Mittamaailma

Sandwich-elementin korkeus määräytyy kerroskorkeuden mukaan. Asuinkerrostalossa kerroskorkeus on useinmiten 3000 mm. Kun kerroskorkeudesta vähennetään elementtien välinen vaakasauma 15 mm saadaan sandwich-elementin ulkokuoren korkeudeksi 2985 mm. Sisäkuoren korkeuteen vaikuttaa kerroskorkeuden lisäksi kohteseen valittu välipohjaratkaisu. Elementin leveys vaihtelee välillä 2000-8000 mm, joskin 8000 mm leveä elementti on melko harvinainen. Usein leveyttä rajoittaa elementin paino, jonka ylärajana on yleisesti 10 tonnia. Tämä raja rajoittaa elementin leveydeksi noin 6200 mm, silloin kun elementissä ei ole aukkoja. Tässä on kuitenkin huomioitava, että painoraja on kohdekohtainen. Siihen vaikuttaa mm. käytössä oleva nostokalusto ja -etäisyydet. Sandwich-elementin paksuus vaihtelee välillä 380-485 mm. Paksuudesta tarkemmin kappallaleessa 2.2. Ovi- ja ikkuna-aukoissa on käytössä moduulimitoitus, jossa 1M on 100 mm. Kuvassa 4 on esitetty sandwich-elementin pystyleikkaus tilanteessa, jossa kerroskorkeus on 3000 mm, välipohjana paikallavaluholvi ja ikkuna aukon korkeus on 16M.



KUVA 4. Pystyleikkaus ja mitat.

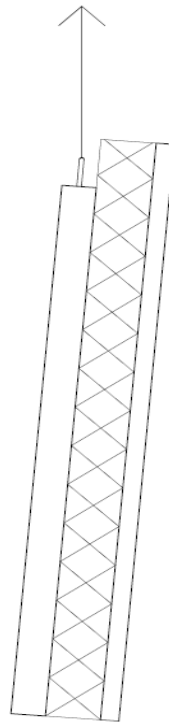
3 AUKON AIHEUTTAMAT HAASTEET

3.1. Tuotanto

Sandwich-elementissä olevia ikkuna- tai oviaukkoja varten elementtitehdas valmistaa aukkomuotit. Jos aukon detaljit poikkeavat normaalista, on siitä syytä olla tietoa jo urakkalaskenta-aineistossa. Tällöin elementtitehdas osaa valmistautua ajoissa poikkeavien aukkomuottien valmistamiseen. Myös normaalista poikkeavista aukkoihin liittyvistä raudoituksista, kuten ikkunapalkkiraudoituksista, on hyvä olla maininta urakkalaskenta-aineistossa. Palkkiraudoitusten pääterästen ollessa halkaisijaltaan yli 16 mm, on raudoitusten kokoaminen suoraan elementtimuottiin kankeaa ja hidasta. Tällaiset raudoitteet elementtitehdas valmistelee mielellään etukäteen. (Lius 2014.)

Varsinaisena aukon aiheuttamana haasteena elementtitehtaalle voidaan pitää elementin kestävyyttä muotista nostettaessa. Kun sandwich-elementissä on suuri aukko, joudutaan nostolenkit sijoittamaan usein ikkunapalkkiin. Tämä johtaa usein murtumiin ikkunapalkissa, kun elementtiä nostetaan muotista. Tällaisessa tapauksessa betonin tulisi kuivua kauemmin, jotta betonin lujuus muotista purettaessa olisi suurempi. (Lius 2014.)

Aukot johtavat myös toiseen nostoon liittyvään haasteeseen. Kasvaneet eristepaksuudet ovat siirtäneet elementin painopisteen noston kannalta epäedulliseen suuntaan. Elementti nousee kallellaan ja elementin varastointi hankaloituu (kuva 5). Työmaalla kallellaan nouseva elementti hankaloittaa merkittävästi elementtiasennusta sekä aiheuttaa murtumia ulkokuoren alareunaan asennusvaiheessa.



KUVA 5. Paksu eriste sirtää painopistettä ja elementti nousee kallellaan.

Nostolenkkien valmistajat ovat kehittäneet lenkkejä, joilla nostopiste saadaan samaan linjaan elementin painopisteen kanssa. Näitä lenkkejä ei kuitenkaan voi asentaa ikkunapalkkiin, joten aukollisessa elementissä kallellaan nouseminen voi edelleen olla ongelma.

3.2. Suunnittelu

Aukko sandwich-elementissä vaikuttavaa kuormien kulkuun kantavassa sisäkuoressa. Tämä aiheuttaa lisämitoitustarvetta, jolla tässä tapauksessa tarkoitetaan aukon yläpuolisen palkin raudoitusta. Sinällään ikkunapalkin raudoituksen mitoitusta ei voi pitää haasteena, sillä se kuuluu jokapäiväiseen elementtisuunnitteluun. Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä onkin tehostaa elementtisuunnittelua näiltä osin. Raudoituksista lisää kappalleen 4.

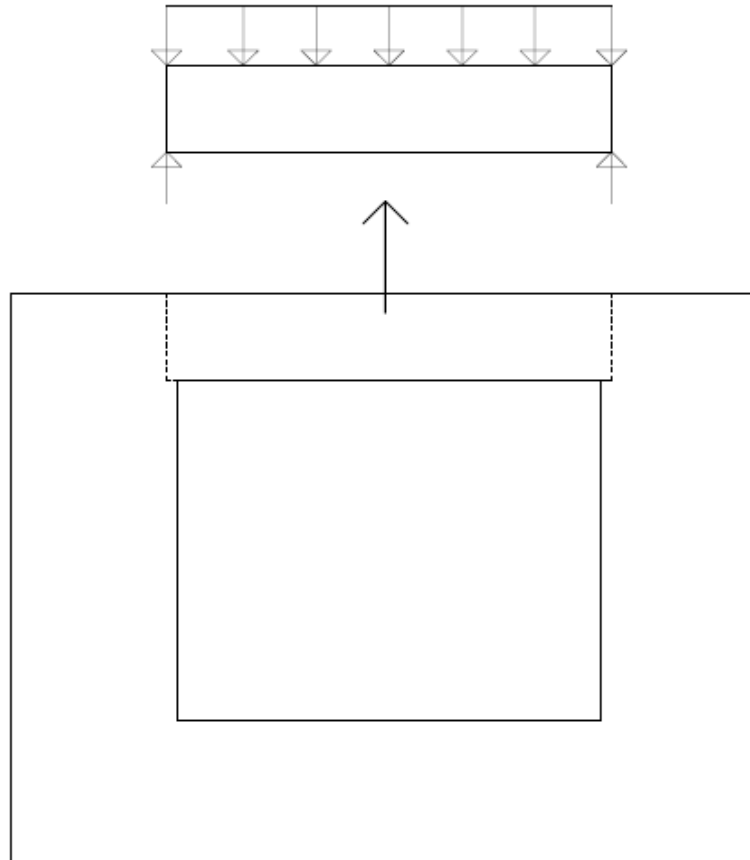
Yksi syy tehostaa elementtisuunnittelua aukkoon liittyvien raudotteiden osalta, on kasvava paine tehdä tarkempaa urakkalaskenta-aineistoa. Kun ikkuna-aukkojen koko on kasvanut, on myös palkkiraudotteiden määrä kasvanut. Tämä korostaa entisestään raudotteiden merkitystä urakkalaskenta-aineistossa. Palkkiraudotteiden mitoitus jo urakkalaskenta-aineistoa tehdessä ei jurikaan hidasta aineiston valmistumista ja toisaalta se nopeuttaa varsinaista elementtisuunnittelua. Kuvassa 6 elementissä ovi sekä kaksi ikkunaa.



KUVA 6. Elementissä ovi sekä kaksi ikkunaa.

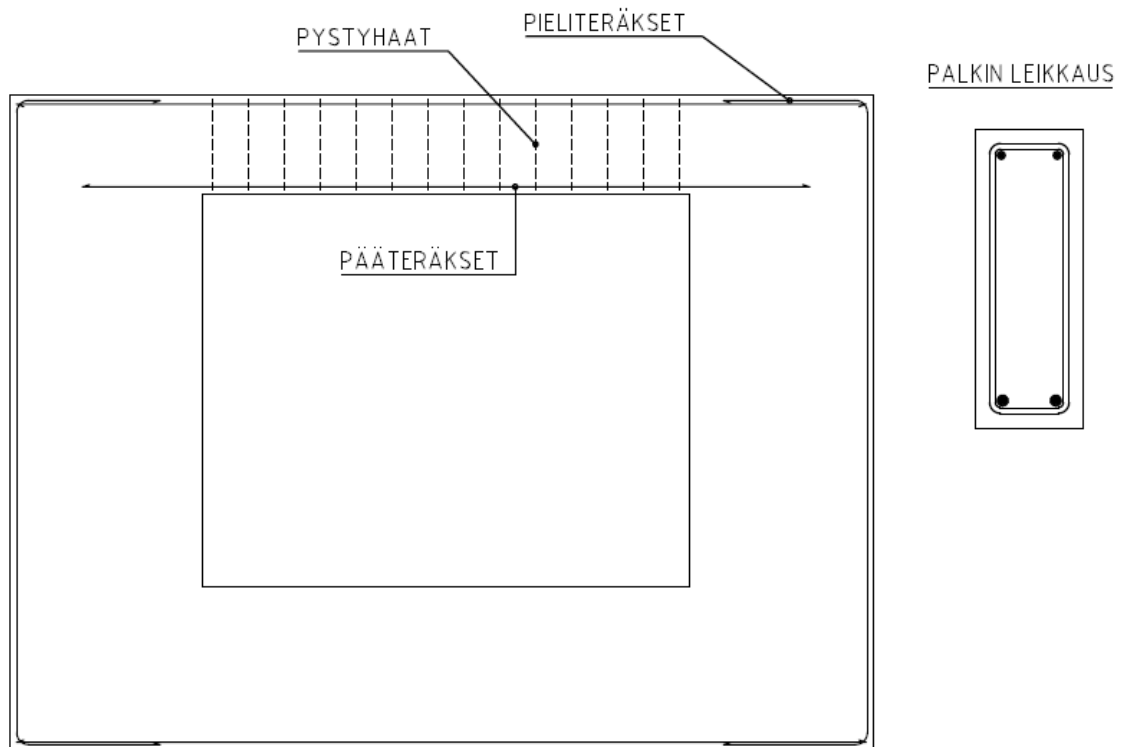
4 IKKUNAPALKKIRAUDOITUS

Yksinkertaistetaan rakennemallia siten, että raudotteiden mitoittaminen olisi mahdollisimman selkeää ja nopeaa (kuva 7).



KUVA 7. Ikkunapalkin yksinkertaistettu rakennemalli.

Tässä rakennemallissa palkki ajatellaan yksiaukkoisena palkkina jonka tuet sallivat kiertymän. Tämä malli johtaa hieman liian suureen pääterästen pinta-alaan murtorajatilamitoituksessa, mutta toisaalta pääterästen suurempi pinta-ala pienentää palkin halkeilua. Käyttörajatilatarkastelua ei tässä yhteydessä yleensä tehdä. Palkin leikkausraudoituksena käytetään vakioraudoitusta, joka ylittää minileikkausraudoituksen vähimmäisvaatimuksen. Elementin reunojen kutistumahalkeilua vastaan asennettavat pieliteräkset toimivat osana palkkiraudoitusta. Kuvassa 8 periaatekuva raudotteista.



KUVA 8. Periaatekuva palkin raudoitteesta.

4.1. Esimerkkitapaus 1: Paikallavaluholvi

Ensimmäisessä esimerkkitapauksessa välipohjana on paikallavaluholvi paksuudeltaan 260 mm. Huonekorkeus on 3000 mm, ikkuna-aukon korkeus 16M ja ikkunapenkin korko lattiasta 700 mm. Tällöin ikkunanylityspalkin korkeudeksi muodostuu 410 mm ja teholliseksi korkeudeksi 370 mm. Palkin paksuus, eli elementin sisäkuoren paksuus, on 150 mm. Palkin pituus määräytyy ikkunan leveyden mukaan siten, että ikkunan moduulileveyteen lisätään ikkunadetaljista ja palkin tukipinnoista muodostuva 150 mm. Holvin mitta kyseessä olevaa seinälinjaa vastaan kohtisuoraan on 6000 mm, joten yksinkertaistetulla mallilla kuormaa seinälle kertyy 3000 mm:n matkalta. Vastaava tilanne esitetty kuvassa 3. Mallikuva esimerkkitapauksesta 1 liitteessä 1.

Palkin mitoitus taivutukselle Eurokoodi 2:n mukaisesti:

Palkin mitat:

$h = 410 \text{ mm}$, $d = 370 \text{ mm}$ (tehollinen korkeus), $b = 150 \text{ mm}$

$L = 2650 \text{ mm}$ (Ikkuna-aukon leveys 25M)

Materiaalit:

Betoni C25/30: Raudoitettu rakenne $f_{ck}=25\text{ MPa}$ $\gamma_c=1,5$ $\alpha_{cc}=0,85$

Betonin mitoitusarvo:

$$f_{cd}=\alpha_{cc}*f_{ck}/\gamma_c=0,85*25\text{ MPa}/1,5=14,17\text{ MPa}$$

Teräs: $f_{sk}=500\text{ MPa}$ $\gamma_s=1,15$

Teräksen mitoitusarvo:

$$f_{sd}=f_{sk}/\gamma_s=500\text{ MPa}/1,15=434,8\text{ MPa}$$

Metrikuormat palkille:

Pysyväkuorma:

$$g_k=3\text{ m}*0,26\text{ m}*25\text{ kN/m}^3=19,5\text{ kN/m}$$

Hyötykuorma, asuintilat $Q_k=2,0\text{ kN/m}^2$:

$$q_k=3\text{ m}*2,0\text{ kN/m}^2=6,0\text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistely 6.10 b), $K_{fi}=1$:

$$\begin{aligned} P_d &= 1,15*K_{FI}*g_k + 1,5*K_{FI}*q_k \\ &= 1,15*1*19,5\text{ kN/m} + 1,5*1*6,0\text{ kN/m} = 31,43\text{ kN/m} \end{aligned}$$

Mitoitusmomentti:

$$M_d = P_d * L^2 / 8 = 31,43\text{ kN/m} * (2,65\text{ m})^2 / 8 = 27,59\text{ kNm}$$

Pääraudoitus:

$$\begin{aligned}\mu &= M_d / (b * d^2 * f_{cd}) \\ &= 27,59 \text{ kNm} / (150 \text{ mm} * (370 \text{ mm})^2 * 14,17 \text{ N/mm}^2) = 0,09482\end{aligned}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,09482} = 0,09980$$

$$\begin{aligned}A_s &= (\beta * b * d * f_{cd}) / f_{sd} \\ &= (0,09980 * 150 \text{ mm} * 370 \text{ mm} * 14,17 \text{ N/mm}^2) / 434,8 \text{ N/mm}^2 = 200 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{Valitaan } 2 \text{ T12} = 226 \text{ mm}^2$$

Taulukossa 4 on laskettuna vaaditut teräsmäärät eri aukonleveyksille.

TAULUKKO 4. Teräsmääriä eri aukon leveyksille.

Aukon leveys [m]	Teräsmäärä [mm ²]	Tulos
2	129,2	2 T10 = 157 mm ²
2,5	200,0	2 T12 = 226 mm ²
3	289,4	2 T16 = 402 mm ²
3,5	400,5	2 T16 = 402 mm ²
4	538,3	2 T20 = 628 mm ²

Taulukossa 5 on laskettuna maksimilevydet aukoille eri pääterästangoilla. Pääteräksillä 2 T20 saavutetaan aukon leveys 4,2 m. Halkaisijaltaan yli 20 mm:n harjaterästankoa ei ole suotavaa käyttää tämän tapauksen kaltaisissa kapeissa ikkunanylityspalkeissa, joten tässä esimerkkitapauksessa 4,2 m on aukon maksimileveys. Tämän kaltainen taulukko on hyvä apuväline urakkalaskenta-aineistoa tehdessä.

TAULUKKO 5. Aukon maksimilevydet eri pääteräksillä.

Teräkset	Teräsmäärä [mm ²]	Aukon koko ja vaadittava teräsmäärä
2 T8	100,6	1,7 m → 94,9 mm ²
2 T10	157	2,2 m → 155,5 mm ²
2 T12	226	2,6 m → 216,3 mm ²
2 T16	402	3,5 m → 400,5 mm ²
2 T20	628	4,2 m → 602,6 mm ²

Palkin mitoitus taivutukselle Eurokoodi 2:n mukaisesti:

Palkin mitat:

$h = 370 \text{ mm}$, $d = 340 \text{ mm}$ (tehollinen korkeus), $b = 150 \text{ mm}$

$L = 2650 \text{ mm}$ (Ikkuna-aukon leveys 25M)

Materiaalit:

Betoni C25/30: Raudoitettu rakenne $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $\gamma_c = 1,5$ $\alpha_{cc} = 0,85$

Betonin mitoitusarvo:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 25 \text{ MPa} / 1,5 = 14,17 \text{ MPa}$$

Teräs: $f_{sk} = 500 \text{ MPa}$ $\gamma_s = 1,15$

Teräksen mitoitusarvo:

$$f_{sd} = f_{sk} / \gamma_s = 500 \text{ MPa} / 1,15 = 434,8 \text{ MPa}$$

Metrikuormat palkille:

Pysyväkuorma:

$$g_k = 4 \text{ m} * 3,6 \text{ kN/m}^2 + 4 \text{ m} * 0,08 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 22,4 \text{ kN/m}$$

Hyötykuorma, asuintilat $Q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$:

$$q_k = 4 \text{ m} * 2,0 \text{ kN/m}^2 = 8,0 \text{ kN/m}$$

Kuormitusyhdistely 6.10 b), $K_{\rho} = 1$:

$$\begin{aligned} P_d &= 1,15 * K_{FI} * g_k + 1,5 * K_{FI} * q_k \\ &= 1,15 * 1 * 22,4 \text{ kN/m} + 1,5 * 1 * 8,0 \text{ kN/m} = 37,76 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Mitoitusmomentti:

$$M_d = P_d * L^2 / 8 = 37,76 \text{ kN/m} * (2,65 \text{ m})^2 / 8 = 33,15 \text{ kNm}$$

Pääraudoitus:

$$\begin{aligned}\mu &= M_d / (b * d^2 * f_{cd}) \\ &= 33,15 \text{ kNm} / (150 \text{ mm} * (340 \text{ mm})^2 * 14,17 \text{ N/mm}^2) = 0,14323\end{aligned}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,14323} = 0,15529$$

$$\begin{aligned}A_s &= (\beta * b * d * f_{cd}) / f_{sd} \\ &= (0,15529 * 150 \text{ mm} * 340 \text{ mm} * 14,17 \text{ N/mm}^2) / 434,8 \text{ N/mm}^2 \\ &= 280,8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{Valitaan } 2 \text{ T16} = 402 \text{ mm}^2$$

Taulukossa 6 on laskettuna vaaditut teräsmäärät eri aukonleveyksille.

TAULUKKO 6. Teräsmääriä eri aukon leveyksille.

Aukon leveys [m]	Teräsmäärä [mm ²]	Tulos
2	179,4	2 T12 = 226 mm ²
2,5	280,8	2 T16 = 402 mm ²
3	413,2	2 T20 = 628 mm ²
3,5	586,5	2 T20 = 628 mm ²

Taulukossa 7 on laskettuna maksimilevydet aukoille eri pääterästangoilla. Pääteräksillä 2 T20 saavutetaan aukon leveys 3,6 m

TAULUKKO 7. Aukon maksimilevydet eri pääteräksillä.

Teräkset	Teräsmäärä [mm ²]	Aukon koko ja vaadittava teräsmäärä
2 T8	100,6	1,4 m → 90,9 mm ²
2 T10	157	1,8 m → 146,2 mm ²
2 T12	226	2,2 m → 216,7 mm ²
2 T16	402	2,9 m → 383,9 mm ²
2 T20	628	3,6 m → 627,6 mm ²

5 POHDINTA

Elementtisuunnittelua voi tehostaa kehittämällä työtapoja ja luomalla suunnittelua helpottavia työkaluja. Suunnittelu tehostuu myös huolellisella elementtiurakkalaskenta-aineiston tekemisellä. Tällöin iso osa varsinaisesta suunnittelusta on jo tehty. Esimerkkinä elementtien raudoitukset, jotka on mahdollista suunnitella melko pitkälle jo laskenta-aineistoa tehdessä. Hyvin tehty laskenta-aineisto palvelee myös rakennusprojektin muita osapuolia.

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni sain perehtyä moniin elementtisuunnitteluun liittyviin asioihin ja ennen kaikkea suunnittelun haasteisiin. Haasteisiin perehtyminen on paras tapa kehittää työtapoja ja tehokkuutta. Opinnäytetyön tuloksena syntyi elementtisuunnitteluun soveltuvia työkaluja sekä uusi ajattelutapa laskenta-aineiston tekemiseen.

LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. Elementtirakentamisen historia. Luettu 6.3.2014.

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Betoniteollisuus ry.

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi>

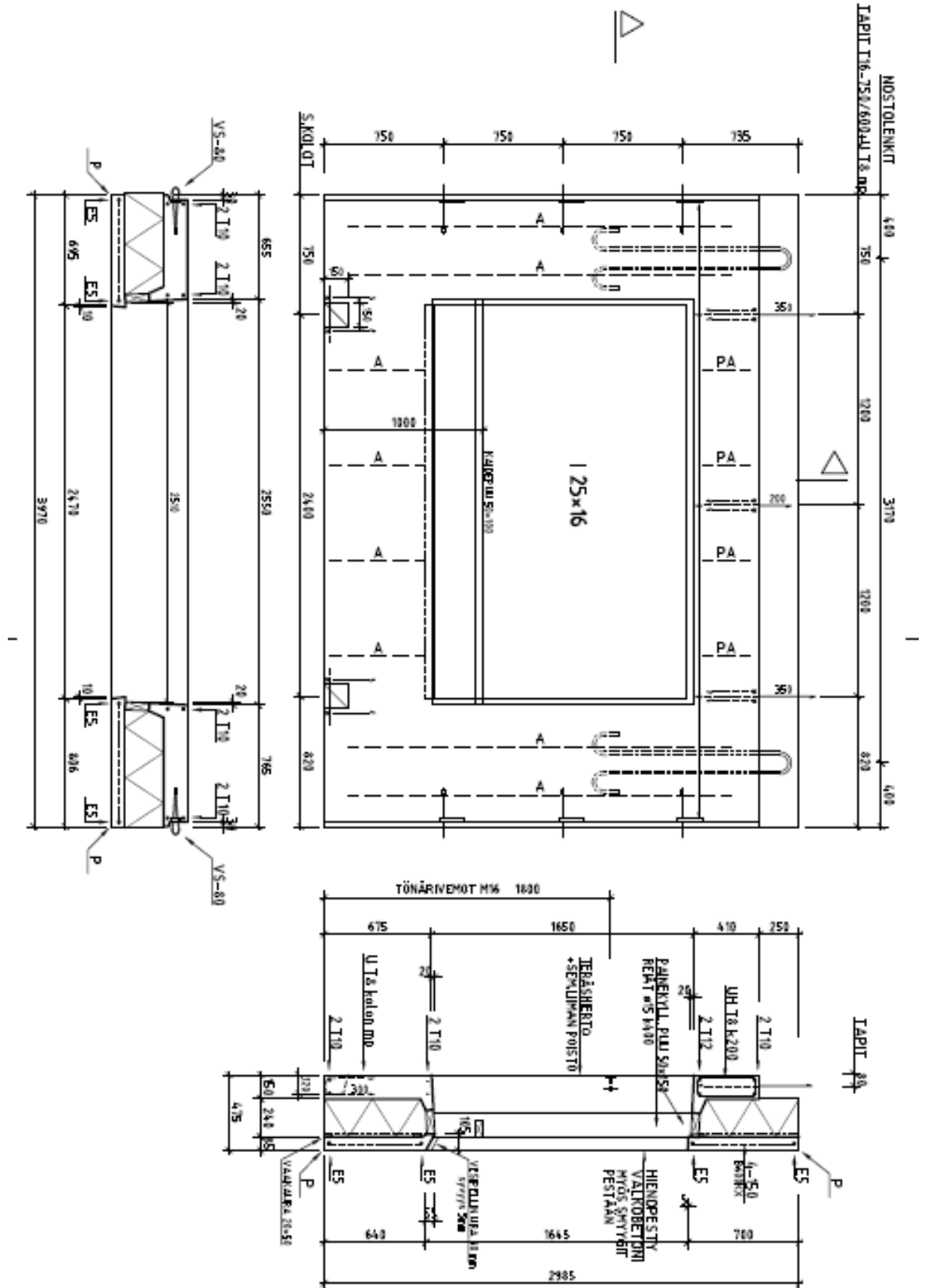
EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu.

Lius, H. tuotantopäällikkö, Betoni-Vuokko Oy. 2014. Haastattelu 25.4.2014.

Haastattelija Kivinen, J-E. Vilppula.

LIITTEET

Liite 1. Mallikuva, esimerkkitapaus 1



Liite 2. Mallikuva, esimerkkityö 2

