

Lilli Miettunen

Teräsbetonisen sandwich-elementin suunnittelu

Teräsbetonisen sandwich-elementin suunnittelu

Lilli Miettunen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennesuunnittelu

Tekijä: Lilli Miettunen
Opinnäytetyön nimi: Teräsbetonisen sandwich-elementin suunnittelu
Työn ohjaaja: Antti Ukonmaanaho
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 42 + liite

Sandwich-elementti on yleisin elementtirakenteisen asuinkerrostalon ulkoseinä-rakenne. Siinä yhdistyvät kantava sisäkuori, lämmöneristekerros ja säältä suo-jaava ulkokuori. Elementtisuunnittelijalta vaaditaan äärimmäistä tarkkuuta suunnittelussa, sillä työmaalla ei voida soveltaa paikallavalurakentamisen tavoin, jos jokin epäkohta on jäänyt. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda teräsbetonisen sandwich-elementin suunnitteluohje, jonka avulla suunnittelija saisi vaivattomasti suunniteltua elementin.

Opinnäytetyön aluksi selvitettiin olennaisimmat asiat sandwich-elementin suunnittelusta. Elementtipiirustusten avulla tutustuttiin erilaisiin varusteluosiin, ja sen myötä elementtien työturvallisuuteen. Seinän rakenneosien mitoitukseen syvennyttiin eurokoodin ja laskentaesimerkkien perusteella. Suunnittelijoilta tiedusteltiin tyypillisimpiä raudoituksia ja elementin mittoja, joiden perusteella rajattiin laskelmia. Kun perustiedot oli rajattu, laskettiin rakenneosille kestävyyskertoimia, ja niiden perusteella luotiin Excelillä viivadiagrammeja ja taulukoita. Kun saatiin tietoa sandwich-elementin suunnittelun kokonaisprosessista, koottiin tieto yhdeksi ohjeeksi.

Opinnäytetyön tuotoksena syntynyt ohje tuli Sweco Rakennetekniikan suunnittelijoiden käyttöön. Ohje nopeutti ja helpotti perussuunnittelua, kun kaikki tarvittava tieto oli samassa paikassa. Työn avulla saa käsityksen sandwich-elementin suunnittelusta, vaikka ei olisi ennen kyseistä työtä tehnytkaan.

Asiasanat: sandwich-elementti, elementtirakentaminen, suunnitteluohje

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Construction Engineering, Structural Engineering

Author: Lilli Miettunen

Title of thesis: Designing Reinforced Concrete Sandwich-Elements

Supervisor: Antti Ukonmaanaho

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017 Pages: 42 + 1 appendix

Sandwich building element is the most common exterior wall structure of prefabricated apartment buildings. A load-bearing internal shell, insulation and weatherproofing external shell are connected there. Designing of the sandwich building elements demands great precision. Problems on a construction site cannot be solved as easy as in cast-in-place contracts.

The objective of this thesis was to get familiar with designing of prefabricated units and create a designing guide for reinforced concrete sandwich building elements. Sweco Structures Ltd has commissioned the study.

The study was carried out first by getting familiar with different components of the sandwich building element and occupational safety on installation. It was easier by studying from actual designing documents. Eurocodes and calculation examples were used to familiarize with strength calculations of a wall. The designers were enquired afterwards about the most common reinforcements and dimensions of the elements. This information was used to outline the strength calculations. After that, the resistances were calculated for the components and different charts and diagrams were made based on those results to simplify the designing.

As a result of this graduate study a designing guide of reinforced concrete sandwich elements was made for the use of Sweco Structures Ltd. The guide hastens and simplifies the designing having all the information needed in the same place. It also gives a general view for junior designers of designing the sandwich building elements.

Keywords: sandwich building element, element building, designing guide

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 YLEISTÄ SANDWICH-ELEMENTISTÄ	8
2.1 Rakenteen ominaisuuksia	8
2.2 Kuormitukset	9
2.3 Rakenteellinen toiminta	10
2.4 Säilyvyys	11
2.4.1 Tavoitekäyttöikä	11
2.4.2 Suunnittelukäyttöikä	11
2.4.3 Rasitusluokka	12
2.5 Lämmöneristeet	14
2.6 Valmistustoleranssit	15
2.7 Pintakäsittelyt	18
3 VARUSTELUOSAT	19
3.1 Diagonaalit ja pistokkaat	19
3.2 Vaijerilenkit	20
3.3 Tartunnat ja tapituskolot	21
3.4 Kiinnityslevyt	21
3.5 Työturvallisuuden osia	22
3.5.1 Nosto-osat	22
3.5.2 Väliaikainen tuenta	24
3.5.3 Kaideholkit ja suojakaiteet	26
4 SISÄKUOREN MITOITUS RAKENNEOSITTAIN	27
4.1 Aukkopalkki	27
4.2 Pielipilari	31
4.3 Seinä	36
5 SUUNNITTELUOHJE	39
5.1 Yleiset suunnitteluperusteet ja varusteluosat	39
5.2 Rajaukset	40

5.3 Laskelmat	41
5.4 Mallipiirustus	42
6 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Elementtirakenteisten asuinkerrostalojen suosio on kasvanut yksinkertaisemman ja nopeamman rakentamisen vuoksi, mutta myös materiaalin käytön tehokkuuden ansiosta. Sandwich-elementit ovat haastavia elementtisuunnittelussa, ja työn tilaajalla ei ole niille yhtenäistä suunnitteluohjetta. Ohjeelle on tarvetta, ja sen avulla suunnittelija saa elementin suunnitteluun tarvittavat tiedot samasta dokumentista.

Työn tavoitteena on luoda rakennesuunnittelijoiden käyttöön teräsbetonisen sandwich-elementin suunnitteluohje. Opinnäytetyössä tarkastellaan, mitä sandwich-elementin suunnitteluprosessi sisältää. Ensin tarkastellaan perusasiat elementin suunnittelusta, minkä jälkeen perehdytään rakenneosien mitoituksen teoriaan ja mitoituksen kulkuun pääperiaattein. Liitteeksi tehdään myös mallipiirustus, jonka avulla kuvista tulee yhdenmukaisempia.

Opinnäytetyö ja sen tuotoksena syntyvä ohje rajataan käsittelemään kerrostalojen teräsbetonisia sandwich-elementtejä. Niissä keskitytään vain toimintatyyppiltään kantavaan sisäkuoreen, johon ulkokuori ripustetaan ansaiden ja pistokkaiden avulla. Laskelmia varten työhön valitaan tyypillisimmät seinäelementin mitat asuinrakentamisessa. Elementin koon, aukkojen koon ja kuormituksen ollessa tiedossa tulisi suunnittelijan saada suunniteltua tyypillinen sandwich-elementti vaivattomasti.

Työn tilaaja on Sweco Rakennetekniikka Oy, joka kuuluu ruotsalaiseen Sweco-konserniin. Nykyään Rakennetekniikan puolella työskentelee yli 700 asiantuntijaa 15 eri paikkakunnalla. Näin se on alansa edelläkävijä ja selkeä markkinajohtaja Suomessa. Swecolla on asiantuntijoita usealta tekniikan alalta ja näin he pystyvät hyödyntämään laaja-alaista osaamistaan eri toimialojen projektitöissä.

2 YLEISTÄ SANDWICH-ELEMENTISTÄ

Suomalaisten asuinkerrostalojen tyypillisin ulkoseinärakenne on betonisandwich-elementti. Se koostuu teräsbetonisista sisä- ja ulkokuorista, joiden välillä on lämmöneriste. Elementin osat valmistetaan elementtitehtaalla samassa tuotantoprosessissa, jossa saadaan säänsuojassa tehtyä tasaista laatua. Kuoret sidotaan yhteen ansailla ja pistokkailla, jotka kulkevat lämmöneristeen läpi. (1.)

Betonisandwich-julkisivu rakentuu useista elementeistä. Kaksi tyypillisintä tapaa on nauha- tai ruutuelementeistä tehdyt julkisivut. Ruutuelementtijulkisivu muodostuu yhdenkerroksen korkuisista ja yhden huoneen levyisistä elementeistä. Nauhaelementtijulkisivu puolestaan muodostuu aukkojen välin korkuisista ja yhden huoneen levyisistä elementeistä. (2, s. 158.)

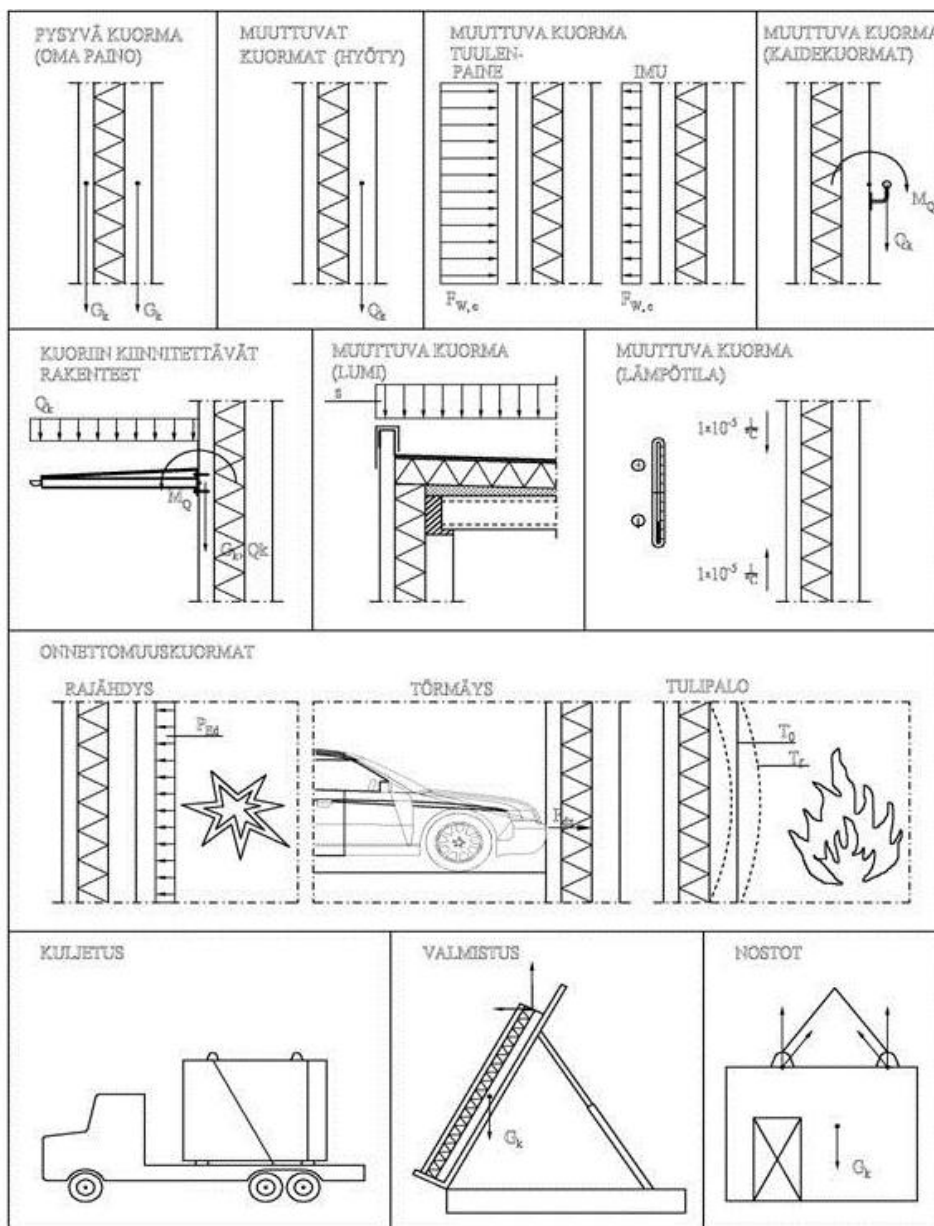
2.1 Rakenteen ominaisuuksia

Sandwich- elementillä on monia hyviä ominaisuuksia. Betonijulkisivuvaihtoehtoista se on edullisin, ja ammattitaitoinen suunnittelija hyötyy sen hyvistä suunnittelujoustavuuksista sekä kattavista pintavaihtoehtoista. Seinän rakenteen ansiosta vaippa on tiivis heti asennuksen jälkeen ja rakennus saadaan lämpöä eristäväksi. Sandwich-elementti on massiivinen betoninen rakenne, jonka avulla saadaan hyvä suoja liikenne- ja muulta ulkoiselta melulta. (3, s.14)

Elementtirakenteisella talolla on nopea rakentamisaika ja korkea esivalmistusaste. Kun vesikatto on asennettu, saadaan lämmöt päälle, ja kuivatus alkaa nopeammin paikallavalettuun rakentamiseen verrattuna. Samalla työmaan työskentelyolosuhteet parantuvat ja asennustyön määrä pienenee (1.)

2.2 Kuormitukset

Sandwich-elementille muodostuvat kuormat määritetään eurokoodin mukaan. Kuormitukset jaetaan ajallisen vaihtelun mukaan pysyviin kuormiin (G), muuttuviin (Q) ja onnettomuuskuormiin (A). Näiden lisäksi kuormia syntyy toteutuksen aikana muotista irrottamisesta, kuljetuksesta, varastoinnista ja nostoista. Kuormia on havainnollistettu kuvassa 1. Elementille kohdistuu sen elinkaaren aikana erilaisia voimien yhteisvaikutuksia. Suunnittelussa tulee huomioida kaikkien kuormitusyhdistelmien riittävä kestävyys ja kantavuus. (4, linkki Kuormitukset.)



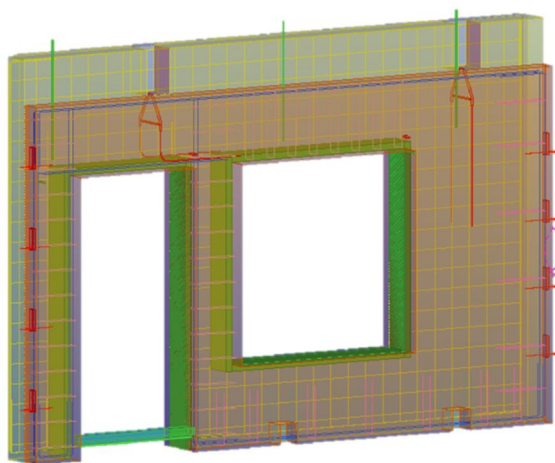
KUVA1 Sandwich-elementille tulevia kuormia (4, linkki Kuormitukset.)

2.3 Rakenteellinen toiminta

Asuinrakentamisessa käytettävän sandwich-julkisivun runkojärjestelmänä toimivat kantavat seinät-laatat-järjestelmä, jossa laatat tukeutuvat seinäelementin kantavan sisäkuoren ja väliseinän varaan. Runkojärjestelmänä se on tyypillisin betonirunkoisten asuinrakennusten runkotyyppi, jossa rakennuksen pitkät sivut ovat kantamattomia seiiniä. (1, linkki Rakenteellinen toiminta)

Kun sandwich-elementin toimintatyyppinä on kantava sisäkuori, ottaa kuori kaiken kuorman vastaan ja ulkokuori ripustetaan siihen kiinni diagonaaliensaiden ja pistokkaiden avulla. Ansaat ja pistokkaat estävät ulkokuoren liiallista kaareutumista, joka aiheutuu elementin kuivumiskutistumisesta ja kosteus- ja lämpötilanvaihteluista. Ulkokuori kuivuu nopeammin auringon paisteen vaikutuksesta, joten kuorien välille syntyy kutistumaeroja ja ulkokuori alkaa kaareutua. Ulkokuoren kosteus vaihtelee vuodenajan mukaan, mutta toisen vuoden jälkeen se on tasapainottunut ympäristön kosteutta vastaavalle tasolle. (1, linkki Rakenteellinen toiminta)

Sandwich-elementit ovat joko kantavia tai ei-kantavia. Kantava seinä tarkoittaa sitä, että sen vaurioituminen aiheuttaisi välittömän laajemman kokonaisvaurion. Ei-kantavalla elementillä puolestaan vaurioituminen jäisi paikalliseksi vain kyseistä elementtiä koskevaksi. Kantavan ja ei-kantavan elementin ero on sisäkuoren paksuudessa. Kantavalla sisäkuoren paksuus on vähintään 150 mm ja puolestaan ulkokuorella 80 mm (21, s.4)



KUVA2 Sandwich-elementti mallinnettuna Tekla Structures -ohjelmalla

2.4 Säilyvyys

Betonirakenne suunnitellaan siten, että se kestää ympäristönsä sille luomat ra-
situkset käyttöikänsä ajan. Betonin lujuus määräytyy rakenteellisen kestävyyy-
den, tavoitekäyttöiän ja säilyvyyden perusteella. Lujuus on betonille tärkein omi-
naisuus, ja lujuusluokittelu tehdään betonin puristuslujuuden mukaan. Sisäkuoren
lujuus on yleensä C25/30 ja ulkokuoren C35/45. (5.)

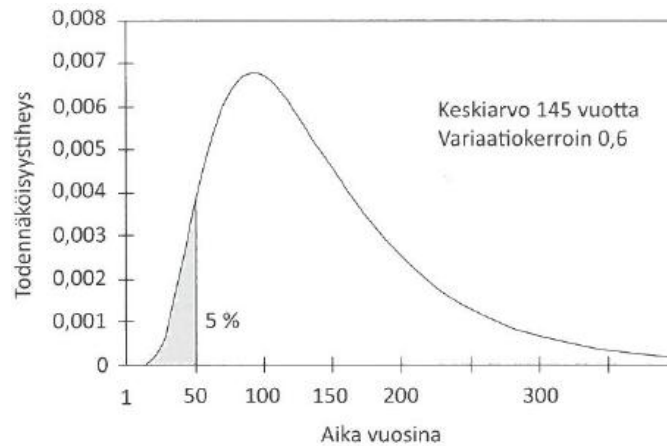
2.4.1 Tavoitekäyttöikä

Tavoitekäyttöiän määrittelee tilaaja rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan, ja
sen perusteella suunnittelija määrittää suunnittelukäyttöiän. Rakennusosilla on
erilaisia käyttöikävaatimuksia eikä niiden tarvitse olla yhtä pitkiä kuin koko ra-
kennuksen. Periaate on, että mitä vaikeampi ja kalliimpi rakennusosan korjaa-
minen on, sitä pidempi käyttöikävaatimus on asetettava. Tilaajan tulisi ottaa
huomioon muun muassa seuraavia asioita ikää määriteltäessä: elinkaaren raha-
talous, elinkaaren luonnontalous ja energiatalous, käytettävyyssominaisuudet,
turvallisuus, viihtyisyys ja terveellisyys. (5, s.6;15, linkki Säilyvyys)

2.4.2 Suunnittelukäyttöikä

Betonin suunnittelukäyttöikä kuuluu yhtenä osana säilyvyysuunnitteluun. Suun-
nittelukäyttöiän määritelmänä on ajanjakso, jonka aikana betonirakenteen omi-
naisuudet säilyvät valitulla todennäköisyydellä vaaditun tasoisina, kunhan ra-
kenne pidetään asianmukaisesti kunnossa. Normaalisti varmuustaso on 95 %:a,
mikä noudattaa log-normaali jakaumaa. Kuvassa 3 näkyy käyttöiän jakautuma.
Suunnittelukäyttöiän aikana rakennetta siis ei tarvitse korjata, mutta se edellyt-
tää rakenteen huoltamisen. Suunnittelukäyttöiän jälkeen rakennus ei kummin-
kaan ole käyttökelvoton, vaan sitä on yleensä korjattava tai käyttöikänsä lop-
puun tulleita rakennusosia vaihdettava. (5, s.6-10)

Sandwich-elementin sisä- ja ulkokuorella on eri käyttöiät. Yleensä sisäkuori
suunnitellaan 100 vuoden käyttöikänsä, kun taas ulkokuori vain 50 vuoden. Käyt-
töikämitoitus tehdään joko laskennallisesti tai taulukkomitoituksena.



KUVA3. Kuvassa näkyy käyttöiän jakautuma. Esimerkiksi, kun suunnitteluikä on 50 vuotta, niin kyseisistä rakenteista viisi prosenttia voi vaurioitua ennen 50 vuoden ikävuotta. (6, s.15.)

2.4.3 Rasitusluokka

Rakenteen rasitusluokat määritetään käyttöiän määrittelemälle ajanjaksolle, jonka aikana rakenne kestää kyseisissä ympäristön olosuhteissa. Rasitusluokan valitseminen kannattaa tehdä tarkoin, ettei rakennetta ylimitoiteta turhan kovan rasitusluokan vuoksi. Rasitukset aiheutuvat mm. klorideista, erilaisista kemiallisista aineista sekä pakkasrasituksesta ja betonin karbonatisoitumisesta. Rasitusvaatimuksia voidaan hallita betonin koostumuksella ja lähtöaineilla, ja betoni-teräksillä suojabetonin paksuudella ja ruostumattomilla teräksillä. (5, s.11–25)

Rasitusluokat jaetaan rasitustekijöiden suhteen seuraaviin kuuteen luokkaan:

- X0, ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä
- XC-luokat, karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korroosio
- XD-luokat, muun kuin meriveden aiheuttama korroosio
- XS-luokat, meriveden kloridien aiheuttama korroosio
- XF-luokat, jäätymis-sulamisrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä
- XA-luokat, kemiallinen rasitus

Suunnittelija arvioi aina tapauskohtaisesti, millaisten rasituksien alaiseksi kyseinen rakenteen osa joutuu, ja rasitusluokka merkitään piirustuksiin. Rasitusluokka vaikuttaa betonin valintaan suunnittelussa. Sandwich-elementin sisäkuori on rakenteen sisäpuolella suojassa sään vaikutuksilta ja kemiallisilta rasituksilta, joten sen rasitusluokka yleensä on XC1. Ulkokuoren rasitusluokka määräytyy tapauskohtaisesti, mutta yleensä se sisältää useampaa rasitustekijää. (5, s.11)

Asetettuun käyttöikään päästään suojabetonin avulla. Kaikkien ruostuvien betoniterästen suojapeitevaatimus on voimassa. Taulukossa 1 on esitetty vähimmäisvaatimukset betonipeitteen 50 vuoden käyttöiälle rasitusluokittain. Arvoon lisätään 5 mm, jos suunnittelukäyttöikä on sata vuotta. Taulukosta saatuun arvoon lisätään sallittu mittapoikkeama: $\Delta C_{dev} = 10$ mm:ä, jotta saadaan betonipeitteen nimellisarvo. Lisäksi on huomioitava rakenteen palomitoituksen asettamat vaatimukset. Esimerkiksi sisäkuorella luokassa XC1 betoniteräksen betonipeitteen minimiarvoksi saadaan 10+10 mm 20 mm, kun betonin lujuusluokka on C25/30 ja paloluokka R60. (5, s.26–27)

TAULUKKO 1. Rasitusluokittain vaaditut betonipeitteen vähimmäisarvot (7.)

Ympäristöolosuhteista johtuva betonipeitteen vähimmäisarvovaatimus $C_{min,dur}$ (mm)								
Kriteeri	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

2.5 Lämmöneristeet

Sandwich-elementin välissä voidaan käyttää kovia ja pehmeitä eristeitä. Elementin lämpö- ja kosteustekniikkaa on tutkittu paljon, ja sen rakennusfysikaalinen toiminta tunnetaan hyvin. Yleisimmin lämmöneristeinä on käytetty uritettua mineraalivillaa. Urituksen avulla saadaan aikaan rakennuksen tuuletus, ja tuuletuksen vaatima uritus sijaitsee mineraalivillassa ulkokuoren sisäpintaa vasten. Kovilla eristeillä on pitempi kuivumisaika, mikä pitää ottaa huomioon, kun rakenne saavuttaa tasapainokosteuden. Kovilla eristeillä on parempi lämmöneristävyys ja tiiveys. Mineraalivillat ovat taas halvempia ja parempia ääneneristävyyden ja palonkestävyyden kannalta. (8.)

Vuonna 2010 voimaan tulleen lämmöneristemääräyksen lämpimään tilaan rajoittuvan ulkoseinän U-arvo saa olla enintään 0,17 W/(m²K). Tämän seurauksena eristepaksuudet kasvoivat ulkoseinärakenteissa. Kasvut näkyvät taulukossa 2. Paksummat lämmöneristemäärät heikentävät ulkoseinärakenteiden kuivumiskykyä. Sandwich-elementin hyvä kosteudenkestävyys tekee siitä vielä turvallisen rakenteen suuremallakin eristepaksuudella. Taulukossa 3 näkyy uusimmat suositukset sandwich-elementin eristepaksuuksiksi. (8.)

TAULUKKO2. Lämpimän tilan vaipan osien vertailuarvot: Seinä 0,17 W/m²K (8.)

Eriste	λ_{design} [W/mK]	Ansaat	2007	2010	Matala-	Passiivi-
			0,24 W/(m ² K)	0,17 W/(m ² K)	energia 0,14 W/(m ² K)	talo 0,09 W/(m ² K)
Vaadittavat eristepaksuudet						
Mineraalivilla	0,037	Diag. ansaat k600	160	230	280	430
EPS	0,036	Diag. ansaat k600	150	220	260	410
		Pistokas 4 kpl/m ²	150	210	260	410
	0,031	Diag. ansaat k600	130	190	230	360
		Pistokas 4 kpl/m ²	130	190	230	350
XPS	0,037	Diag. ansaat k600	160	220	270	420
		Pistokas 4 kpl/m ²	150	220	270	420
PUR/ PIR	0,026	Diag. ansaat k600	110	160	190	300
		Pistokas 4 kpl/m ²	110	160	190	300
	0,023	Diag. ansaat k600	100	140	170	270
		Pistokas 4 kpl/m ²	100	140	170	270

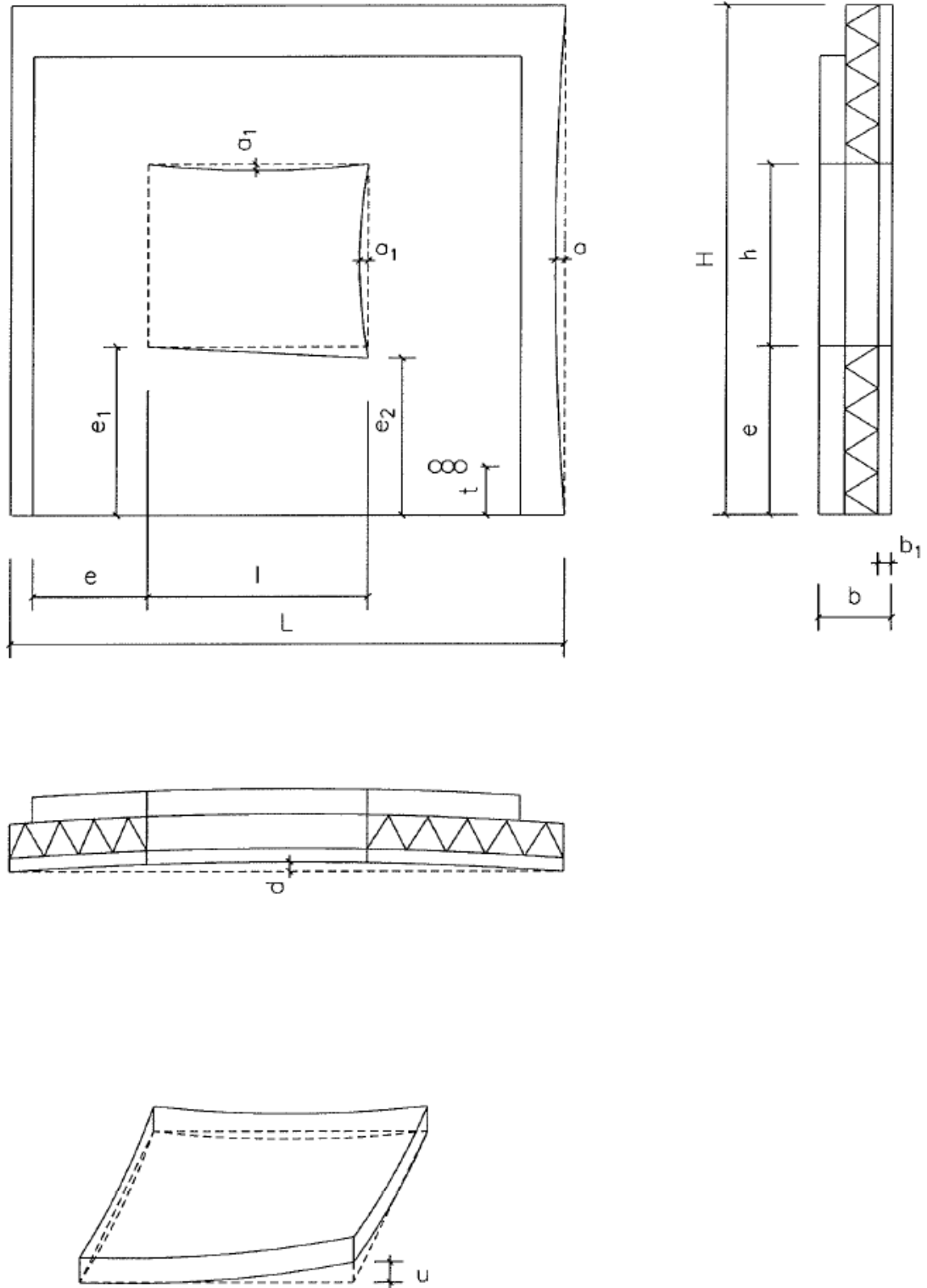
TAULUKKO3. Betoniteollisuuden suositus uusiksi lämmöneristepaksuuksiksi
24.4.2013 alkaen (8.)

Sandwich, sisäkuori ≥ 80 mm, ulkokuori ≥ 70 mm					
Eriste	Huom.	λ_{design}	oletusansastus	suositus- eristepaksuus	U- arvo 2)
		[W/mK]		[mm]	
mineraalivilla		0,035	diag. ansas k600	220	0,17
EPS		0,036	pistokas 4 kpl /m ²	220	0,17
EPS		0,031	diag. ansas k600	180	0,17
EPS		0,031	pistokas 4 kpl /m ²	180	0,17
PUR/PIR	karmileveys 170 mm	0,026	pistokas 4 kpl /m ²	150	0,17
PUR/PIR		0,024	diag. ansas k600	150	0,17
PUR/PIR		0,024	pistokas 4 kpl /m ²	150	0,16

2.6 Valmistustoleranssit

Rakentamistoleranssit tulee merkitä ja määrittää paikkoihin, jotka ovat rakenteen toimivuuden, ulkonäön ja valmisosa-asennuksen kannalta tärkeitä. (9, s.49–51)

Sandwich-elementeissä käytetään tavallisissa rakennuskohteissa valmistustoleranssina normaaliluokkaa (N). Erikoisluokkaa (E) käytetään, jos seinän mittatarkkuudelle asetetaan ulkonäöllisistä syistä korkeat vaatimukset, mutta tämä on hyvin harvinaista. Suunnitelmissa tulee käydä ilmi, mitä toleranssiluokkaa on käytetty. Toleranssilla tarkoitetaan mitan sallittua vaihtelua. Kuvassa 4 on esitetty seinien mitattavia suureita, joihin viitataan taulukossa 4. (9, s.70)



KUVA4. Seinäelementtien mitattavat suureet (9, s.72)

TAULUKKO4. Sandwich-elementtien valmistustoleranssit. (9, s.70–71)

Mittauksen kohde	Valmistustoleranssit [mm]	
	Normaaliluokka	Erikoisluokka
Pituus (L), korkeus (H)		
-sisäkuori	±10	±8
-ulkokuori	±8	±5
Paksuus (b)		
-sandwich kok.paksuus, sisäkuori	±8	±5
-ulkokuori	±5	±5
Ristimittojen ero (s_1-s_2) ¹⁾		
-sisäkuori	15	12
-ulkokuori	12	8
Sivun käyryys (a)	±8	±5
Kierous (u)	±15	±10
Teräsosat, sähkörsiat ja reiät (t)		
* sijainti pinnan suunnassa	±10	±10
*sijainti syvyyssuunnassa	±5	±5
*reikien koko	±10	±5
Ovet ja ikkunat		
*joka suunnasta (e, h, l)		
-sandwich	±10	±8
-sisäkuori	±8	±5
-ulkokuori	±8	±5
*kulmien sijainnin ero $ e_1-e_2 $		
-sandwich, sisäkuori	±10	±8
-ulkokuori	±5	±5
Elementin käyristymä (d) ²⁾	L/400	L/600

¹⁾ Ei soveltu vinoille seinille

²⁾ Muille kuin betonipintaisille elementeille määritellään suunnitelmissa erikseen pintamateriaalin vaikutuksen huomioonottava arvo

2.7 Pintakäsittelyt

Nykyään on paljon erilaisia pintakäsittelyitä. Betonin käsittelymenetelminä ovat erilaiset harjaukset, hierrot, hakkaukset ja pesut. Betonipinnat voidaan jakaa luokitusjärjestelmässä neljään luokkaan AA, A, B ja C. Vaatimukset vaihtelevat pinnan tyyppin mukaan. (10, s.36–37)

Yleensä pinnan laatuluokka julkisivuissa on AA tai A- luokka. Sandwich-elementin pinnat kuuluvat yleensä A-luokkaan. AA-luokkaa käytetään vain merkittävässä julkisissa rakennuksissa tai julkisivun erikoiskohdissa. Siinä edellytetään lähes aina uutta ja puhdasta muottipintamateriaalia. Pintojen luokat kuvataan useasta osasta muodostuvista pintakoodeista. Esimerkiksi sandwich-elementille tyypillinen on, että ulkokuorella on MUO-A ja sisäkuorella THI-A. Eli ulkokuori on muottia vasten valettu ja sisäkuori on teräshierretty, ja näin siitä saadaan muottia vasten valetun pinnan näköinen. Elementtien pinnat valetaan yleensä vaakatasossa olevaa teräsmuottia vasten, minkä avulla saadaan laaja sileä pinta ilman muottisiteiden jälkiä. (10, s.32–36)

Sandwich-elementille käytetään yleensä seuraavia pintakoodeja:

- MUO AA, A = Muottia vasten valettu pinta.
- TEL AA, A = Telattu pinta. Pinnat saadaan yhtenäisiksi teräs-/ puuhieron jälkeen.
- THI AA, A = Teräshierretty pinta. Valmis pinta hierretään sileäksi. Esimerkiksi, kun halutaan saada muottia vasten valetun pinnan vaikutelma.



KUVA5. Vasemmalla puolella on telattu pinta ja oikealla puolella teräshierretty pinta. (10, s.6)

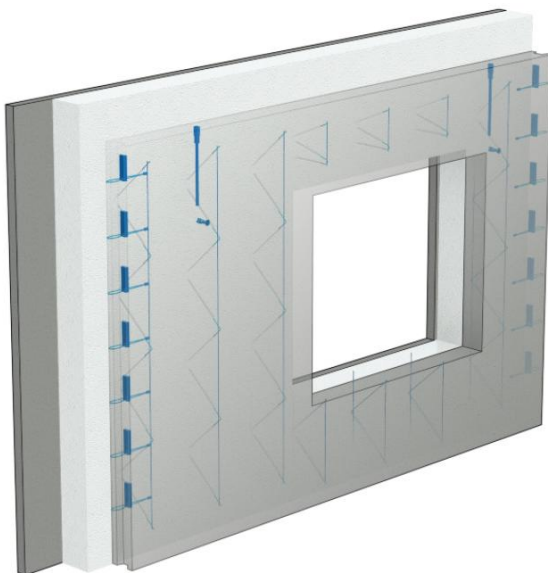
3 VARUSTELUOSAT

3.1 Diagonaalit ja pistokkaat

Diagonaaliansaat ja pistokkaat eli sideraudoitteet toimivat rakenteessa vedettyinä ja puristettuina sauvoina. Niillä liitetään sisä- ja ulkokuori yhteen, jolloin ulkokuorelta tuleva oma paino ja tuulikuorma viedään sisäkuorelle. Ne asennetaan lämmöneristyslevyjen väliin tasavälein ja ankkuroidaan sisä- ja ulkokuoreen. (11.)

Tehtävänä on estää ulkokuoren liiallinen kaareutuminen, jota tapahtuu etenkin elementin keskikohdalla ja reunoilla. Kaareutuminen aiheutuu epätasaisesta kuivumiskutistumasta ja ilman kosteus- ja lämpötilavaihteluista. Kuvassa 6 näkyy diagonaaliansaita. (1, linkki Rakenteellinen toiminta; 11.)

Ansait sijoitetaan seinäelementin vaakasuorasta reunasta 100-300 mm:n päähän ja pystysuorasta reunasta 50-200 mm:n päähän. Ansaiden välinen keskietäisyys on alle 600 mm:ä. (11.)



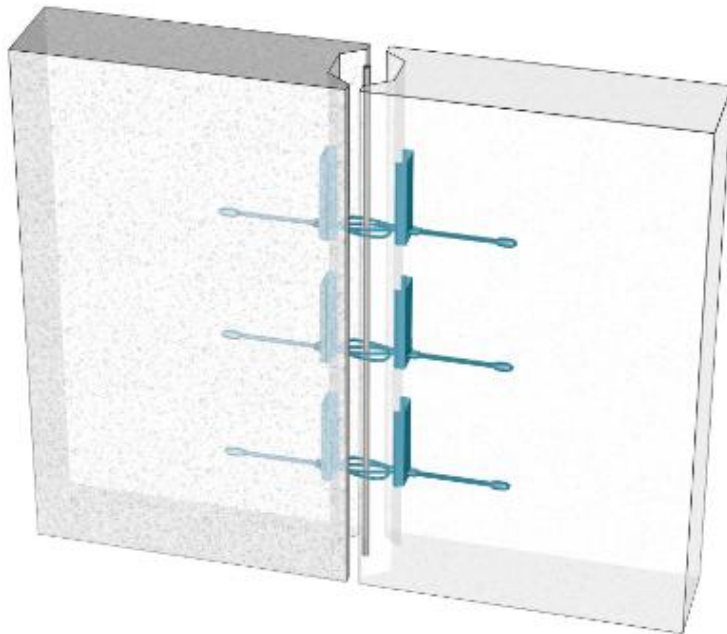
KUVA6 Kuvassa on havainnollistettu elementin sisällä olevia ansaita ja vaijerilenkkejä (11.)

3.2 Vaijerilenkit

Seinäelementtien pystyliitoksena käytetään Suomessa yleisimmin vaijerilenkiliitosta. Vaijerilenkkiä käytetään betonielementtiseinien pystysaumoissa vastaanottamaan sauman pituussuuntaisia leikkausvoimia. Lenkkien jakoväli määräytyy saumalta vaadittavasta leikkauskapasiteetista, joka saadaan rakennuksen jäykistysmitoituksen laskelmista. (12.)

Elementtisuunnitelmassa tulee ilmetä vaijerilenkkivalmistaja, koska lenkkien leikkauskapasiteetit vaihtelevat eri valmistajien tuotteiden välillä. Seinäelementtien pystysaumassa samalla kohdalla olevat lenkit ovat lenkipareja. Parien väliin muodostuvaan silmukkaan asennetaan harjateräs, minkä jälkeen sauma valjetaan umpeen. Näin muodostuu pystysuuntaista leikkausta välittävä liitos kuvan 7 mukaisesti. (12.)

Vaijerilenkki valitaan seinän paksuuden ja saumaleveyden mukaan. Esimerkiksi tyypillinen lenkki on PVL-80, jonka tunnus muodostuu valmistajan tyyppinimestä Peikon vaijerilenkki ja vaijerilenkin ulos jäävän osan pituudesta. (12.)



KUVA7. Vaijerilenkkien muodostama liitos (12.)

3.3 Tartunnat ja tapituskolot

Tartunnat eli vaarnatapit muodostavat seinäelementeillä yleisimmin käytetyn vaakasauman liitostyyppin, joka ottaa vastaan elementin leikkausrasitusta. Liitoksessa on yhdistettynä niin juotos- ja pulttiliitosta, jolloin juotosbetoni ja pultit toimivat yhdessä leikkausrasitukselle. Vaakasauman tehtävänä on sitoa elementit yhtenäiseksi ja jäykäksi levyrakenteeksi. (13;14)

Pulttien tilalla usein käytetään harjaterästankoja. Harjatangot sijoitetaan elementin yläpintaan siten, että se ulottuu ylemmään elementtiin ainakin $6\emptyset+20$ mm:n matkalta. Tämä on mitattuna ylemmän elementin alapinnasta. Tartunnan on ulotuttava elementin sisään ainakin tartunnan halkaisijan määrittelemän tartuntapituuden verran. Samassa kohdassa tulee ylemmässä elementissä olla alapinnassa kolous. (13;14)

Elementtiin tuleva tapituskolon koon tulee olla sen kokoinen, että alhaalta tulevan elementin tartuntatapilla on riittävästi tilaa, ja umpeen valaminen onnistuu. Elementin pieliteräkset ja niiden jatkoteräkset tulee sijoittaa siten, ettei kolo tukkiudu teräksillä. Koloa ei saa olla oven lähellä, koska asennusaikainen kuljettuen teräs kulkee varauksen läpi. (13;14)

3.4 Kiinnityslevyt

Kiinnityslevyillä tarkoitetaan tartunnoilla varustettuja teräslevyjä, jotka asennetaan betoniin ennen sen kovettumista. Levyyn tulevat kiinnitykset hitsataan siihen kiinni. Kiinnityslevyt mahdollistavat sen, että betonipintoihin saadaan tehtyä hitsausliitoksia. (15.)

Kiinnityslevyt siirtävät taivutusmomenttien, leikkausvoimien sekä normaalivoimien aiheuttamat rasitukset betonirakenteeseen. Kuormat siirtyvät teräslevyn kautta betonille tartuntateräksiä pitkin. Laskelmia varten on oletettu, että levy on täysi jäykkä ja se pysyy tasana kuormituksessa. (15.)

Levyjä tehdään useista eri teräslaaduista, erikokoisina ja – muotoisina. Kapasiteetit vaihtelevat niin edellä mainittujen asioiden mukaan ja valmistajien kesken.

Jokaisella valmistajalla onkin käyttöohjeessa ilmoitettu kiinnityspinta-alavaatimus ja taivutuskestävyyden arvo. (15.)



KUVA9. Kuvassa on tyypillisin SBKL-kiinnityslevy. (15.)

3.5 Työturvallisuuden osia

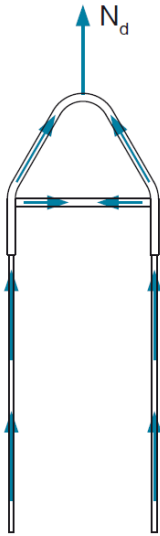
Elementtien asennuksen työturvallisuudesta on asetus VNa 205/2009 36 §, jonka mukaisesti rakennesuunnittelijan on annettava tarkkoja tietoja niin nostosta, käsittelystä, asennusjärjestyksestä, väliaikaisesta tuennasta ja lopullisesta kiinnityksestä. (16, linkki Kuljetus ja Nostot.)

3.5.1 Nosto-osat

Elementit tulee mitoittaa kestämiään kuljetusten ja nostojen aikaiset rasitukset. Elementtisuunnittelijan tulee myös määrittellä suunnitelmissa elementtien nosto- ja käsittelytavat ja on huomioitava, että nostolenkki saadaan poistettua asennuksen jälkeen ilman, että rakenteeseen jää kylmäsiltaa. Katkaisematon nostolenkki aiheuttaa myös haitallisia jännityksiä kuorien välille. Nostolenkkien mitoituksessa on varmuutta, mutta ne eivät silti kestä kuorman keinunnasta aiheutuvaa nykäisevää voimaa. (16, linkki Kuljetus ja Nostot)

Nostolenkit asennetaan paikalleen ennen elementin betonointia, ja ne sidotaan raudoituksiin kiinni siten, että ne pysyvät valun aikana paikallaan. Sandwich-elementillä nostolenkin tulee olla kiinni niin sisä- kuin ulkokuoressa, jotta elementtiä nostaessa se nousisi suorassa ja olisi turvallista asentaa. Vähänkään vinoissa elementin asentaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin suorassa olevan. (17.)

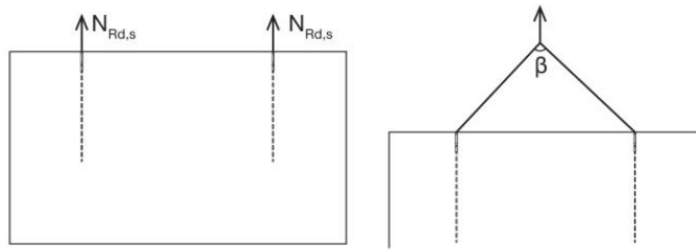
Lenkin mukana tulevat omat tartunnat, joilla se ankkuroituu molempiin kuoriin, ja nostosta aiheutuvat rasitukset jakaantuvat tasaisesti betoniin. Vaakasuuntaiset puristusvoimat siirtyvät lenkin haarojen väliin hitsattuun tankoon. Kuvassa 10 on havainnollistettu nostolenkin staattinen malli, joka selventää nostolenkin toimintaa. (17;18)



KUVA10. PNLF- nostolenkin staattinen malli (17.)

Lenkkeinä voidaan käyttää eri valmistajien lenkkejä, mutta mitoituksessa on huomioitava kapasiteetit. Kun nostolenkin kokoa valitaan, tulee olettaa, että elementtiä nostetaan maksiminostokulmalla. Nostolenkeille on eri valmistajilta taulukoita, joissa on esitetty kullekin yleisesti käytössä olevalle nostolenkille eri nostokulmille sallitut maksimikuormat. Maksimikuorma tarkoittaa sallittua rasitusta, joka voidaan kohdistaa yhdelle nostolenkille. Taulukossa 5 on esimerkkinä Peikon PNLF-nostolenkin kestävyystaulukosta. (17.)

TAULUKKO 5. PNLF- nostolenkkien kapasiteetit eri nostokulmilla (17.)



	Max. weight [t]	Max. element weight with angle β			
		45°	60°	90°	120°
PNL F1	2,1	2,0	1,9	1,5	1,1
PNL F2	3,5	3,3	3,1	2,5	1,8
PNL F3	5,3	4,9	4,6	3,7	2,6
PNL F4	6,4	5,9	5,5	4,5	3,2
PNL F5	9,5	8,8	8,3	6,7	4,8
PNL F6	13,5	12,5	11,7	9,6	6,8

Kuljetuksesta ja nostosta esitetään ainakin seuraavat asiat elementtisuunnitelmissa (16, linkki Kuljetus ja Nostot):

- elementin painopisteen sijainti
- elementin paino
- sallitun nostokulman ja haarakulman arvot
- nostolenkit ja niiden sijainti mitoitettuna
- elementin vaadittu lujuus nostotilanteessa
- sallitut nostotavat, kääntötavat ja muut rajoitukset.

3.5.2 Väliaikainen tuenta

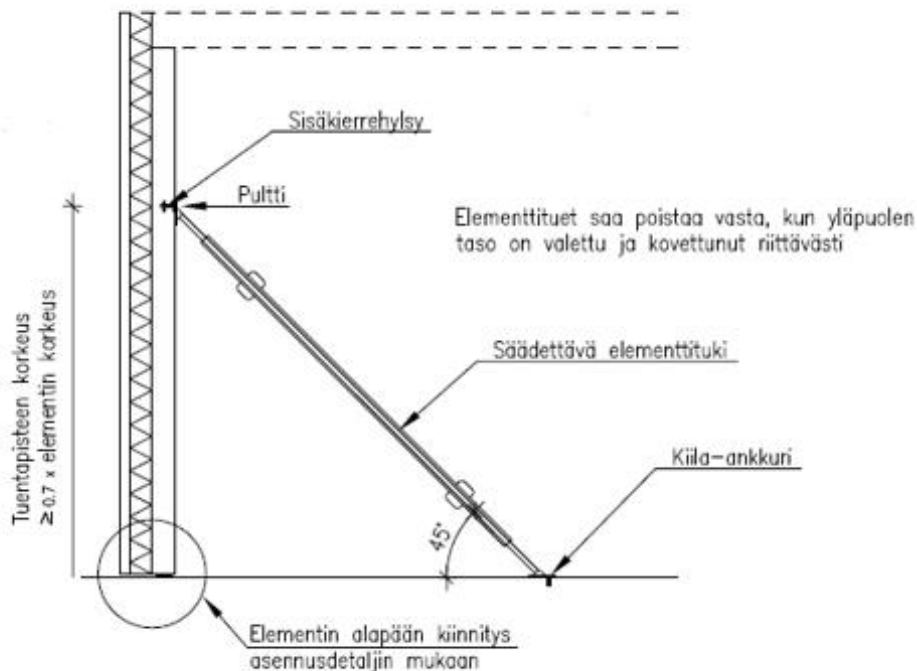
Elementtisuunnittelijan tulee sijoittaa seinäelementtiin valuankkureita, joiden avulla seinä tuetaan asennuksen jälkeen säädettävillä elementtituilla. Valuankkuri eli sisäkierteinen kiinnitysosa upotetaan usein muottipintaa vasten elementtiin ennen betonin kovettumista. Ankkurin sisäkierteiden välityksellä kuormat siirtyvät ympäröivään betoniin. (19.)

Yli 1,5 m leveiden elementtien tulee sisältää vähintään kaksi säädettävää elementtitukea. Tuentapisteen korkeuden tulee olla elementin painopisteen yläpuolella, mutta vähintään 0,7*elementin korkeus kuten kuvassa 11 näkyy. Tuentoihin saadaan käyttää ainoastaan siihen tarkoitettuja välineitä. Elementtikuvassa

tulee näkyä, mistä kohtaa elementti tuetaan asennuksen jälkeen. (8;) Valuankkureiden valmistajia on useita, mutta tunnetuin on hollantilaisen DEMUN valmistama VEMO-valuankkuri. Vemosta onkin tullut yleisnimitys valuankkureille, vaikka kapasiteetit vaihtelevat eri valuankkureiden valmistajilla, joka tulee ottaa huomioon suunnittelussa. (19.)

Ulkoseinäelementin asennusaikaisesta toiminnasta esitetään ainakin seuraavat asiat suunnitelmissa (16, linkki Kuljetus ja Nostot):

- väliaikaisten tukien kiinnityskohdat ja tavat
- väliaikaisten tukien käyttö ja purkuajankohta
- sallitut asennustoleranssit
- rungon stabiiliteettikuvaus
- vaatimukset liitoksien lujuuden kehitykselle ja sen seurannalle
- tukitankojen kiinnitys alapäässä maahan tai holviin
- selvitys hitsausmenetelmistä ja vaadittavasta tarkastuslaajuudesta ja menetelmistä
- vaatimukset hitsattaessa kylmissä ja kosteissa olosuhteissa.

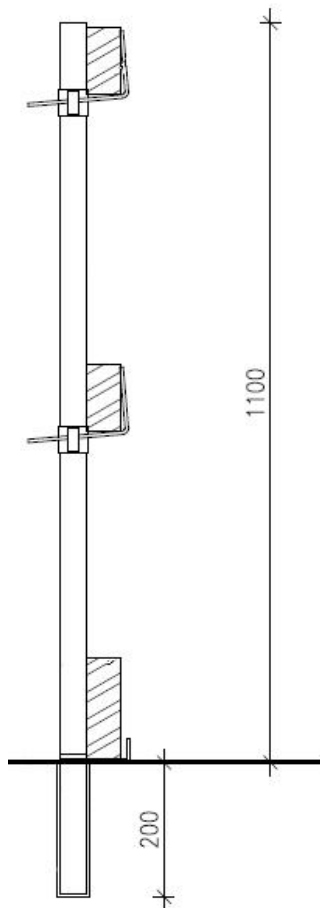


KUVA11 Sandwich-elementin väliaikaiseen tuentaan vaikuttavia asioita (9.)

3.5.3 Kaideholkit ja suojakaiteet

Kaideholkki voidaan sijoittaa elementissä joko ulkopintaan tai elementin eriste-kerrokseen. Jos holkki sijoitetaan ulkopintaan, tulee holkin ympärille lisätä tartuntateräkset, jottei betoni lohkeaisi kyseisestä kohdasta. Kaideholkkiin asennetaan työmaalla suojakaiteet. Kaideholkki tehdään ruostumattomasta kylmämuovatususta teräksestä ja sen yleisin koko on 50x50x3.

Suojakaide on asennettava silloin, kun putoamiskorkeus on yli 2 m. Kaiteen korkeuden tulee olla vähintään 1 m ja kaiteen välijohteen pystysuora vapaa tila ei saa olla suurempi kuin 0,5 m. Vaakasuorassa välijohteen pään ja seinän väliin jäävän raon leveys saa olla korkeintaan 0,25 m. (20.)



KUVA 12 Kaideholkkiin asennettavan suojakaiteen vähimmäiskorkeus (20.)

4 SISÄKUOREN MITOITUS RAKENNEOSITTAIN

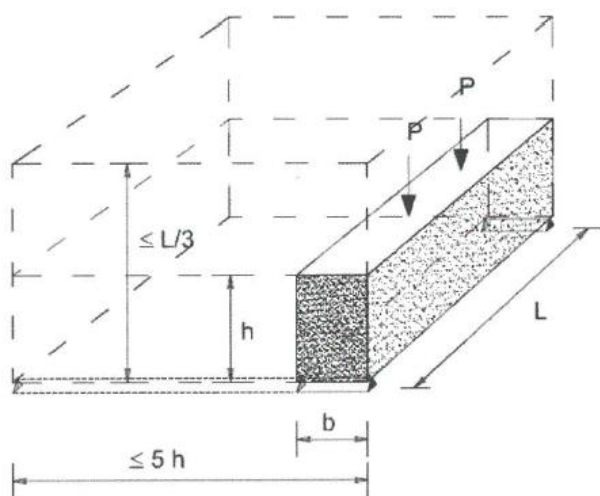
Tässä ohjeessa käydään läpi mitoituksen kulku vain pääpiirteittäin. Sisäkuoren raudoitteiden tyyppi on B500B ja rauditusverkkujen B500K. Pieliteräkset ovat yleensä 2T10 ja ne kulkevat koko elementin ympäri huomioiden myös aukkojen pielet. Jos seinäelementissä on pystysuuntaisia vetojännityksiä, jotka välitetään sauman yli, käytetään elementissä seinäkenkiä. Jos elementin pituus on yli 6 m, käytetään seinäkenkiä jatkuvan sortuman estämiseen. (13.)

Laskentaa varten selvitetään seuraavat tiedot:

- betonin ja raudoitusten lujuusluokat
- betonipeite
- rakenneosan poikkileikkauksen mitat
- rakenneosan korkeus/jänneväli
- pää- ja hakarauditus

4.1 Aukkopalkki

Palkin jännemitan L on oltava vähintään $3xh$, muuten se luokitellaan korkeaksi tai seinämäiseksi palkiksi. Myös palkin poikkileikkauksen leveys b on oltava pienempi kuin $5xh$. Jos rakenne on leveämpi, on kyseessä laatta. (21, s.90.)



KUVA 13 Palkin määrittely mittojen perusteella (21, s.83)

Palkkien vähimmäismitat määräytyvät palomitoituksesta. Taulukossa 6 on esitetty vapaasti tuettujen palkkien vähimmäismittoja ja terästen keskiöetäisyyksiä paloluokittain. (21, s.70)

TAULUKKO6. Palkin vähimmäismittoja ja terästen keskiöetäisyyksiä paloluokittain (21, s.70)

Standardi-palonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)						
	Keskimääräisen keskiöetäisyyden a ja palkin leveyden b_{min} mahdolliset yhdistelmät				Uuman paksuus b_w		
					Luokka WA	Luokka WB	Luokka WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{min} = 80$ $a = 15^*$	160 12*			80	80	80
R 60	$b_{min} = 120$ $a = 25$	200 12*			100	80	100
R 90	$b_{min} = 150$ $a = 35$	250 25			110	100	100
R 120	$b_{min} = 200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120
R 180	$b_{min} = 240$ $a = 60$	400 50	550 50	600 40	150	150	140
R 240	$b_{min} = 280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	170	170	160
$a_{sd} = a + 10$ mm (ks. alla olevaa huomautusta)							
<p>Jännebetonipalkkien osalta otetaan huomioon keskiöetäisyyden suurentaminen kohdan 5.2. (5) mukaisesti. a_{sd} on nurkkatankojen (tai -jänteen tai -langan) keskiöetäisyys palkin sivulta, kun rauditus on yhdessä kerroksessa. Uuman paksuuden b_{min} ollessa sarakkeen 3 mukaista arvoa suurempi ei keskiöetäisyyttä a_{sd} tarvitse suurentaa.</p> <p>* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä raudituksen betonipeite on määräävä.</p>							

Palkille tuleva rauditus koostuu niin pituussuuntaisista pääteräksistä ja poikittaissuuntaisista umpihaoista. Pääteräksiset toimivat taivutusraudoituksena ja ne tulevat lähelle palkin vedettyä pintaa taivutusmomentin mukaisesti. Haat puoles-

taan ottavat vastaan palkin leikkausta ja ne ovat kohtisuorassa palkin pituusakseliin nähden. Hakojen avulla palkki saa riittävän leikkauskestävyyden. (21, s.56)

Palkin tuentatapa on tutkittava tapauskohtaisesti. Tämä laskelma perustuu yleisimpään tapaukseen, jossa palkki voidaan mitoittaa päistään jäykästi tuettuna yksiaukkoisena palkkina. Mitoitusprosessi alkaa momentin laskemisesta. (22, s.4)

Mitoitusmomentti lasketaan tuella eli palkin yläpinnassa kaavalla 1

$$M_{ed} = \frac{q_d * l^2}{12} \quad \text{KAAVA 1}$$

Tämä on määräävämpi tapaus.

Kentässä eli palkin alapinnassa puolestaan momentti lasketaan kaavalla 2

$$M_{ed} = \frac{q_d * l^2}{24}, \quad \text{KAAVA 2}$$

l=palkin pituus

q_d=palkin päälle tulevan tasaisen viivakuormituksen mitoitusarvo.

Mitoitusmomentin tunnettua saadaan laskettua suhteellinen momentti, joka lasketaan kaavalla 3

$$m = \frac{M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}} \quad \text{KAAVA 3}$$

b=palkin leveys

d=palkin tehollinen korkeus.

$$f_{cd} = \text{betonin puristuslujuuden mitoitusarvo} \quad f_{cd} = \frac{0,85 * f_{ck}}{1,5}.$$

Palkin sisäinen momenttivarsi lasketaan kaavalla 4

$$z = d * \left(1 - \frac{1 - \sqrt{1 - 2m}}{2}\right) \quad \text{KAAVA 4}$$

Mitoitusmomentin ja momenttivarren laskemisen jälkeen saadaan palkille laskettua vaadittu vetoterästen poikkipinta-ala kaavalla 5

$$A_s = \frac{M_{ed}}{z * f_{yd}} \quad \text{KAAVA 5}$$

f_{yd} = 435MPa teräslaadun ollessa B500B.

Palkin leikkausraudoitusta varten tulee laskea palkille mitoitusleikkausvoima, joka saadaan laskettua seuraavalla kaavalla 6

$$V_{ed} = \frac{q_d * l}{2} \quad \text{KAAVA 6}$$

Kaava pätee yksiaukkoiselle palkille.

Palkin mitoitusleikkausvoiman tunnettua saadaan laskettua palkin leikkausraudoituksen pinta-ala. Se lasketaan seuraavalla kaavalla 7

$$A_{sw} = \frac{V_{ed}}{z * f_{ywd} * \cot \alpha} \quad \text{KAAVA 7}$$

Pinta-alan vähimmäisarvo saadaan laskettua kaavalla 8

$$A_{sw.min} = \frac{0,08 * s * b * \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad \text{KAAVA 8}$$

s= leikkaushakojen k/k jako

Vetoteräksset tulee ankkuroida tuella ja niille lasketaan ankkurointipituus kaavalla 9

$$l_{b,rqd} = \frac{j}{4} * \frac{s_{sd}}{f_{bd}} \quad \text{KAAVA 9}$$

s_{sd} = teräsjäännitys (yleensä valitaan $s_{sd} = f_{yd} = 435 \frac{N}{mm^2}$.)

f_{bd} = harjateräksen tartuntalujuus, joka lasketaan kaavalla 10

$$f_{bd} = 2,25 * h_1 * h_2 * f_{ctd} \quad \text{KAAVA 10}$$

$h_1 * h_2 = 1$ kun teräksen halkaisija $j \leq 32\text{mm}$ ja raudoitustangon tartuntaolosuhteet betoniin ovat hyvät

4.2 Pielipilari

Pilarin poikkileikkauksen suurempi sivumitta on enintään 4 kertaa pienempi sivumitta. Jos sivusuhte on suurempi, rakennetta tarkastellaan seinänä. Kantavan pielen jatkuessa vierekkäisissä elementeissä, ei yksittäisiä pieliä tulkita pilariksi pielen yhteisleveyden ylittyessä $4 \cdot h$. Myös kantavan pielen liittyessä jäykistävään seinään, ei pieltä tarvitse vahvistaa pilariksi. Tällöin pitää elementtien saumana olla raudoitettu vaarnasauma. (22, s.6;23, s.97–139.)

Pilarien vähimmäismitat tulevat palomitoituksesta. Taulukossa 7 on esitetty pilarien vähimmäismittoja ja terästen keskiöetäisyyksiä paloluokittain. (24, s.49)

TAULUKKO 7 (24, s.49)

Standardi-palon-kestävyys	λ	Vähimmäismitat (mm) Pilarin leveys b_{min} /keskiöetäisyys a			
		Pilari altistunut useammalta kuin yhdeltä sivultaan			
		$n=0,15$	$n=0,3$	$n=0,5$	$n=0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	70	150/25*	150/25*	250/25*	300/25*
	80	150/25*	200/25*	250/30:300/25*	350/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	200/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	50	150/25*	200/25*	250/25*	300/25
	60	150/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*	350/30:400/25*
	70	200/25*	250/30:300/25*	300/40:350/25*	450/35:550/25*
	80	200/30:250/25*	250/40:300/25*	400/30:450/25*	550/60:600/35
R 90	30	150/25*	200/25*	200/50:250/25*	250/30:300/25*
	40	150/35:200/25*	200/30:250/25*	250/25*	300/25
	50	200/25*	250/25*	300/25*	350/50:400/25*
	60	200/35:250/25*	250/40:300/25*	350/35:400/25*	450/50:550/25*
	70	250/25*	300/35:350/25*	400/45:550/25*	600/40
	80	250/30:300/25*	350/35:400/25*	550/40:600/25*	(1)
R 120	30	200/25*	250/25*	250/25*	300/45:350/25
	40	250/25*	250/25*	300/25*	400/25*
	50	250/25*	300/25*	350/50:400/25*	450/50:500/25*
	60	250/25*	350/25*	450/400:500/25*	550/50
	70	250/50:300/25*	400/25*	500/60:550/25*	(1)
	80	300/25*	450/40:500/25*	600/45	(1)
R 180	30	250/25*	250/25*	350/25*	400/50:450/25*
	40	250/25*	300/30:350/25*	400/25*	450/50:500/25*
	50	250/50:300/25*	350/50:400/25*	450/40:500/25*	550/60:600/35
	60	300/40:350/25*	450/25*	550/40:600/25	(1)
	70	350/30:400/25*	500/25*	600/80	(1)
	80	400/30:450/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
R 240	30	250/25*	350/25*	450/25*	500/40:550/25*
	40	300/25*	400/25*	500/25*	600/25*
	50	350/25*	450/25*	550/50:600/25*	(1)
	60	400/25*	500/60:550/25*	600/80	(1)
	70	450/25*	600/25*	(1)	(1)
	80	500/25*	600/80	(1)	(1)

* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeite on määräävä.

(1) Edellyttää yli 600 mm leveyttä. Erityinen nurjahdustarkastelu edellytetään.

Pilarille tuleva raudoitus koostuu pääteräksistä ja umpihaoista. Pääteräkset tulevat yleensä pilarin nurkkiin, mutta mahdollisimman lähelle ulkosivuja. Haat tulevat pilarin koko matkalle ja monesti tihennetyllä jakovälillä pilarin päihin. Tihennys tulee pilarin poikkileikkauksen suuremman sivumitan matkalla mittaan käytämällä kerrointa 0,6. Ne estävät päätankojen nurjahtamisen ja pituussuuntaisen halkeilun. (21, s.58)

Pilariin saattaa syntyä suuria rasituksia, jotka ylittävät laskennallisen kestävyysden. Kestävyttä voidaan lisätä muuttamalla seinän aukotusta, kasvattamalla pielipilarin leveyttä tai käyttämällä ohuempaa lämmöneristettä, jolloin sisäkuori vahvenee. (4, linkki Ikkunapilarien suunnittelu)

Pilarit voidaan mitoittaa kahdella eri tavalla. Mitoitukset poikkeavat 2.kertaluvun laskennassa. Tässä käytetään nimellisen kaarevuuden menetelmää. Laskenta alkaa aina normaalivoiman mitoitusarvon N_{Ed} laskennasta, jonka jälkeen pilarin päihin lasketaan momentit, jotka aiheutuvat vaakakuormista eli mm. tuulikuormasta. Tämän jälkeen määritellään minimimomentti kaavalla 11 (23, s.124)

$$M_{Ed, \min} = N_{Ed} * \max \begin{cases} h / 30 \\ 20mm \end{cases} \quad \text{KAAVA 11}$$

Määritellään nurjahduspituus ja vinous. Pilarin nurjahduspituus on sama kuin pilarin pituus, koska pielipilari ajatellaan päistään nivellisesti kiinnitettynä. Eli $l_0=l$, jolloin kyseessä on Eulerin nurjahdustapaus 2. Vinous lasketaan kaavalla 12

$$q_1 = q_0 * a_h * a_m \quad \text{KAAVA 12}$$

q_0 = perusarvo, 1/200

a_h = rakenteen korkeuteen perustuva pienennyskerroin, joka lasketaan kaavalla 13

$$a_h = \frac{2}{\sqrt{\frac{l}{m}}} \quad \text{KAAVA 13}$$

$m=1$

a_m = rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin, jonka arvona käytetään 1 pilarin ollessa erillisosana.

Seuraavana lasketaan rasitetumman pään korjattu momentti kaavalla 14

$$M_{02} = N_{Ed} * e_i * a_m, \text{ jota merkataan jatkossa } M_{02} = M_{0Ed} \quad \text{KAAVA 14}$$

Tämän jälkeen määritetään hoikkuus ja sen raja-arvo. Kun hoikkuus ylittää sen raja-arvon tulee laskea 2.kertaluvun momentti. 2 kertaluvun vaikutuksilla tarkoitetaan muodonmuutostilan aiheuttamia rasituksia, minkä vuoksi sen laskennassa täytyy huomioida myös viruma. Hoikkuus lasketaan kaavalla 15

$$I = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\frac{h}{\sqrt{12}}} \quad \text{KAAVA 15}$$

Hoikkuuden raja-arvo puolestaan lasketaan kaavalla 16

$$I_{lim} = 20 * A * B * C * \frac{1}{\sqrt{n}} \quad \text{KAAVA 16}$$

$$A=0,7$$

$$B=1,1$$

$$C= 1,7-r_m, \text{ jossa } r_m \text{ saadaan momenttien suhteesta } M_{01}/M_{02}$$

n = suhteellinen normaalivoima, joka lasketaan kaavalla 17

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}} \quad \text{KAAVA 17}$$

A_c = pilarin poikkileikkauksen pinta-ala

2.kertaluvun vaikutukset lasketaan nimellisen kaarevuuden menetelmällä, koska kyseessä on muuttumaton poikkileikkaus ja symmetrinen rakenne. Kaarevuus saadaan kaavalla 18

$$\frac{1}{r} = K_r * K_j * \frac{1}{r_0} \quad \text{KAAVA 18}$$

K_r = korjauskerroin, mikä riippuu normaalivoimasta.

K_j = viruman huomioon ottava kerroin. Molemmille käytetään aluksia arvoa 1.

$1/r_0$ = kaarevuuden perusarvo, mikä saadaan kaavasta 19

$$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0,45d} \quad \text{KAAVA 19}$$

e_{yd} = Raudoituksen myötövenymä, joka lasketaan kaavalla 20

$$e_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad \text{KAAVA 20}$$

E_s = betoniteräksen arvo 200 GPa

Taipuma lasketaan kaavalla 21

$$e_2 = \frac{1}{r} * \frac{l_0^2}{c} \quad \text{KAAVA 21}$$

c = kokonaiskaarevuuden jakautumasta riippuva kerroin. Arvona käytetään 10, kun on vakio poikkileikkaus.

Tämän jälkeen saadaan laskettua 2.kertaluvun momentti kaavalla 22

$$M_2 = N_{Ed} * e_2 \quad \text{KAAVA 22}$$

Jonka jälkeen valitaan mitoitusmomentiksi maksimi kolmesta seuraavasta:

$$M_{Ed} = \max \begin{cases} M_{02} \\ M_{oEd} + M_2 \\ M_{Ed, \min} \end{cases}$$

Mitoitetaan poikkileikkauksen raudoitus käyrästöjen avulla. Tätä varten tulee laskea suhteelliset voimasuureet. Suhteellinen normaalivoima laskettiin jo aiemmin ylhäällä kyseisellä kaavalla 23

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

KAAVA 23

Suhteellinen taivutusmomentti puolesta lasketaan seuraavasti kaavalla 24

$$m = \frac{M_{Ed}}{A_c * f_{cd}}$$

KAAVA 24

Käyrästä valitaan arvon $\frac{d'}{h} = \frac{c_{nom} + 1,1f_t + (1,1f_L / 2)}{h}$ perusteella

Käyrästä saadaan arvo W .

Lopuksi lasketaan vaadittu rauditusala kaavalla 25

$$A_{s,vaad} = W * b * h * \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

KAAVA 25

Lopuksi vielä tehdään korjauskertoimien tarkistus.

Hakaraudoituksen eli leikkausraudoituksen hakojen halkaisija valitaan kahdesta seuraavasta

$$f_{t,min} = \max \begin{cases} 6mm \\ 0,25f_L \end{cases}$$

f_L = pääraudoituksen halkaisija

Hakaväli valitaan pienin kolmesta seuraavasta

$$s_{cL,t,max} = \min \begin{cases} 15f_L \\ 400mm \\ \text{pilarin _ pienin _ sivumitta} \end{cases}$$

4.3 Seinä

Seiniä tarkastellaan puristettuina rakenteina, jotka välittävät pystykuormia. Seinän leveyden tulee olla suurempi kuin 4 kertaa paksuus. Lisäksi pituuden pitää olla pienempi kuin 3 kertaa seinän korkeus. Seinille tuleva kuormitus on hyvin vähäinen, jolloin seinät tehdään joko raudoittamattomina tai minimiraudoituksella. Seinien ohuempi suunta on yleensä jäykistetty ja tuenta oletetaan suunnittelussa nivelelliseksi. (23, s.160)

Seinien vähimmäismitat palokestävyyden kannalta ovat esitetty kahdessa eri taulukossa. Taulukossa 8 on esitetty osastoiville, ei-kantaville seinien vähimmäispaksuudet ja taulukossa 9 on kantavien seinien paksuus- ja keskiöetäisyysvaatimukset. (22, s.72)

TAULUKKO8. Ei-kantavien osastoivien betoniseinien vähimmäispaksuuksia palonkestoajan mukaan (22, s.72)

Standardi-palonkestävyys	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

TAULUKKO9. Kantavan seinän palonkestoajat seinän hyväksikäyttöasteen, seinän paksuuden ja raudoitteiden keskiöetäisyyden mukaan. (22, s.72)

Standardi-palonkestävyys	Vähimmäismitat (mm)			
	Seinän paksuus / keskiöetäisyys			
	$\mu_R = 0,35$		$\mu_R = 0,7$	
	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolilta	altistus toiselta puolelta	altistus molemmilta puolilta
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Tavallisesti standardin EN 1992-1-1 edellyttämä betonipeliteen paksuus on määräävä.
Ks. kohdasta 5.3.2 (3) hyväksikäyttöasteen μ_R määrittelemää.

Seinien raudoitus koostuu vaaka- ja pystyraudoituksesta, jotka ovat betonipeitekerroksen verran seinän ulkopinnasta. Seinissä raudoitusmäärät ovat yleensä melko vähäiset ja silloin riittää suunnitteluohjeiden mukainen vähimmäisraudoitus molemmissa pinnoissa. Nämä raudoitusmäärät on helpoin toteuttaa verkoilla. (23, s.160)

Seinien mitoitus tehdään pilarin tavoin, mutta se vaatii vähemmän työtä. Seinä on pilariin nähden yksinkertaisempi jäykistetty rakenne ja mitoitusta ei tarvitse tehdä kuin yhdelle suunnalle. Nurjahduspituus määritetään samalla tapaa kuin pilareille. Tuenta ajatellaan molemmista päistä nivellelliseksi, jolloin $l_0 = l$. Ensimmäisen kertaluvun vaikutuksissa otetaan huomioon rakenteen mittaepätarkkuudet ja kuormien epäedullinen sijainti. Vaadittu raudoitusala saadaan pilarin yhteisvaikutusdiagrammin avulla. (23, s.159)

Jos elementti kestää raudoittamattomana, ei elementtiin laiteta ollenkaan raudoitusverkkoja tai reunahakoja, vaan pieliteräkset ja aukkopalkkien ja pielipilarien vaatimat raudoitukset. Seinät tehdään aina raudoittamattomina, jos se on mahdollista. Näin saadaan kustannuksia pienemmäksi. Raudoittamaton seinä sisältää raudoitusta, mutta se on niin vähäinen, ettei sitä tarvitse huomioida kestävyyslaskennassa. Raudoittamattomissa rakenteissa betonin lujuuskertoimet ovat pienemmät, koska murtumistapa muuttuu hauraaksi ilman raudoitusta. (23, s.173)

Raudoittamattomalla seinällä betonin puristuslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 26

$$f_{cd} = \frac{a_{cc,pl} * f_{ck}}{g_c} = \frac{0,8 * a_{cc} * f_{ck}}{g_c} \quad \text{KAAVA 26}$$

Tässä työssä tarkastellaan raudoittamattoman seinän mitoitusta vain puristukselle. Tällöin käytetään yksinkertaistettua menetelmää, jossa normaalivoimakestävyys lasketaan kaavalla 27

$$N_{Rd} = b * h_w * f_{cd,pl} * f \quad \text{KAAVA 27}$$

$f_{cd,pl}$ = puristuslujuuden tehollinen mitoitusarvo

f = epäkeskisyyden huomioiva kerroin, jossa ovat mukana niin toisen kertaluvun kuin viruman vaikutukset

$$e_0 = \max \begin{cases} M_d / N_{Ed} \\ h / 30 \\ 20mm \end{cases}$$

5 SUUNNITTELUOHJE

Suunnitteluohjeeseen koottiin opinnäytetyössä käytyjä asioita tiiviiseen pakettiin. Samalla siihen määriteltiin sandwich-elementin vakioratkaisut, joita käytetään eniten suunnittelussa. Suunnittelija löytää ohjeesta koottuna kaiken sen, mitä elementin suunnittelu vaati.

Ohje koottiin Word:llä yhdeksi dokumentiksi, jonka ratkaisuja voidaan hyödyntää monessa tulevassa projektissa. Tarvittaessa suunnittelija voi etsiä lisätietoa käytetyistä lähteistä.

5.1 Yleiset suunnitteluperusteet ja varusteluosat

Ohjeeseen määriteltiin vakioratkaisut sisä- ja ulkokuorelle taulukkomuotoon. (Taulukko 10.) Myös elementin suositeltava koko ja maksimikoko määriteltiin kuljetuksen ja elementin valmistuksen kannalta yksinkertaiseen taulukkomuotoon, josta koot ovat selkeästi nähtävillä.

TAULUKKO 10. Sisäkuoren vakioratkaisut

Lujuusluokka	C25/30
Rasitusluokka	XC1
Terästen suojaetäisyys	20 mm
Paloluokka	R60
Suunniteltu käyttöikä	100 v
Raudoitteiden tyyppi	T=B500B, #=B500K
Valmistustoleranssi	Normaaliluokka

Eurokoodista kerättiin tietoa, mistä muodostuu sandwich-elementin vähimmäispaksuus ja betonipeitteen vähimmäisarvo. Näistä kirjattiin esimerkit, joista suunnittelija saa paremman kuvan. Jokaisen suunnittelijan tulisi tietää, mistä kyseinen arvo aina johtuu, ja osata etsiä myös lisää tietoa lähteestä.

Ohjeessa kerrottiin lämmöneristeen valinnasta ja eri lämmöneristeiden vaikutuksista, sekä asioita joita niistä tulee huomioida. Lämmöneristeen vakioratkaisu määriteltiin ohjeeseen. Elementin toleranssiluokista muodostettiin taulukko, johon merkattiin normaaliluokan mitat keltaisella värillä. Taulukko on esitetty tässä työssä toleranssiluokkien kohdalla. Toleranssit oli suunnitteluohjeeseen vain taustatietoa suunnittelijoille, jotta he tietäisivät mistä kyseiset mitat tulevat suunnitteluun.

Pintakäsittelyistä rajattiin käytettäväksi A-luokkaa sandwich-elementeillä. Tässä osiossa kerrottiin laajemmin muutamista yleisistä pinnoista, joita yleensä käytetään, ja joista jokaisen suunnittelijan olisi hyvä tietää.

Valutarvikkeista kerrottiin yleisiä ratkaisuja, mitä kukin valmistaja valmistaa ja mitä ratkaisuja kannattaa käyttää sandwich-elementissä. Laskennan kannalta laitettiin linkki suoraan yrityksen aikaisemmin tehtyihin laskentapohjiin.

5.2 Rajaukset

Laskelmia varten tehtiin rajauksia, jotka perustuivat tyypillisimpiin asuinrakennusten sandwich-elementteihin. Pyrittiin saamaan aikaan mahdollisimman määrääviä kuormitustapauksia, jotka pätevät useimmissa tapauksissa.

Ohjeessa mitoitettiin ainoastaan sisäkuorta rakenneosittain, koska tyypillisin sandwich-elementin toimintatyyppi on kantava sisäkuori. Muita rajauksia laskelmia varten oli:

- Elementin korkeus 3 m
- Sisäkuoren betonin lujuus C25/30
- Rasitusluokka XC1
- Tuulikuorman aiheuttama momentti 5 kNm
- Paloluokka REI60
- Betonipeitteen arvo $c_{nom}=20$ mm.
- Raudotteet B500B ja B500K.

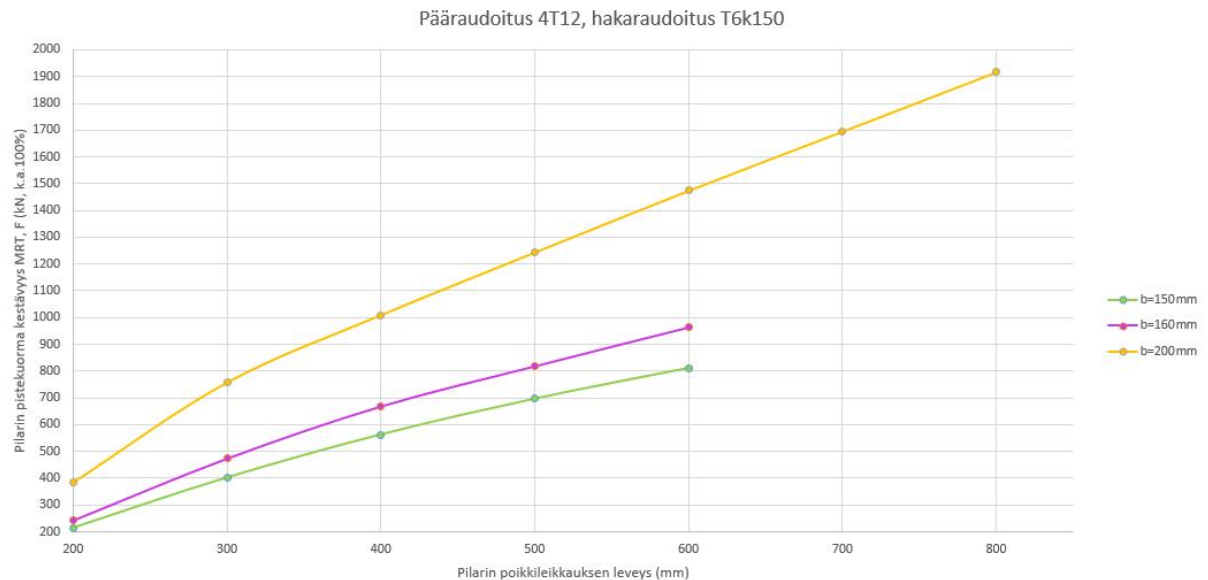
Ulkokuoreen kohdistuu hyvin pienet kuormat, joten siihen laitettiin minimiraudointus halkeilua vastaan. Sen ainoa tehtävä on välittää tuulikuormat sisäkuorelle.

Pelkästään omaa painoa varten ulkokuorta ei tarvitse raudoittaa. Ulkokuoren raudoitukset ovat ruostumattomia B600KX. Keskellä sijaitsevan verkon lisäksi ulkokuorelle tulee pieliteräkset, jotka estävät halkeamien leveyden kasvua reunoissa.

5.3 Laskelmat

Kestävydet laskettiin erilaisten laskentapohjien avulla. Laskennassa käytettiin muun muassa SKOL:n Excel-pohjia sekä Mathcad:llä tehtyjä pohjia. Laskelmat tehtiin aina kahteen kertaan eri pohjilla, jotta varmistuttiin tulosten luotettavuudesta.

Pielipilarille tehtiin neljä erilaista viivadiagrammia. Kullekin diagrammille valittiin tyypillisin pilarin raudoitus. Kuvassa 14 on esitetty tuloksena syntynyttä kuvaajaa. Yhdellä diagrammilla on kolme eri viivaa, joiden muuttujana on sandwich-elementin paksuus. Paksuuksiksi valittiin 150 mm, 160 mm ja 200 mm, ja laskennassa kuormien epäkeskisyydeksi rajattiin 20 mm. Diagrammista näkee aina maksimikestävyuden kyseiseen kohtaan.



KUVA 14. Kestävyyskuvaaja

Ohjeen aukkopalkit sisälsivät seitsemän erilaista viivadiagrammia. Niissä viivan muuttujana oli palkin korkeus. Korkeuden olivat 100 mm:n välein alkaen 200

mm:stä ja päättyen 700 mm. Aukkopalkin kestävyysdiagrammit ovat samantyyli-
set kuin edellä esitetty pielipilarin diagrammi.

Seinän kestävyys laskettiin ainoastaan minimiraudoitukselle. Rakennetta ei las-
kettu raudoittamattomana, koska sisäkuorelle aiheutuu aina kuormaa ulkokuo-
relta, ja rakenne ei kestä ilman raudoitusta. Verkon ja hakojen lisäksi seinässä
kiertää reunoilla pieliteräkset 2T10. Tulokset koottiin taulukkomuotoon. Lasken-
nassa kuormien epäkeskisyydeksi rajattiin 20 mm.

5.4 Mallipiirustus

Liitteeksi syntynyt mallipiirustus tehtiin Tekla Structures-ohjelmalla. Ensin mal-
linnettiin tyypillisin mitoin elementti raudoituksineen ja valuosineen. Sen jälkeen
luotiin piirustus, johon laitettiin elementin valmistuksen kannalta kaikki mitat. Ku-
van perusteella suunnitelmista saadaan yhden mukaisia, olipa suunnittelijana
kuka tahansa. Mallielementti viimeisteltiin viimeisenä osana raporttia valmiiksi,
jotta kaikki muutokset tuli huomioitua.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytteen tavoitteena oli perehtyä sandwich-elementin suunnitteluun, ja laatia siitä mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen suunnitteluohje. Ohjeen tarkoituksena oli nopeuttaa ja parantaa sandwich-elementin suunnittelu-prosessia, kun tarvittava tieto oli koottu samaan paikkaan.

Opinnäytetyö aloitettiin perehtymällä elementtipiirustuksiin ja elementin mallintamiseen Tekla Structures-ohjelmalla. Näiden avulla saatiin käsitys, mitä kaikkea sandwich-elementti sisältää, ja kuinka paljon asioita tulee ottaa huomioon. Suunnittelijoilta tiedusteltiin eri valutarvikkeiden valmistajia, ja mitä ratkaisuja on yleensä käytetty. Työssä pohdittiin sandwich-elementin kannalta tärkeimpiä ratkaisuja, ja perehdyttiin teknisiin käyttöohjeisiin. Vastauksien perusteella työhön rajattiin perusratkaisuja. Seinän rakenneosien mitoitukseen perehdyttiin yksi osa kerrallaan eurokoodin ja laskentaesimerkkien avulla. Laskelmat tehtiin erilaisilla laskentapohjilla, joihin oli valmiiksi määriteltä rakenneosan pääraudoitus. Kestävyyksistä luotiin viivadiagrammeja ja taulukoita, joista näkyy rakenneosan maksimikestävyys.

Lopputuloksena syntyi yksityiskohtainen ohje, josta yrityksen aloittelevat ja kokeneemmatkin suunnittelijat saavat apuvälineen sandwich-elementin suunnitteluun. Ohjeen avulla kokematonkin suunnittelija saa käsityksen sandwich-elementin suunnittelusta, ja pystyy hyödyntämään ohjetta suunnittelun työkaluna.

Elementtisuunnittelusta minulla oli vain kahden kuukauden kokemus, joten työssä pääsin perehtymään seinän rakenneosien mitoitukseen, elementtien varusteluosien tarkempaan tarkasteluun ja elementtien työturvallisuuteen. Koulun aikana emme perehtyneet näin tarkasti seinän mitoitukseen tai elementtisuunnitteluun, joten työ toi paljon uutta asiaa. Opinnäytetyö oli erittäin opettavainen ja hyödyllinen jatkoa ajatellen.

LÄHTEET

1. Sandwichjulkisivujen suunnittelu. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/sandwichjulkisivut>. Hakupäivä 11.11.2016.
2. Neuvonen, Petri 2006. Kerrostalot 1880–2000. Helsinki: Rakennustieto.
3. Betonijulkisivut 2007. Helsinki: Suomen betonitieto
4. Julkisivuelementtien suunnittelu. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/julkisivuelementtien-suunnittelu>. Hakupäivä 12.12.2016.
5. Betonirakenteiden käyttöäsuunnittelu 2007. BY51. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
6. Betoninormit 2016. BY65. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
7. Eurocode. Saatavissa: http://eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf. Hakupäivä 5.3.2017
8. Julkisivujen lämpö- ja kosteustekniikka. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>. Hakupäivä 4.1.2017.
9. Betonirakentamisen laatuohjeet 2013. BY47. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
10. Betonirakenteiden pinnat: luokitusohjeet 2003. BY40. Helsinki: Suomen betonitieto.
11. Diagonaaliansaat. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections. Saatavissa: <http://www.peikko.fi/product-fi/p=PD-diagonaaliansaat>. Hakupäivä 30.1.2017
12. Vaijerilenkit. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections. Saatavissa: <http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=9860&org=2&chk=fd4ade16>. Hakupäivä 30.1.2017

13. Normikortti 23. Saatavissa: http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec.pdf s.30. Hakupäivä: 5.3.2017
14. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010303.pdf> . Hakupäivä: 5.3.2017
15. Welda-kiinnityslevyt. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections. Saatavissa: <http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=66716&org=2&chk=e082d6a6> . Hakupäivä: 31.1.2017
- 16.Elementtien rakenteellinen toiminta. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/rakenteellinen-toiminta> . Hakupäivä: 31.1.2017
- 17.PNLF-nostolenkki. Tekninen käyttöohje. Peikko Concrete connections. Saatavissa <http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=19653&org=2&chk=3a41a026> .Hakupäivä 1.2.2017.
- 18.Nostolenkit. Nostolenkki-esite. Pintos Oy. Saatavissa: <http://www.pintos.fi/tuotteet/raudoitteellisuuteen/nostolenkit>. Hakupäivä 1.2.2017.
- 19.Vemo. Tekninen käyttöohje. Semtu. Saatavissa: https://www.semtu.fi/files/1414/5768/0069/VEMO_-kayttoohje_081215.pdf . Hakupäivä 1.2.2017
20. Turvakaide. Tekninen käyttöohje. Vepe. Saatavissa: http://www.vepe.fi/files/Tiedostopankki/PDF%20Tiedostot/Rakennustuotteet/Turvakaide/50676_Pinta-asenteinen%20kaide.PDF. Hakupäivä 1.2.2017
21. Nykyri, Pekka 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1 by 211. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
22. Runko-BES julkaisu 10. 1983. Helsinki: Suomen betoniteollisuuden Keskusjärjestö.
23. Nykyri, Pekka 2014. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2 by 211. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
24. Suunnitteluohje EC2 osa 1-2 BY 60. 4.korjattu painos, helmikuu 2009. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry

LIITTEET

Liite 1 Sandwich-elementin suunnitteluohje	(Ei julkinen)
Liite 2 Mallipiirustus	(Ei julkinen)