

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Kalle Rautaporras

## **Teräsbetonipilarin ja –palkin liitoksen mitoitus**

Opinnäytetyö 2015

## Tiivistelmä

Kalle Rautaporras

Teräsbetonipilarin ja – palkin liitoksen mitoitus, 52 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: lehtori DI Petri Himmi, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja

DI Tarmo Eloranta, Päijät-Suunnittelu Oy, DI Jussi Suontama, Päijät-

Suunnittelu Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia betonipilarin ja betonipalkin liitoksen mitoitusta. Tavoitteena oli myös luoda työn tilaajalle Excel-pohjainen laskenta-alusta eurokoodipohjaisesta betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoituksesta, josta saisi myös tarvittavat laskelmat ulos tulosteena. Työn tilaajana toimi Päijät-Suunnittelu Oy.

Työn alussa keskitytään eurokoodin mukaisiin kuormituksiin ja kuormitusyhdistelmiin sekä rajatilamitoitukseen. Tästä päästään esimerkkiliitoksen mitoitukseen, joka sisältää tappivaarujen mitoituksen ja neopreenilaakerin mitoituksen. Tämän jälkeen käydään läpi eurokoodin mukaista ristikkomenetelmää, jonka avulla mitoitetaan betonikonsoli ja lovipääpalkki.

Työn tuloksena tilaajalle tuotettiin Excel-laskenta-alusta betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoituksesta sekä neopreenilaakerin mitoituksesta. Näiden avulla tilaaja pystyy mitoittamaan yksinkertaisen lovipääpalkin ja betonikonsolin.

Asiasanat: liitos, betonikonsoli, lovipääpalkki, ristikkomenetelmä

## **Abstract**

Kalle Rautaporras

Calculation of Concrete column and beam joint, 52 Pages, 3 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Specialisation in Building Structures Design

Bachelor's Thesis 2015

Instructors: Mr Petri Himmi, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr Tarmo Eloranta, CEO of Päijät-Suunnittelu Oy, Mr Jussi Suontama, Master of Science, Päijät-Suunnittelu Oy

The main goal of this thesis was to study joints between concrete columns and beams. Also one of the goals was to create Excel based calculator about concrete corbel and concrete beam with notch. This thesis was commissioned by Päijät-Suunnittelu Oy.

The beginning focuses on loads and combinations of loads and limit state calculating. Then the thesis continues by calculation of example joint between concrete column and beam which includes also neoprene sheet rubber calculations. After that comes information about strut-and-tie modelling which is needed when calculating concrete corbel and beams with notch.

With the results of this thesis Päijät-Suunnittelu Oy got Excel based calculator about concrete corbel and concrete beam with notch and they also got calculator which calculate neoprene sheet rubbers. With these Päijät-Suunnittelu is able to calculate simple concrete corbel and beams with notch.

Keywords: Connections, concrete corbel, beams with notch, strut-and-tie modelling

## Sisälllys

1	Johdanto .....	5
2	Päijät-Suunnittelu Oy .....	6
3	Liitosten kuormat ja kuormitukset .....	6
3.1	Rakenteiden pysyvät kuormat.....	6
3.2	Rakenteiden hyötykuormat .....	7
3.3	Lumikuorma .....	8
3.4	Tuulikuorma .....	10
4	Kuormitusyhdistelmät .....	13
5	Rajatilat.....	16
5.1	Murtorajatila .....	17
5.2	Käyttörajatila .....	17
5.2.1	Käyttörajatiilojen kuormayhdistelmät.....	17
5.2.2	Ominaisyhdistelmä .....	17
5.2.3	Tavallinen yhdistelmä.....	18
5.2.4	Pitkäaikaisyhdistelmä .....	18
6	Liitosten mitoitustilanteet.....	18
7	Yleisimmät teräsbetonipilarin ja –palkin liitokset .....	19
7.1	Liitoksen mitoitus .....	20
7.1.1	Neopreenilaakerin mitoitus.....	20
7.1.2	Vaarnatapin ja tukipintojen mitoitus.....	23
7.1.3	Pilari–palkkiliitoksen elementtien putoamisen estäminen.....	26
8	Ristikkomenetelmä .....	28
8.1	Vetosauvat.....	30
8.2	Puristussauvat .....	31
8.3	Solmut.....	32
9	Betonikonsolin mitoitus .....	34
9.1	Solmu 2.....	35
9.2	Puristussolmu 1 .....	36
10	Lovipääpalkin mitoitus .....	39
10.1	Solmu $s_1$ .....	40
10.2	Solmu $s_2$ .....	40
10.3	Solmu $s_3$ .....	41
10.4	Solmu $s_4$ .....	43
10.5	Solmu $s_5$ .....	43
11	Mitoituksen analysointi.....	44
12	Yhteenveto ja pohdinta .....	48
	Taulukot.....	45
	Kuvat.....	45
	Lähteet.....	47

### Liitteet

- Liite 1 Neopreenilaakerin Excel-laskentapohjan tulosteet
- Liite 2 Betonikonsolin Excel-laskentapohjan tulosteet
- Liite 3 Lovipääpalkin Excel-laskentapohjan tulosteet

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena on käydä yleisimmän betonipilarin ja betonipalkin liitoksen mitoitus sekä lovipääpalkin ja betonikonsolin mitoitus eurokoodin mukaisesti ja tuottaa tilaajalle Excel-taulukkolaskenta-alusta. Excel-laskenta-alustan tavoitteena on tuottaa mahdollisimman selkeä ja yksinkertainen mitoituslaskenta-ohjelma, josta saadaan myös tilaajan tarvitsemat selkeät laskelmat tulosteena.

Työn tilaajana toimii insinööritoimisto Päijä-Suunnittelu Oy, jonka toimisto sijaitsee Lahden Paavolassa. Päijät-Suunnittelun toimialaan kuuluu kaikenlainen rakennesuunnittelu.

Opinnäytetyössä kerrotaan yleisesti tilaajasta sekä tilaajan toimialoista. Työssä esitetään liitosten mitoituksessa tarvittavat kuormitukset sekä näiden kuormitusyhdistelmät eurokoodipohjaisesti. Kuormitusten ja liitosten mitoitusolosuhteiden jälkeen päästään itse liitosten mitoitukseen. Liitosten mitoitus sisältää myös neopreenilaakerin mitoituksen, josta tehdään myös Excel-laskenta-alusta tilaajalle. Betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoitus tarkastellaan erikseen läpi. Lopuksi pohditaan opinnäytetyön tuloksia, eurokoodipohjaista mitoitusta ja opinnäytetyötä tehdessä ilmeneviä haasteita.

Koska opinnäytetyön pääpainopiste ei ole kuormituksissa, niin esimerkiksi eurokoodin mukaisesti määriteltävä tuulikuorma jo itsessään on pitkä prosessi, joten sitä on yksinkertaistettu.

## **2 Päijät-Suunnittelu Oy**

Päijät-Suunnittelu Oy on yksityinen rakennesuunnittelutoimisto, joka on perustettu Lahteen vuonna 1984. Alkujaan yritys toimi aluetoimistona Päijät-Hämeen alueella Ins.tsto Helander ja Nirkkonen Oy:lle. (1.)

Päijät-Suunnittelun päätoimiala on rakenne- ja elementtisuunnittelu. Se käsittää teollisuusrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, julkiset rakennukset ja kerrostalot. Päijät-Suunnittelu tekee rakennesuunnittelua sekä uudisrakennuksiin että saneerauskohteisiin. Päijät-Suunnittelussa työskentelee yhdeksän henkilöä ja yhtiön toiminta-alue käsittää koko Suomen. (1.)

## **3 Liitosten kuormat ja kuormitukset**

Liitosten tehtävänä on välittää kuormia halutulla tavalla ja haluttuja reittejä pitkin siten, että loppujen lopuksi kuormat johtuvat perustuksille ja sitä kautta maahan. Suunnittelijan tehtävänä on tarkastaa ja selvittää liitoksiin kohdistuvien voimien suuruudet ja suunnat.

Suunnittelussa ja mitoituksessa otettiin Suomessa 1.4.2011 käyttöön eurokoodit, jonka mukaan myös eri kuormitukset määritetään. Eri laskentanormeja rakenteiden kantavuuteen ja kuormitukseen liittyen ei saa käyttää sekaisin liitoksia mitoittaessa, vaan on pysyttävä normien suhteen samassa järjestelmässä. Kuitenkin jos suunnitteluohjeet eivät ole ristiriidassa eurokoodijärjestelmän kanssa, niitä saa vielä käyttää 1.4.2011 jälkeenkin. Voi käydä niin, että tapauskohtaisesti eurokoodin antamat ohjeistukset ovat puutteelliset, joten on turvaututtava toisiin suunnitteluohjeisiin. Suomeen rakennettavien kohteiden suunnittelussa käytetään eurokoodeihin ympäristöministeriön vahvistamia kansallisia liitteitä, jotka ovat nimensä mukaan valtiokohtaisia. (2.)

### **3.1 Rakenteiden pysyvät kuormat**

Rakenteiden pysyvät kuormat koostuvat pääasiassa rakenteen omasta painosta johon kuuluvat kantavat sekä ei-kantavat rakennusosat. Rakenteen oma paino lasketaan suunnitelmien mukaisilla nimellisillä mitoilla ja pinnoilla. Tiloja, joista myöhemmin poistetaan tai lisätään kantavia tai ei-kantavia rakennusosia, ote-

taan mitoituksessa huomioon näiden määräävin kuormitustapaus, eli kuormitustapaus, jonka mukaan rakenteeseen kohdistuvat suurimmat rasitukset. Pysyviin kuormiin tulee huomioida mitoitusilanteissa myös ne rakennusosat, jotka asennetaan vasta kohteen valmistumisen jälkeen.(3.)

### **3.2 Rakenteiden hyötykuormat**

Tilojen normaalissa käytössä vallitsevat kuormat luokitellaan hyötykuormiksi. Tiloissa olevista henkilöistä ja kalusteista aiheutuvat kuormat ja esimerkiksi siirrettävät väliseinät muodostavat hyötykuorman. Hyötykuormat oletetaan olevan liikkuvaa kuormaa ja ne vaikuttavat alueella jossa kuormitus vaikuttaa kriittisemmin laskettavaan rakennusosaan. Eurokoodissa tilat jaetaan luokkiin ja näiden luokkien perusteella määritetään tilojen hyötykuormat (3). Taulukossa 1 on esitetty kyseiset luokat ja luokkien kriteerit, sekä kuormitukset.

Luokka	Käyttötarkoitus	Hyötykuorma $q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	Pistekuorma $Q_k$ (kN)	Vaakakuormat (kN/m)
A	<b>Asuin- ja majoitustilat</b> – esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien majoitustilat	välipohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,5	2,0	0,5
B	<b>Toimistotilat</b>	2,5	2,0	0,5
C	<b>Kokoontumistilat</b>			
	C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat	välipohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	3,0	1,0
	C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat	välipohjat 3,0 portaat 3,0 parvekkeet 3,0	3,0	1,0
	C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit	välipohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0	1,0
	C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt	välipohjat 5,0 portaat 3,0 parvekkeet 5,0	4,0	1,0
	C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapauksien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terasit ja eteistilat sekä rautatielaiturit	välipohjat 6,0 portaat 6,0 parvekkeet 6,0	4,0	3,0
D	<b>Myymälätilat</b>			
	D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat	välipohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0	1,0
	D2: Tavaratalojen tilat	välipohjat 5,0 portaat 6,0 parvekkeet 5,0	7,0	1,0
E	<b>Varasto- ja tuotantotilat</b>			
	E1: Varastotilat. Tilat, joissa tavaraa säilytetään, mukaan luettuna tavarat vastaanottotilat	välipohjat 7,5 portaat 3,0	7,0	1,0
	E2: Teollisuuskäyttö	ks. 6.3.2	ks. 6.3.2	1,0

Taulukko 1. Hyötykuorman luokat käyttötarkoitusten perusteella (4)

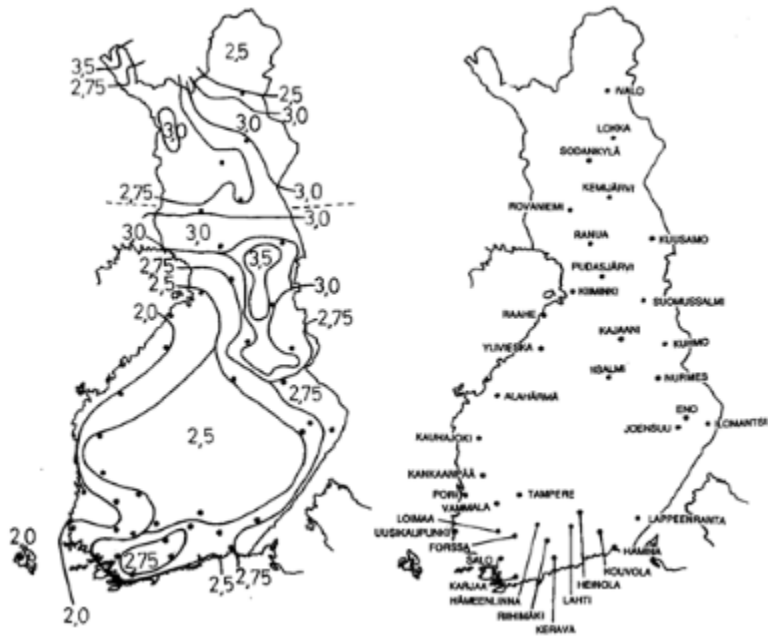
### 3.3 Lumikuorma

Lumikuorma luokitellaan kiinteäksi hyötykuormaksi. Suomen kansallisen liitteen mukaan Suomi jaetaan sijainnin perusteella osiin, joissa vallitsee sama lumikuorman ominaisarvo  $s_k$ . (Kuva 1.). Kun maassa olevan lumikuorman siirtää katolle, saada lumikuorma  $q_k$ . Tämä saadaan määritettyä muotokertoimen  $\mu_i$  avulla (Kaava 1).

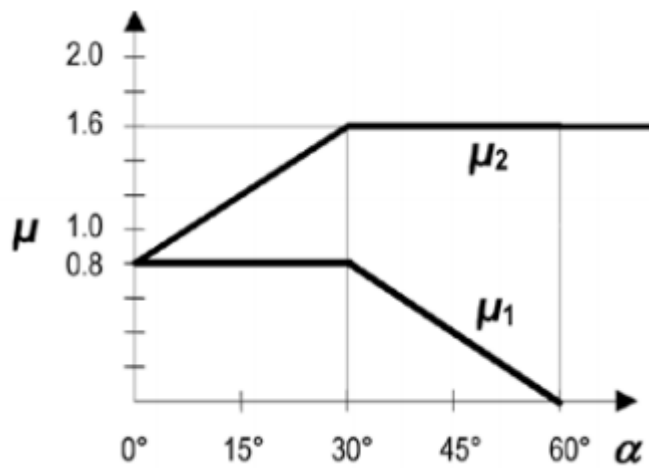
$$q_k = \mu_i s_k \quad (1)$$

Muotokertoimen  $\mu_i$  arvot saadaan kuvasta 2 ja kuvasta 3

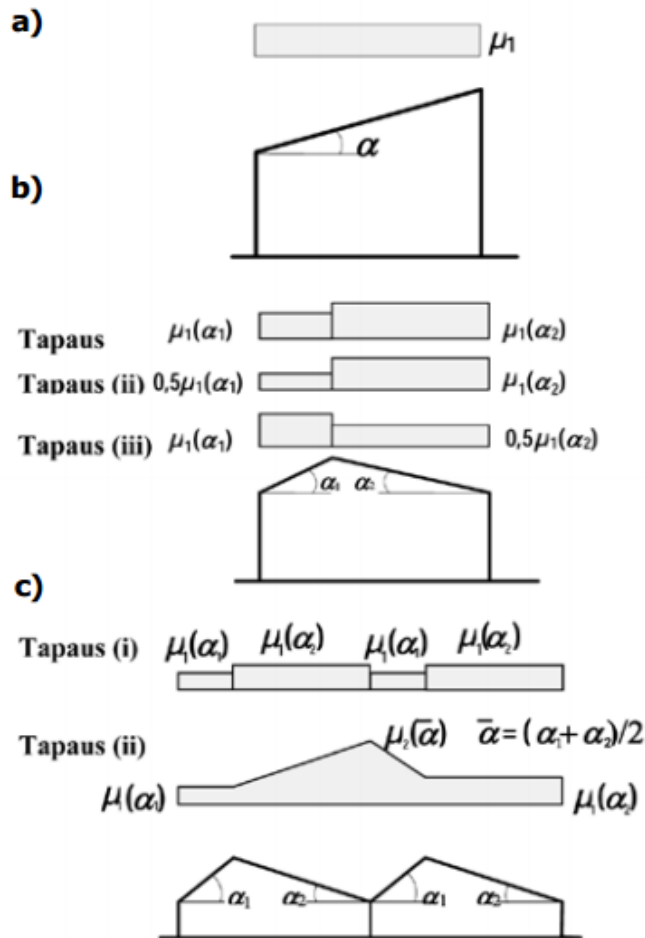




Kuva 1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo  $s_k$  (4)



Kuva 2. Lumikuorman muotokerroin  $\mu$  (4)

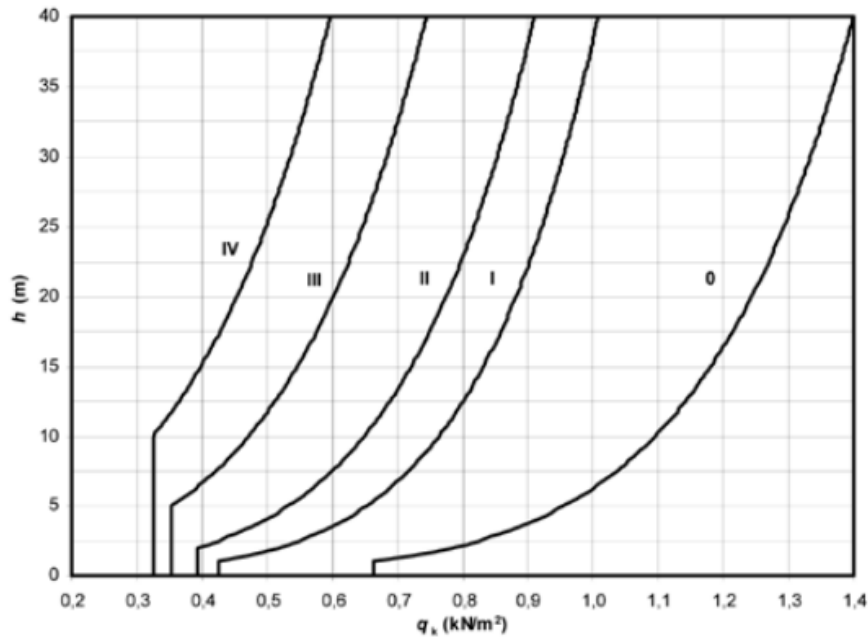


Kuva 3. Kattojen lumikuorman muotokertoimet. a) pulpettikatto, b) harjakatto ja c) sahakatto (4)

### 3.4 Tuulikuorma

Eurokoodin mukainen tuulikuorman määrittäminen on hyvin työlästä ja osittain hankalaa. Koska tämän opinnäytetyön pääpaino on liitoksissa, niin tässä työssä käydään tuulikuorman laskemisen yksinkertaistettu menettely. Yksinkertaista menettelyä voidaan käyttää tavanomaisten rakennusten yhteydessä

Tuulikuorman suuruuteen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen sijainti. Rakennuksen sijainnin perusteella ne jaetaan maastoluokkiin 0 – IV (Kuva 4). 0 maastoluokka on avoimella ja tuulelta suojaamattomassa rannikkoalueella, kun taas IV maastoluokka on tuulelta suojaisassa paikassa. Tuulen nopeuspaine on verrannollinen rakennuksen korkeuteen. (4; 5.)



Kuva 4. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvot rakennuksen korkeuden suhteenkorkeuden suhteen  $q_k(h)$  (4)

Tuulenpaine, joka kohdistuu paikallisesti rakenteen osapinnoille, käytetään rakenteiden kiinnitysten mitoituksessa. Tämän ohjeen mukaan paikallinen tuulenpaine määritellään rakennuksen sisäisen ja ulkoisen paineen nettopaineena. (Kaava 2)

$$q_{w,k} = C_{p,net} q_k(h) \quad (2)$$

$C_{p,net}$  Osapinnan nettotuulenpaine kerroin. (Taulukko 2 ja taulukko 3)

$q_k(h)$  On rakennuksen korkeutta  $h$  vastaava nopeuspaine (Kuva 4). (4.)

Rakennuksen seinämään kohdistuva vaakasuuntainen kokonaistuulikuorman ominaisarvo  $F_{w,k}$ , tavallisissa tapauksissa saadaan kaavasta 3.

$$F_{w,k} = c_f q_k(h) A_{ref} \quad (3)$$

$c_f$  Voimakerroin. (Taulukko 4)

$A_{ref}$  Rakenteen tuultavastaan kohtisuora projektiopinta-ala

Kokonaistuulikuorman resultantti vaikuttaa korkeudella  $0,6h$ . (4; 5.)

Ulkoseinät	suurin imu nurkka-alueilla <sup>1)</sup>		suurin imu keskialueilla		suurin paine sisäänpäin	
	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$	$A \geq 10$	$A \leq 1 \text{ m}^2$
tarkasteltava pinta-ala						
$C_{p,net}$	-1,5	-1,7	-1,1	-1,4	+1,1	+1,3

Taulukko 2.  $C_{p,net}$  ulkoseinien paikallisia nettopaine kertoimia (5)

Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkista molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/5$ , jossa  $e = \min(b; 2h)$ , kun  $b$  on rakennuksen suurempi sivumitta ja  $h$  on rakennuksen korkeus. Kun tarkasteltava pinta-ala on välillä 1-10 m<sup>2</sup>, voidaan väli interpoloida lineaarisesti. (5.)

kattotyyppi	katon kaltevuus <sup>1)</sup>	nurkka-alueet <sup>2)</sup>			reuna-alueet <sup>3)</sup>			muu alue <sup>4)</sup>	
		$A \geq 10$	$A \leq 1$	räys-täs	$A \geq 10$	$A \leq 1$	räys-täs	$A \geq 10$	$A \leq 1$
Tasakatto	$< 5^\circ$	-2,1	-2,8	-3,5	-1,5	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
Pulpettikatto	$5^\circ \dots 15^\circ$	-2,7	-3,2	-3,9	-2,2	-2,8	-3,5	-1,2	-1,5
	$\geq 30^\circ$	-2,4	-3,2	-3,9	-1,8	-2,3	-3,0	-1,3	-1,6
Harjakatto	$5^\circ \dots 15^\circ$	-2,0	-2,8	-3,5	-1,6	-2,3	-3,0	-1,0	-1,5
	$\geq 30^\circ$	-1,4	-1,8	-2,5	-1,7	-2,3	-3,0	-1,2	-1,5

Taulukko 3. Suurimmalle paikalliselle imulle olevia katon tuulen nettopaine kertoimia  $C_{p,net}$  (5)

Kaltevuudet väliltä  $15-30^\circ$  interpoloidaan lineaarisesti. Nurkka-alue ulottuu rakennuksen ulkonurkista molempiin suuntiin etäisyydelle  $e/4$ . Katon reuna-alue puolestaan ulottuu ulkoseinälinjasta etäisyydelle  $e/10$ , mutta ei nurkka-alueille. (5.)

Kuvaus	$c_f$
Umpinainen rakennus yleensä	1,3
Pulpettikattoinen umpinainen rakennus tarkasteltaessa kattolapteen suuntaista tuulta, kun katon kaltevuus on 5°...40° (toisessa suunnassa $c_f = 1,3$ )	1,5
Osittain avoin rakennus, kun tuulen puoleisella sivulla olevien aukkojen pinta-ala on enintään 30 % rakennuksen ulkoseinien kokonaispinta-alasta.	1,6
Erillinen seinämä	2,1

Taulukko 4. Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia  $c_f$  (5)

Edellä esitettyjä nettopainekertoimia voidaan käyttää laskettaessa tuulenpainetta kun tarkastellaan kattokannatteen kiinnitystä tuulen imulle koko rakennuksen levyisenä. (5.)

#### 4 Kuormitusyhdistelmät

Rakenteisiin kohdistuu jatkuvasti rasituksia eri suunnista. Rasitukset muodostuvat edellä mainittujen kuormien yhteisvaikutuksista. Koska rakennukseen ja rakenteisiin kohdistuu toisistaan riippumattomia kuormia, esimerkiksi tuuli ja rakenteen oma paino, tulee rakennesuunnittelijan selvittää edellä mainittujen kuormien yhdistämisestä syntyvät määrävimmät kuormat ja rasitukset. Todennäköisyys, että hyötykuorma, lumikuorma sekä tuulikuorma vaikuttavat täydellä kuormalla samaan aikaan, on verrattaen pieni. Näin ollen eurokoodissa annetaan kuormitusyhdistelmille yhdistelykertoimet  $\Psi$ , jotka ottavat huomioon nämä todennäköisyydet (taulukko 5). Kuormitustapauksissa otetaan huomioon myös rakenteen sortumisesta aiheutuvien seuraamusten suuruus seuraamusluokkien CC1-CC3 antavien seuraamusluokkakertoimien  $K_{FI}$  avulla (taulukko 6).

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) <sup>*)</sup> kun $s_k < 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma <sup>**)</sup>	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<sup>*)</sup> Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään $\psi$ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. <sup>**)</sup> Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.			

Taulukko 5. Yhdistelykertoimien  $\Psi$  arvot rakennuksille (4)

Peruskuormitusyhdistelyille käytetään kerrointa  $\Psi_0$ , tavallisille yhdistelmille käytetään  $\Psi_1$  ja pitkäaikaiskuormille sekä onnettomuuskuormille käytetään kerrointa  $\Psi_2$ . Pääperiaate kuormien yhdistelyissä on se, että muuttuvista kuormista (esim. tuuli ja lumi) yksi on määräävin ja muut kerrotaan yhdistelykertoimilla.

Kuorma	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (katso SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30\text{kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3)* <sup>1)</sup> kun $s_k < 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m <sup>2</sup>	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ** <sup>2)</sup>	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (katso SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (katso SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
<sup>1)</sup> Ulkotasoilla ja parvekkeilla $\psi_0 = 0$ luokkien A, B, F ja G yhteydessä. Huom: Mikäli rakennuksessa on eri kuormaluokkia, joita ei voi erotella omiin selviin ryhmiinsä, käytetään $\psi$ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen. <sup>2)</sup> Lisätty Suomen kansalliseen liitteeseen.			

Taulukko 6. Seuraamusluokkakertoimet (4)

Koska tämä opinnäytetyön pääpaino on pilarien ja palkkien liitosten mitoitus sekä betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoitus, käytetään kuormitusyhdistelmänä rakenteen tai rakenneosien kestävyden kaavaa 4.

$$\left. \begin{matrix} 1,15K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,j} \quad (4)$$

Kuitenkin vähintään

$$\left. \begin{matrix} 1,35 K_{FI} \\ 0,9 \end{matrix} \right\} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (5)$$

- $G_{k,j}$  epäedullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat ( $G_k$ ). Edullisen vaikutuksen aiheuttavat pysyvät kuormat kerrotaan kertoimella 0,9. Tässä tapauksessa seuraamusluokkakerrointa  $K_{F1}$  ei käytetä.
- $Q_{k,1}$  määräävä muuttuva kuorma
- $Q_{k,i}$  muut samanaikaisesti vaikuttavat muuttuvat kuormat
- $\Psi_{0,i}$  yhdistelykertoimet (4.)

Joissain tilanteissa tulee ottaa huomioon se, että jotkin kuormat saattavat olla edullisia kuormia. Esimerkiksi rakenteen omapaino ja lumikuorma voivat toimia tasapainoittavana tekijänä tuulikuormaa vastaan.

Onnettomuustilanteen kuormitusyhdistelyn kaava 6 ja kaava 7

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \Psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

Kun pääasiallinen kuorma ( $Q_{k1}$ ) on lumi, jää- tai tuulikuorma

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \Psi_{21} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (7)$$

Pääasiallinen kuorma ( $Q_{k1}$ ) on muu kuin lumi, jää- tai tuulikuorma

$\Psi_{11} Q_{k1}$  tai  $\Psi_{21} Q_{k1}$  ovat määräävän muuttuvan kuorman yhdistelyarvot. Muiden samanaikaisesti vaikuttavien muuttuvien kuormien yhdisteluarvot ovat  $\Psi_{2,i} Q_{ki}$ . (4.)

## 5 Rajatilat

Eurokoodimitoituksessa rakenteet mitoitetaan eri rajatilamitoituksina. Rajatilamitoituksen tarkoituksena on yksinkertaistaa rakenteet siten että rakenteeseen ei kohdistuisi koko ajan maksimaalinen kuorma. Rajatilat jakautuvat eurokoodin mukaan murtorajatilaa, käyttörajatilaa sekä onnettomuusrajatilaan.



## 5.1 Murtorajatila

Murtorajatila nimensä mukaan on rajatila, jossa tarkastellaan rakenteen kapasiteetin ylityksiä, eli rakenteen murtumista jollakin tavoin. Murtorajatilan tarkoituksena on tarkastaa, että rakenne kestää murtumatta siihen kohdistuvat kuormat. Murtorajatilassa tarkastellaan: stabiiliuden menetykset, liian suuret siirtymät, rakenteen muuttuminen mekanismiksi, rakenteen tasapainon menetykset ja väsymys, joka puolestaan on aikaan sidonnainen vaurio. (4.)

## 5.2 Käyttörajatila

Käyttörajatila käsittelee nimensä mukaan rajatiloja jotka vaikuttavat rakenteiden käyttökokemuksiin, käyttömukavuuteen, toimivuuteen ja rakenteen ulkonäköön. Esimerkiksi taipumat, värähtelyt ja halkeaman leveydet tarkastellaan käyttörajatilamitoituksella. Koska käyttörajatila ei tarkastele rakenteen murtumista, on standardeissa annettu käyttörajatiloiille minimiraja-arvoja. Kuitenkin näistä arvoista voi tehdä tapauskohtaisesti poikkeuksia. Esimerkiksi jonkin palkin taipumasta voi olla suurtakin haittaa, sekä visuaalisesti että tilojen käytönkin kannalta, kun taas joissakin kohteissa sama kyseinen taipuma ei haittaa rakenteen käyttöön ja ulkonäköön. (4.)

### 5.2.1 Käyttörajatilojen kuormayhdistelmät

Kuormitusyhdistelmät valitaan siten että ne ovat tarkoituksenmukaisia toimivuuskriteerien kannalta sekä täyttävät käyttökelpoisuusvaatimukset. (4.)

### 5.2.2 Ominaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,j} \quad (8)$$

Ominaisyhdistelmää käytetään palautumattomille rajatiloille, eli tilanteisiin joissa kuormien vaikutukset eivät palaudu kuormien poistamisen jälkeen, esimerkiksi muurattujen seinien halkeamat ja haljenneet poikkileikkaukset. (4.)

### 5.2.3 Tavallinen yhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (9)$$

Tavallista yhdistelmää käytetään palautuville rajatiloille. Palautuvalla rajatilalla tarkoitetaan sitä, että kuormituksen aiheuttamat vaikutukset palautuvat kun kuormat poistetaan. (4.)

### 5.2.4 Pitkäaikaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (10)$$

Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään pitkäaikaisvaikutuksille ja rakenteen ulkonäön kannalta. (4.)

## 6 Liitosten mitoitustilanteet

Rakennesuunnittelijan tulee valita liitoksen mitoitustilanne siten, että se täyttää sille asetetut vaatimukset olosuhteet huomioiden. Liitosten mitoitustilanteita ovat onnettomuustilanteiden aiheuttamat kuormitustapaukset, normaalien käyttötilanteiden aiheuttamat kuormitustapaukset, sekä tilapäisten käyttötilanteiden aiheuttamat kuormitustapaukset, kuten toteutuksen tai korjauksen aikaiset. Vain maajärjestysalueilla tulee ottaa huomioon myös maanjäristystilanteista aiheutuvat kuormitustapaukset. (2.)

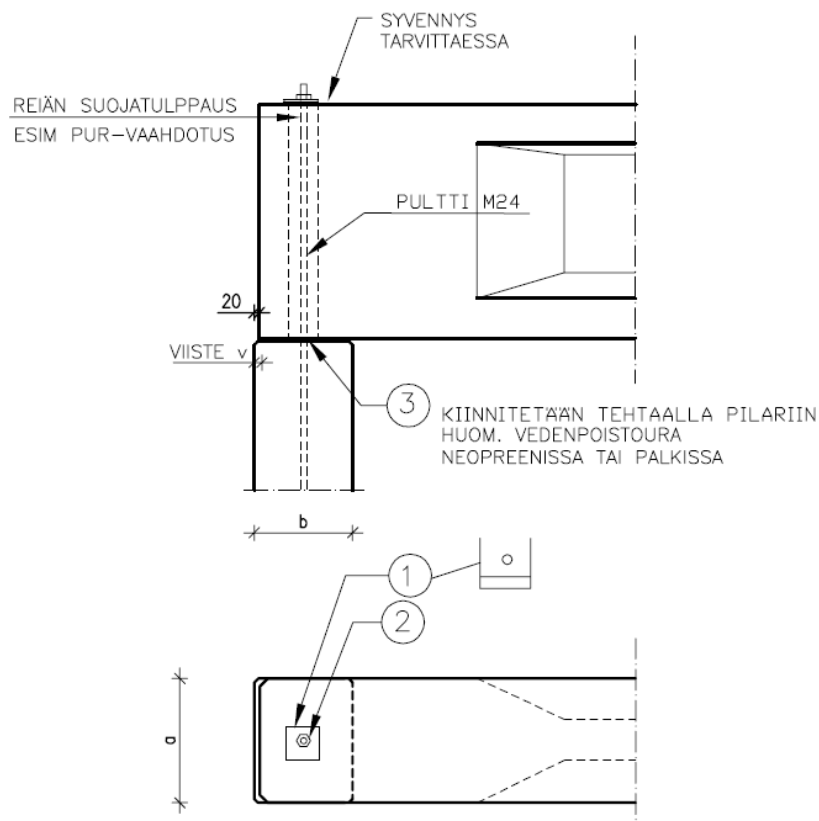
Mitoitustilanteiden laskemisessa tulee tunnistaa kaikki tilanteet jolla tavalla kuormat kohdistuvat liitoksiin. Liitoksia suunniteltaessa tulee liitoksen kestävyys tarkistaa sekä murtorajatilassa, että käyttörajatilassa. Liitosten mitoituksessa tulee huomioida seuraavat kuormat: omapaino, hyötykuorma, staattinen kuorma, pysyvä kuorma, painekuorma, iskukuorma, rakenteiden vinous, lämpöliike, betonin viruma, betonin kutistuma, vaakakuormat, pystykuormat jne. Rakennesuunnittelijan tehtävänä on tunnistaa määräävimmit kuormat jotka antavat suurimmat jännitykset. Liitosten suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös raken-

teen käyttöikä, palotekniset ominaisuudet, rasitusluokat sekä äänitekniset vaatimukset. (2.)

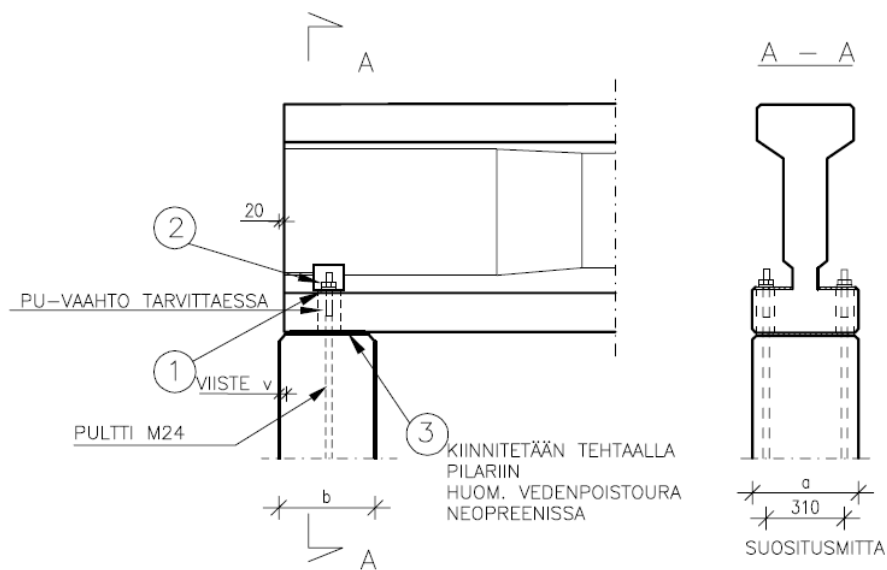
Rakenteisiin kohdistuvien dynaamisten kuormien tunnistaminen ja laskeminen on verrattaen hankalaa, sillä niin suuruus kuin suunta voi vaihdella huomattavasti ja ne voivat olla rakenteita, varsinkin liitoksia, väsyttäviä ajan suhteen. Näin ollen dynaamisia kuormia usein korvataan staattisilla voimilla ja liitos mitoitetaan näiden perusteella. Staattiset voimat puolestaan ovat dynaamisia kuormia selkeämmin tunnettuja. Staattiset kuormat aiheuttavat liitoksessa leikkausvoimaa, normaalivoimaa, taivutusmomenttia, vääntömomenttia, sekä näiden erilaisia yhdistelmiä. (2.)

## 7 Yleisimmät teräsbetonipilarin ja -palkin liitokset

Kuten aikaisemmin on todettu, tulee rakennesuunnittelijan kohdekohtaisesti valita voimia edullisimmin siirtävä liitos. Tässä luvussa käydään läpi I- ja HI-palkin (kuvat 5 ja kuva 6) ja pilarin liitoksen mitoitus kahdella pultilla.



Kuva 5. I- ja HI-palkin liitos pilariin yhdellä pultilla (2).



Kuva 6. I -ja HI -palkin liitos pilariin kahdella pultilla (2).

## 7.1 Liitoksen mitoitus

Liitoksen mitoitus alkaa kuormien määrittämisellä. Kuormat määritetään luvun 3 mukaan. Kuormitusyhdistelmät ja rajatilamitoitukset tehdään lukujen 4 ja 5 mukaan. Rajatilana käytetään onnettomuusrajatilaa, ja kuormien osavarmuusluvut ovat ykkösiä.

### 7.1.1 Neopreenilaakerin mitoitus

Kumilevyn tarkoituksena on estää haitalliset muodonmuutokset, sekä estää halkeilut pilarin ja palkin päässä. Vahvistamattomia kumilevyjä käytetään elementtien liitosten välissä niveltoiminnan ylläpitämiseksi.

Koska kumilevyjen mitoittamisesta ei ole olemassa ajantasaisia, eikä yhtenäisiä ohjeita, niin kumilevyjen toimivuudessa esiintyy puutteita ja niitä käytetään osittain väärin perustein. Tässä kappaleessa käytetään Matti V. Leskelän tekemää yhtenäistettyä ehdotusta vahvistamattomien levyjen mitoittamiseksi.(8.)

Kumilaakerin mitoitus lähtee kuormien ja kuormien vaikutusten tunnistamisesta ja laskemisesta. Kuormat ja kuormitukset lasketaan, kuten aikaisemmin todettiin lukujen 4 ja 5 mukaan.

Kumilevyn ominaisuuksia luokitellaan muotoluvun  $S$  suuruuden perusteella. Muotoluku saadaan kaavasta 11.

$$S = \frac{a_0 b_0}{2t(a_0 + b_0)} \quad (11)$$

$a_0$  levyn pienempi sivumitta

$b_0$  levyn suurempi sivumitta

$t$  levyn paksuus

Oleellinen parametri kaikissa kumiosissa, niin kuin myös kumilaakerissa on liukukerroin  $G$  ja sen riippuvuus kumin kovuudesta  $h$  (ShoreA). Liukukerroin  $G(h)$  saadaan kaavasta 12.

$$G(h) = 0,07 * 1,045^h \quad (12)$$

$h$  kumilevyn kovuus (ShoreA)

Kiertymiskyvyn takaamiseksi levyn hoikkuutta rajoitetaan kaavan 13 mukaiseksi

$$5 \leq \frac{a_0}{t} \leq 15 \dots 20 \quad (13)$$

$b_0/a_0$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	10
$C_p$	4,73	4,28	4,02	3,84	3,70	3,60	3,51	3,45	3,40	3,35	3,32	3,15
$b_0/a_0$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	3	> 3			
$C_\alpha$	0,464	0,471	0,476	0,48	0,483	0,485	0,489	0,49	0,49			

Taulukko 7. Kumilevyjen kertoimet  $C_p$  ja  $C_\alpha$ . Arvojen väliin jäävät kertoimet voidaan interpoloida (8)

Kumilevyn kuormitettavuus painumaehdon  $d_c < 0,15t$  mukaan jossa  $d_c$  on nimellinen puristuma, saadaan kaavasta 14.

$$P_{k1} = \frac{2 * G(h)AS}{1 + 1,7 * \alpha * \frac{a_0}{t}} \quad (14)$$

$G(h)$  kumilevyn liukukerroin kovuuden suhteen (ks. kaava 12)

$A=a_0 * b_0$  kumilevyn pinta-ala

$S$  kumilevyn muotoluku (ks. kaava 11)

$\alpha$  palkin oletettu kiertymä radiaaneina

Leikkausjännityksen huomioon ottava kuormitettavuus saadaan kaavasta 15.

$$P_{k2} = \frac{G(h)A a_0}{C_p * t} * \left[ 2,5 - 0,5\alpha * C_\alpha \left( \frac{a_0}{t} \right)^2 \right]; \alpha \geq 0,01 \quad (15)$$

$C_p$  Vakiokerroin (ks. taulukko 7)

$C_\alpha$  Vakiokerroin (ks. taulukko 7)

Todennäköisen maksimipainuman  $\Delta_{c,lim}$  mukaisesti rajoitettu kuormitettavuus saadaan kaavasta 16.

$$P_{k3} = \frac{8\Delta_{c,lim} G_r(h)AS}{(t - 2\Delta_{c,lim})k_{slip}} \quad (16)$$

$\Delta_{c,lim}$  maksimipainuma. Runko-BES ohjeessa käytetty 3 mm.

$$G_r = G * \left( \frac{S}{4,7} \right)^{0,3} \quad (17)$$

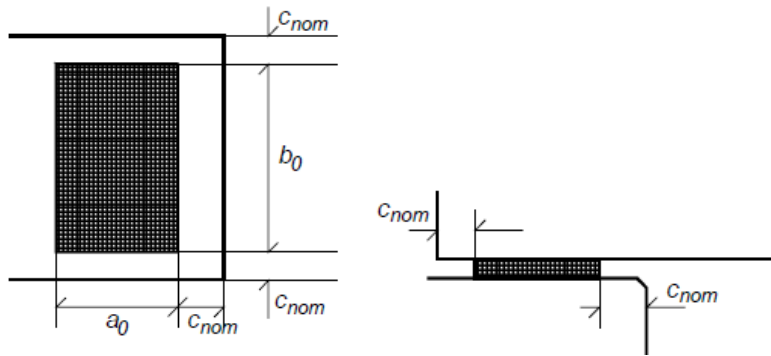
$k_{slip}$  kitkan suuruuden vaikutuksen huomioiva kerroin. Käytetään 1,9.

Kumilevyn kuormitettavuus saadaan yhtälöstä 18.

$$P_k = \min(P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}) \quad (18)$$

Käyttöastetarkastelu (kaava 19) ja mitoitus tapahtuu ominaisarvoilla.

$$\frac{N_{Ek}}{P_k} \leq 1,0 \quad (19)$$



Kuva 7. Kumilaakerin mitat (8)

### 7.1.2 Vaarnatapin ja tukipintojen mitoitus

Betoninormikortti 23 edellyttää, että pilarin ja palkin välinen liitos mitoitetaan kosteus- ja lämpöliikkeistä aiheutuville vaakakuormille. Edellä tarkasteltu liitos toimii tappiliitoksena, joten pilarin pää mitoitetaan kestämään tappivaarnan vaikutus. (2.)

Pilarin ja palkin liitos tulee kestää voima (kaavat 20, 21 ja 22), tässä tapauksessa vaakavoima, joka riippuu seuraamusluokasta. (9.)

Seuraamusluokka 1

$$T_1 = \begin{cases} \geq k * V_k \\ \geq 20 \frac{kN}{m} * \frac{L_1 + L_2}{2} \\ \geq 70 kN \\ \leq 150 kN \end{cases} \quad (20)$$

Seuraamusluokka 2

$$T_2 = \begin{cases} \geq k * V_k \\ \geq 20 \frac{kN}{m} * \frac{L_1 + L_2}{2} \\ \geq 70 kN \\ \leq 150 kN \end{cases} \quad (21)$$

Seuraamusluokka 3a

$$T_1 = \begin{cases} \geq k * V_k \\ \geq F_t * \frac{L_1 + L_2}{2} * \frac{(g_k + \Sigma \Psi_i * q_k * \max(L_4, L_5))}{37,5 \frac{kN}{m}} \\ \geq F_t * \frac{L_1 + L_2}{2} \end{cases} \quad (22)$$

$$F_t \leq \begin{cases} 48 \frac{kN}{m}, \text{ yli 15 kerroksissa rakennuksissa} \\ (16 + 2,1 * n_s) \frac{kN}{m} \end{cases} \quad (23)$$

- $V_k$  suurempi pilarin molemmilla puolilla vaikuttava palkkien tukireaktio
- $k$  liitospintojen kitkakertoimien ominaisarvo
- $k = 0,2$  , kun liitoksissa on kuminen tasauslevy, kumilevy laakeri tai vastaava
- $k = 0,3$  ,kun molemmat liitospinnat ovat terästä
- $k = 0,4$  ,kun liitospinnassa on teräs betonipintaa vasten
- $k = 0,5$  ,muissa tapauksissa
- $L_1$  ja  $L_2$  palkkivälejä palkin molemmin puolin (laataston jänneväli)
- $L_4$  ja  $L_5$  pilarivälejä palkin suunnassa poistettavaksi otaksutun pilarin linjalla
- $n_s$  kerrosten lukumäärä
- $g_k$  laataston pysyvän kuorman ominaisarvo
- $q_k$  laataston muuttuvan kuorman ominaisarvo
- $\Psi_i$  muuttuvan kuorman yhdistelykerroin onnettomuusrajatilassa (ks. taulukko 5)

Tappiliitoksen leikkauskapasiteetti saadaan kaavasta 24.

$$V_{Rd} = \frac{1,2 * \Phi^2 * \sqrt{f_{ck} * f_{yk}}}{\gamma_{c,acc}} \quad (24)$$

- $\Phi$  Vaarnatapin halkaisija



$f_{ck}$  betonin ominaislujuus (ks. taulukko 9)

$f_{yk}$  vaarnatapin teräksen ominaislujuus

$\gamma_{c,acc}$  betonin onnettomuuskuormayhdistelmän osavarmuusluku

Jos tappina käytetään harjaterästä A500HW, on leikkauslujuus kaavan 25 mukainen. (9.)

$$V_{Rd} = 24,6 * \Phi^2 * \sqrt{f_{ck}} N \quad (25)$$

Tappiliitoksen leikkauskapasiteetin voi saada myös Betoninormikortin julkaisemalla taulukolla (taulukko 8).

Elementin betonin lujuus	$f_{ck}$ MPa	Tapin A 500 HW leikkauskestävyys $V_{Rd}$ kN onnettomuuskuormille				
		Tappi				
		T12	T16	T20	T25	T32
C20/25	20	14.4	25.6	40.0	62.5	102.4
C25/30	25	16.1	28.6	44.7	69.9	114.5
C30/37	30	17.6	31.4	49.0	76.5	125.4
C35/45	35	19.0	33.9	52.9	82.7	135.5
C40/50	40	20.4	36.2	56.6	88.4	144.8
C45/55	45	21.6	38.4	60.0	93.8	153.6
C50/60	50	22.8	40.5	63.2	98.8	161.9
C55/67	55	23.9	42.5	66.3	103.6	169.8
C60/75	60	24.9	44.3	69.3	108.3	177.4
C70/85	70	26.9	47.9	74.8	116.9	191.6
C80/95	80	28.8	51.2	80.0	125.0	204.8
C90/105	90	30.5	54.3	84.9	132.6	217.2

Taulukko 8. Tappiliitoksen leikkauskapasiteetti onnettomuuskuormille.(harmattu alue suurlujuusbetonia) (9)

Edellä mainitussa esimerkkiliitoksessa on kaksi vaarnatappia, joten vaakavoiman, tässä tapauksessa  $F_{d,acc} = T_2$  (seuraamusluokka 2), voi puolittaa  $0,5 * F_{d,acc}$ . Näin ollen liitoksen tulee täyttää kaavan 26 antama ehto.

$$\frac{1}{2} * F_{d,acc} \leq V_{Rd,acc} \quad (26)$$

Taulukko 8 perusteella nyrkkisääntönä voidaan pitää, että liitoksessa käytetään vähintään T25 tappia tai sitten 2T25, sillä nämä antavat tarpeeksi kapasiteettia

minimi- että maksimivaakavoimaa vastaan. Suuremmat tapit antaisivat turhaa kapasiteettia.

### 7.1.3 Pilari–palkkiliitoksen elementtien putoamisen estäminen

Pilari–palkkiliitoksessa elementin putoaminen voidaan estää tappiliitoksella tai palkin ja laataston saumoihin sijoitetuilla saumaraudoituksilla, tai näiden yhdistelmällä (kuva 8). (9.)

Saumaraudoituksen myötäessä elementin tukipinnalla vaikuttava kitka aiheuttaa vaakavoimaa tukirakenteeseen, joka voi ylittää tukirakenteeseen kiinnitetyn tapin kapasiteetin. Elementin tukipinta mitoitetaan kaavan 27 mukaisesti, jotta tukipinta kestää kitkasta aiheutuvan vaakavoiman. Kaavan 27 antaman ehdon täytyttyä lohkeamisvaaraa ei katsota syntyvän. (9.)

$$\frac{R_d + 2H_d}{b_0 * b_w} \leq 5 * f_{ctd} \quad (27)$$

$R_d$  tukireaktio

$H_d$  tuella esiintyvä vaakavoima

$b_0$  tuen pituus

$b_w$  elementin leveys

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (28)$$

$\alpha_{ct} = 1$

$\gamma_c$  betonin osavarmuusluku (ks. taulukko 9)

$f_{ctk}$  katso taulukko 10

	Betonin $\gamma_c$	Betoniteräksen $\gamma_s$
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15
Onnettomuus	1,2	1,0

Taulukko 9. Murtorajatilojen materiaaliosavarmuusluvut (4)

	$f_{ck}$	$f_{ck,cube}$	$f_{cm}$	$f_{ctm}$	$f_{ctk,0,05}$	$E_{cm}[x10^3]$	$f_{ctd}$
Betonin lujuus C20/25	20	25					
Betonin lujuus C25/30	25	30	33	2,6	1,8	31	1,20
Betonin lujuus C30/37	30	37	38	2,9	2	33	1,33
Betonin lujuus C35/45	35	45	43	3,2	2,2	34	1,47
Betonin lujuus C40/50	40	50	48	3,5	2,5	35	1,67
Betonin lujuus C45/55	45	55	53	3,8	2,7	36	1,80
Betonin lujuus C50/60	50	60	58	4,1	2,9	37	1,93

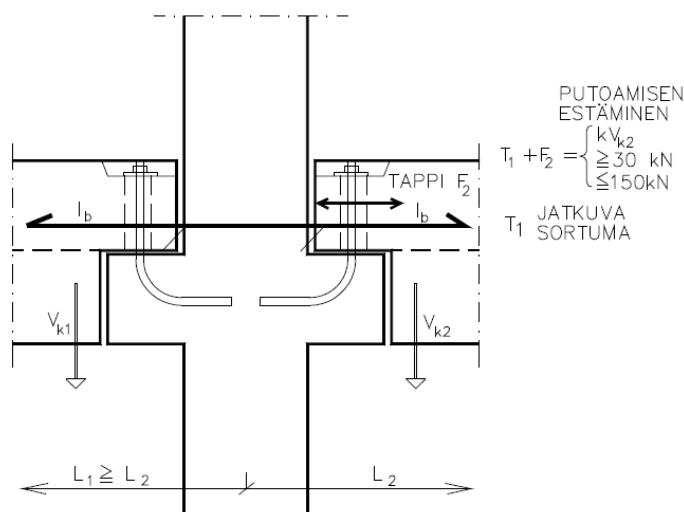
Taulukko 10. Betonin lujuuksia (4)

Jos kaavan 27 ehto ei täyty, lisätään lohkeamisraudoitusta voimalle, joka saadaan kaavasta 29.

$$N_s = 0,75 * (R_d + H_d) - F_{bu} \quad (29)$$

$F_{ub}$  Pääraudoituksen ankkurointikestävyys tuen etureunasta laskettuna

Kuvassa 8 on betonipilari kahdella betonikonsolilla. Betonikonsoleihin liitty molemmin puolin leukapalkki. Ulokkeessa olevien tappien ei voida olettaa toimivan sortumisen estäjänä tilanteessa, jossa kyseinen palkki vaurioituu. Näin ollen palkin putoaminen on estetty saumaraudoituksella voimaa  $F_2$  ja  $T_1$  vastaan. Jatkuvan sortuman estämiseksi palkki on liitetty viereiseen kenttään sijoittamalla saumaraudoitus, joka sortuman tapahduttua toimii köysirakenteena. Tämä rauditus mitoitetaan voimalle  $T_1$ .



Kuva 8. Palkin ja pilarin liitos (9)

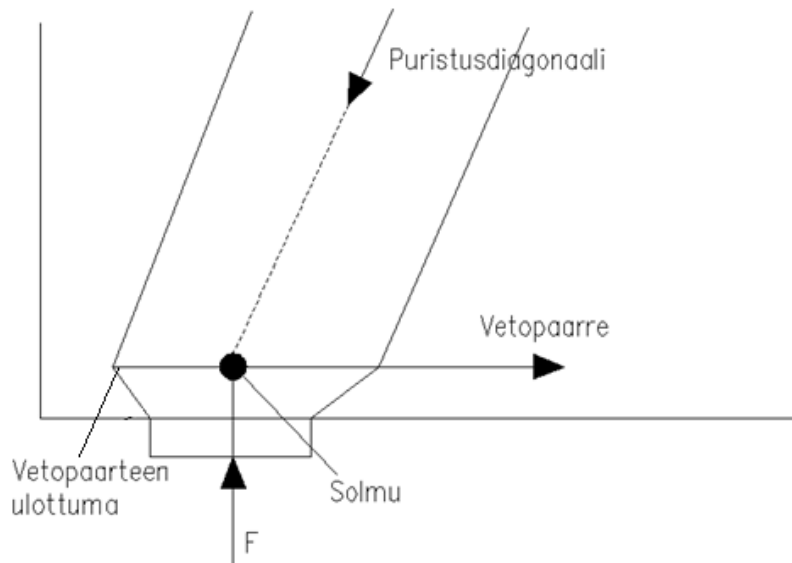
## 8 Ristikkomenetelmä

Ristikkomenetelmä on eurokoodin mukainen menetelmä, jota käytetään rakenteiden erikoiskohtien mitoituksessa. Ristikkomenetelmän käyttö ei ole kuitenkaan kovin yleistä Suomessa. Ristikkomenetelmää käytetään yleisesti esimerkiksi betonikonsolien, lovipääpalkkien tai seinämäisten palkkien mitoituksessa. Ristikkomallin puutteena pidetään sitä, että malli ei anna keinoa, jolla tarkistetaan niiden yhteensopivuus muodonmuutostilan kanssa. Jotta saataisiin käsitys mahdollisten halkeamien muodostumisesta ja niiden kehityksistä, sekä puristavien jännityksien voimajakaantumisesta, on tutustuttava kimmoteorian mukaiseen pääjännityksen jakautumiseen. (7.)

Ristikkomenetelmä perustuu rakenteen epäjatkuvuusalueen tunnistamiseen. Jos rakenteessa esiintyy kohtia, jossa sen suunta tai jokin muu ominaisuus muuttuu, kutsutaan tätä aluetta epäjatkuvuusalueeksi, eli D-alueeksi. D-alue tulee englanninkielisen termistä `discontinuity region`. Epäjatkuvuusalueille ajatellaan muodostuvan yksinkertaisia voimamonikulmioita, joiden avulla ratkaistaan rakenteen kyseiseen kohtaan kohdistuvat rasituksen. Pääperiaate on, että puristusrasituksen ottaa vastaan betoni ja vetorasituksen ottavat vastaan teräkset. (7.)

Koska malleista käytettävät ristikkomallit perustuvat plastisuusteoriaan ja sen alarajateoreemaan ei ristikkomalli sovellu käyttörajatarkasteluihin. Suunnittelijan tulee valita sellainen ristikkomalli, joka on staattisessa tasapainossa ja toteuttaa vastaavat reunaehdot. Kun suunnittelija on valinnut yleismallin, eli hahmotellut voimasauvojen kulun, tulee määrittää sauvojen teholliset leveydet tasapainoehtojen perusteella kriittisissä kohdissa. Kriittiset kohdat sijaitsevat sauvojen liittymäkohdissa, ja näitä kohtia kutsutaan yleisesti solmuiksi (kuva 9). (7.)

Solmukohdissa liittyvien voimasauvojen tulee olla keskenään tasapainossa. Solmut muodostuvat sauvojen keskiviivojen leikkauspisteisiin. Puristussauvojen siteinä toimivien vetosauvojen tulee ulottua puristussauvan oletettuun laitaan saakka (kuva 8). (7.)



Kuva 9. Sauvojen liittymäperiaatteita (7)

Ristikkomallissa esiintyvät betonisauvat oletetaan olevan aksiaalipuristettuina ja näin ollen sauvan kestävyys saadaan kaavasta 30. (7.)

$$b_{ef}t\sigma_{R,max}, \quad \text{kun } \sigma_{Rd,max} \leq f_{cd} \quad (30)$$

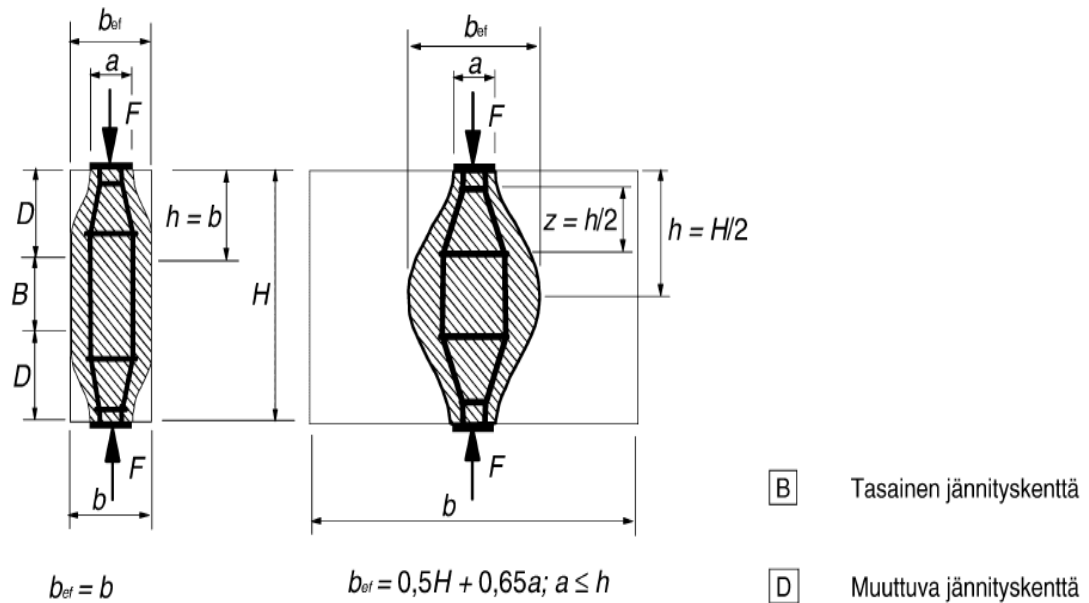
$\sigma_{RD,max}$  puristussauvan mitoitusjännitys (ks. kaavat 33)

t betonin paksuus

$b_{ef}$  sauvan mitoitusleveys

Betonin mitoitusleveys tulee valita siten, että kun vetopaarteeseen kohdistuu mitoituskuorman  $2F$  aiheuttama voima  $A_s f_{sd}$ , diagonaalin kestävyys ei saa ylittyä. (7.)

## 8.1 Vetosauvat



Kuva 10. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristuskentässä, jota hallitaan jakaantuneella raudoituksella (6)

Tapauksessa, jossa epäjatkuvuus on osittaista (kuvan 10 vasemmanpuoleinen tapaus)  $b \leq H/2$  poikittainen vetovoima  $T$  solmuissa saadaan kaavasta 31.

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F; b_{ef} = b \quad (31)$$

Tapauksessa jossa on kyse pelkästään epäjatkuvuudesta (kuvan 10 oikeanpuoleinen tapaus)  $b > b_{ef}$  ja  $b > H/2$   $T$  saadaan kaavasta 32.

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 1,4 \frac{a}{H}\right) F; b_{ef} = 0,5H + 0,65a; a \leq H \quad (32)$$

Tapauksissa jossa sauvan sisäisten solmujen pituudet ovat huomattavia sauvan suunnassa, tulee solmujen raudoitusten jakaantua koko epäjatkuvuusalueen pituudelle, ja vastattava vetovoimaa  $T$ . (7.)

Kun määritellään mekaanista kestävyyttä, olennaisessa asemassa ovat solmukeskittymien mitoitus ja yksityiskohtien suunnittelu. Solmukeskittymiä voi kehittyä esimerkiksi kohtiin, joissa pistekuormat vaikuttavat ankkurointialueilla rau-

doituksen tai jänneterästen keskittymiskohdissa, tuilla, raudoitustankojen taivutuskohdissa sekä rakenneosien kiinnityksissä ja kulmissa. (6.)

## 8.2 Puristussauvat

Betonisten puristussauvojen mitoituslujuus alueella, jolla vaikuttaa poikittainen puristusjäännitys, tai ei vaikuta poikittaista jännitystä (kuva 11) voidaan laskea kaavasta 33. (6.)

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (33)$$

Puristuslujuuden mitoitusarvo  $f_{cd}$  saadaan kaavasta 34.

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad (34)$$

$\gamma_c$  betonin osavarmuusluku (ks. taulukko 8)

$\alpha_{cc}$  0,85. Ottaa huomioon puristuslujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät, sekä kuormituksen aiheuttamat epäedulliset tekijät.



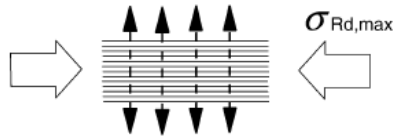
Kuva 11. Betonin puristuskaistan mitoituslujuus, kun kaistassa ei esiinny poikittaista vetoa (6)

Betonin mitoituslujuutta voidaan pienentää halkeilleilla puristusalueilla puristussauvoissa ja se voidaan laskea kaavasta 35.

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6v' f_{cd} \quad (35)$$

Kerroin  $v'$  saadaan yhtälöstä 36.

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (36)$$



Kuva 12. Betonin puristuskaistan mitoituslujuus, kun siihen kohdistuu poikittaista vetoa (6)

### 8.3 Solmut

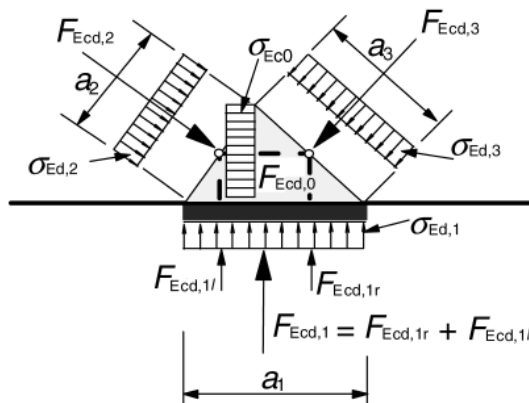
Puristussolmuissa, joissa solmuun ei ankkuroidu vetosauvoja (kuva 13), jännitys saadaan kaavasta 37. (6.)

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 v' f_{cd} \quad (37)$$

$k_1$             1,0

$v'$             katso kaava 36

$f_{cd}$             puristuslujuuden mitoitusarvo (ks. kaava 34)



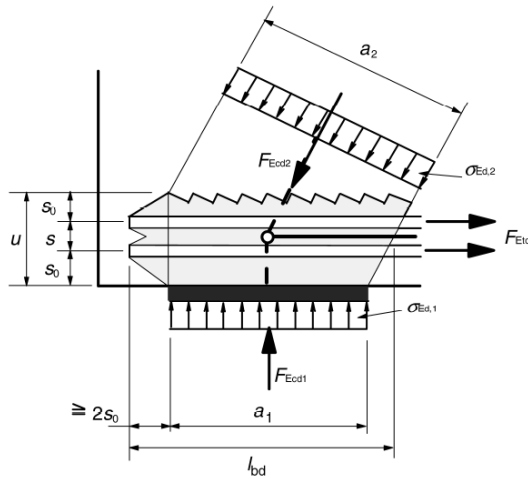
Kuva 13. Solmukohta johon liittyy pelkästään puristussauvoja (6).

Solmuissa, joihin ankkuroituu vain yhdessä suunnassa vetosauvoja ja joihin liittyy puristussauvoja, (kuva 14) jännitys saadaan kaavasta 38. (6.)

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} \quad (38)$$

$k_2$             0,85.



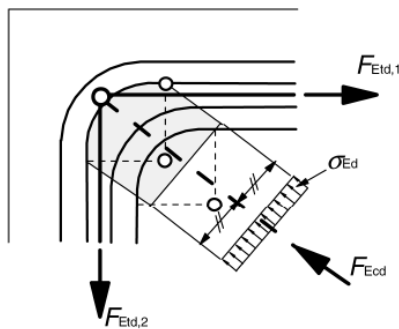


Kuva 14. Solmukohta, joka on sekä puristettu että vedetty, ja johon liittyy yhden suunnan vetoraudoitus (6)

Solmuissa, joihin ankkuroituu useammassa suunnassa vetosauvoja ja joihin liittyy myös puristussauvoja (kuva 15), lasketaan jännitys kaavalla 39. (6.)

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 v' f_{cd} \quad (39)$$

$k_3$             0,75.



Kuva 15. Solmu, joka on sekä puristettu että vedetty ja johon liittyy kahden suunnan vetoraudoitus (6).

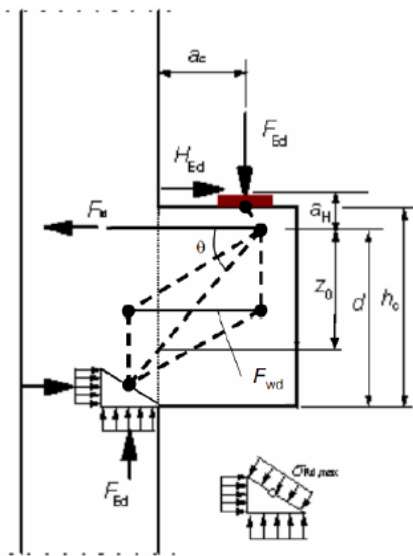
Eurokoodin mukaan edellä mainittuja mitoituslujuuksia on mahdollista kasvattaa 10 %, mikäli seuraavista ehdoista vähintään yksi on voimassa:

- kolmiakselisen puristustilan kehittyminen on varmistettu
- kaikki puristus- ja vetosauvojen väliset kulmat ovat  $\geq 55^\circ$

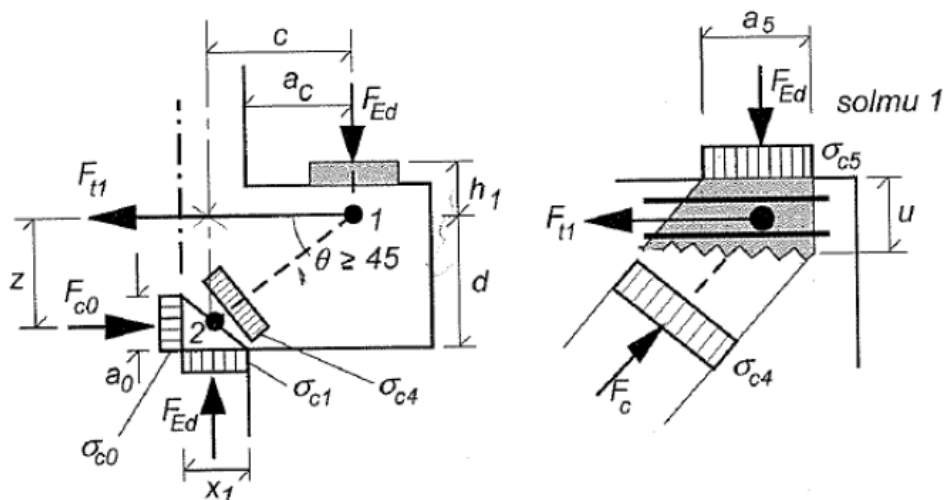
- tuilla tai pistekuormien kohdalla vaikuttavat jännitykset jakautuvat tasaisesti, ja solmussa on laajenemista estävä haoitus
- rauditus on jaettu useaan kerrokseen
- solmun laajeneminen on estetty luotettavasti laakerijärjestelyin tai kitkan avulla. (6.)

## 9 Betonikonsolin mitoitus

Betonikonsolin mitoitus tapahtuu kuvan 16 ja kuvan 17 ristikkomallia käyttäen.



Kuva 16. Betonikonsolin ristikkomalli eurokoodin mukaan (3)



Kuva 17. Ulokkeen ristikkomalli ja tarvittavien solmujen kestävyystarkastelu (7)

## 9.1 Solmu 2

Puristussolmuissa, joissa solmuun ei ankkuroidu vetosauvoja (kuva 13), saadaan puristuslujuus  $f_{cd1}$  kaavan 37 avulla. Solmun 2 vaakasuora mitta  $x_1$  saadaan kaavasta 40.

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{bf_{cd1}} \quad (40)$$

$F_{Ed}$  kuormittava tukivoima

$b$  puristuspinnan leveys

$f_{cd1}$  puristuslujuus (ks. kaava 37)

Solmun 2 korkeus  $a_0$  joudutaan arvioimaan tai iteroimaan niin, että ehto  $\sigma_{c0} < f_{cd1}$  toteutuu. Puristus – ja vetoresultantin välinen momenttivarsi on kaavan 41 mukainen.

$$Z = d - \frac{a_0}{2} \quad (41)$$

$d$  konsolin momenttivarsi

$$\sigma_{c0} = \frac{F_{c0}}{ba_0} \quad (42)$$

jossa,

$$F_{c0} = \frac{M_{Ed,s}}{Z} \quad (43)$$

jossa,

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} * c + H_{Ed} * h_1 \quad (44)$$

jossa,

$H_{Ed}$  mitoitusvaakavoima

$h_1$  pystyettäisyys vetoraidoitukseen kuormituksen  $F_{Ed}$  vaikutuspisteestä

Kuorman momenttivarsi  $c$ , saadaan kaavasta 45.

$$c = a_c + \frac{x_1}{2} \quad (45)$$

$a_c$  kuorman  $F_{Ed}$  etäisyys pilarin ulkoreunasta (kuva 17)

$x_1$  solmun leveys (ks. kaava 40)

Vetoraudoitus  $A_s$ , mitoitetaan voimalle  $F_{t1}$  (kuva 17). Voima  $F_{t1}$  saadaan kaavasta 46.

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed}, \quad A_s \geq \frac{F_{t1}}{f_{sd}} \quad (46)$$

Vetoraudoituksen mitoitusehto (kaava 47):

$$F_{t1} < A_{s1} * f_{sd} \quad (47)$$

$A_{s1}$  valittu teräsmäärä

$f_{sd} = f_{sk}/\gamma_s$  betoniteräksen laskentalujuus

## 9.2 Puristussolmu 1

Puristussolmussa 1, johon ankkuroituu vain yhdestä suunnasta vetosauvoja ja joihin liittyy puristussauvoja, (kuva 14) jännitys  $f_{cd3}$  saadaan kaavasta 38.

Puristusjännityksen  $\sigma_{c5}$  kokonaisarvo saadaan kaavasta 48.

$$\sigma_{c5} = \frac{F_{Ed}}{ba_5} \left( 1 + \left( \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \right)^2 \right), \quad \leq f_{cd3} \quad (48)$$

$a_5$  Kuorman vaikutusleveys (kuva 16)

Edellisessä kappaleessa määritetty vetovoiman  $F_{t1}$  ankkuroinnista solmun 1 alueella syntyy nimellinen puristusjännitys  $\sigma_{c6}$  vaakasuoraan, jonka tulee olla pienempi kuin  $f_{cd3}$ . Puristusjännitys voidaan laskea kaavan 49 avulla. (7.)

$$\sigma_{c6} = \frac{F_{t1}}{(b * u)} < f_{cd3} \quad (49)$$

u                    2 \* raudoituksen suojaetäisyys +  $\Phi/2$  (ks. kohta 10.1)

Mikäli jännitykset  $\sigma_{c5}$  ja  $\sigma_{c6}$  täyttävät niille asetetut ehdot, niin jännitys  $\sigma_{c4}$  on automaattisesti hyväksyttävä. (7.)

Puristusresultantti  $F_c$  saadaan yhtälöstä 50. Tämä puristusresultantti aiheuttaa poikittaisen halkaisuvoiman. Tämä edellyttää halkaisuraidoituksen mitoittamista ja se voidaan mitoittaa hakoina ja vaakasuorana pintaraidoituksena. (7.)

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin\theta} \quad (50)$$

Vetoterästen lisäksi betonikonsoliin tulee asettaa uuman korkeudelle tasaisesti jaettu rauditus. Tämän poikkileikkausala tulee olla vähintään  $0,25 \cdot A_s$ . (7.)

Jos mitta  $a_c < 0,5 \cdot h_c$  konsoliin tulee päävetoraidoituksen lisäksi lisätä vaakasuuntaisia tai kaltevia umpihakoja, jotka täyttävät ehdon  $A_{s,ink} \geq k_1 \cdot A_{s,main}$  (kuva 18 (a)). (6.)

$k_1$                     Kansallisen liitteen mukaan. Suositusarvo on 0,25

Jos mitta  $a_c > 0,5 h_c$  ja  $F_{Ed} < V_{Rd,c}$ , tulee konsoli varustaa päävetoraidoituksen lisäksi pystysuuntaisilla umpihaoilla, jotka täyttävät ehdon  $A_{s,ink} \geq k_2 \cdot F_{Ed} / f_{yd}$  (kuva 18 (b)). (6.)

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (51)$$

Vähimmäisarvon ollessa

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (52)$$

missä

$f_{ck}$                     betonin lieriölujuuden ominisarvo (ks. taulukko 10)

$k$                     =  $1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  tehollinen korkeus  $d$  on millimetreinä

$\rho_l$                     =  $\frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$

$A_{sl}$  tarkasteltavan poikkileikkauksen momentin itseisarvon pienenemissuuntaan vähintään mitan  $(l_{bd} + d)$  verran ulottuvan vetoraidoituksen pinta-ala (kuva 19)

$b_w$  poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2f_{cd}$$

$N_{Ed}$  poikkileikkauksen normaalivoima

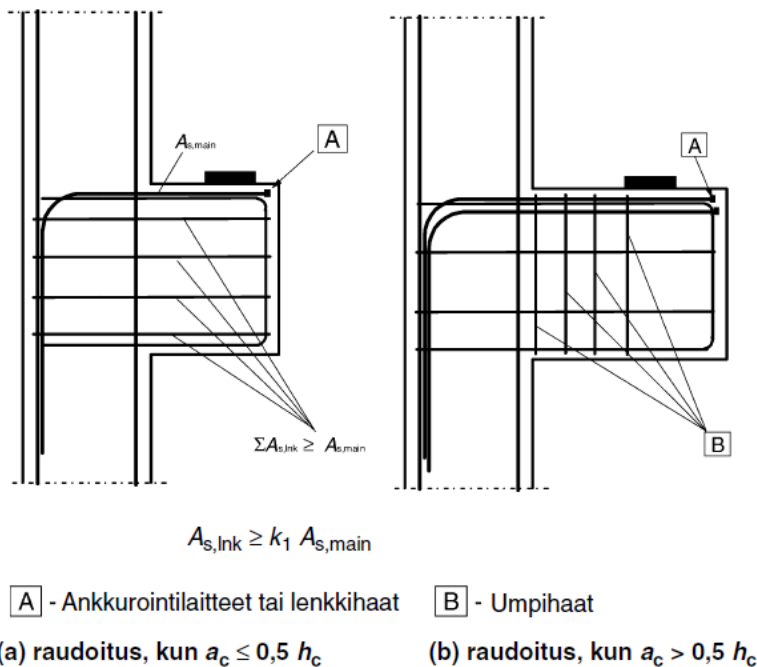
$A_c$  betonipoikkileikkauksen pinta-ala

Suureiden  $C_{Rd,c}$ ,  $v_{min}$  ja  $k_1$  arvot voidaan esittää kansallisissa liitteissä. Suositusarvot suureille ovat:

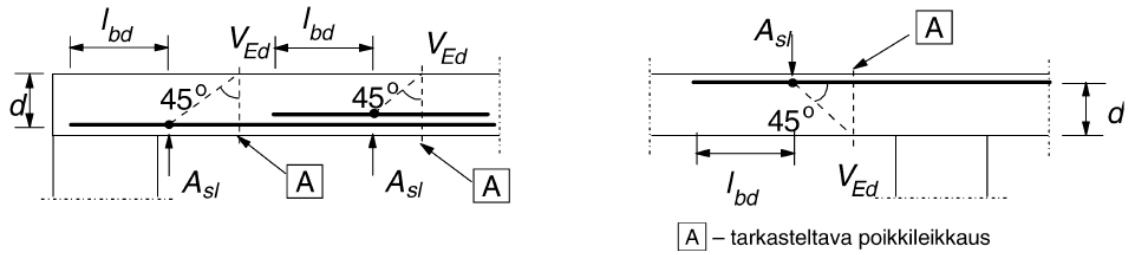
$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$v_{min} = 0,035k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

$$k_1 = 0,15$$



Kuva 18. Konsolin yksityiskohtien suunnittelu (6)

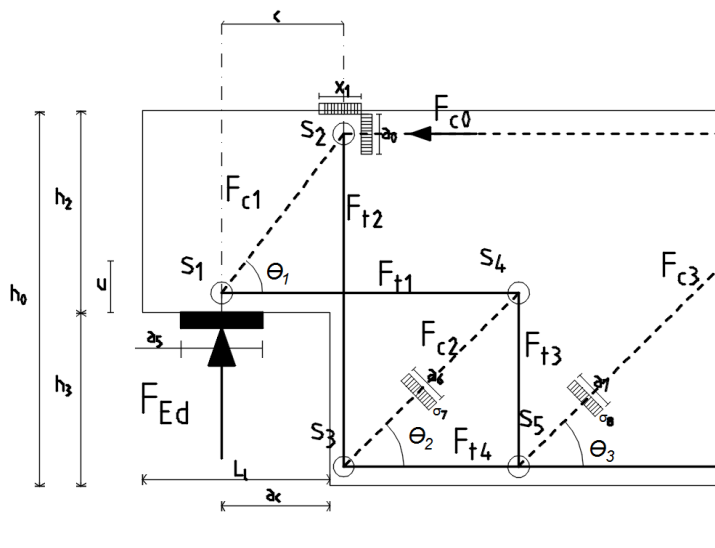


Kuva 19. Kaavan 51 mukaisen vetoraidoituksen  $A_{sl}$  määrittelykohta (6)

Päävetoraidoitus ankkuroidaan tukena olevan rakenneosan vastakkaiselle puolelle molemmista päistään. Ankkurointipituus mitataan etupuolella olevan pysty-raudoituksen sijainnista. Raidoitus ankkuroidaan konsoliin ja ankkurointipituus mitataan konsolin tukilevyn sisäreunasta. (6.)

## 10 Lovipääpalkin mitoitus

Lovipääpalkin mitoituksessa käytetään betonikonsolin tavoin ristikkomallia. Lovipääpalkin mitoitus usein kävelee käsi kädessä betonikonsolin mitoituksen kanssa, sillä lovipäässäkin on kyse epäjatkuvuuskohdasta (D-alue). Tässä kappaleessa hyödynnetään kappaleen 8 ja kappaleen 9 antamia kaavoja ja suureita.



Kuva 20. Lovipääpalkin ristikkomalli. Katkoviivat kuvaavat puristussauvoja ja ehjät viivat vetosauvoja.

## 10.1 Solmu $s_1$

Lovipääpalkin solmu  $s_1$ , lasketaan samalla periaatteella kuin betonikonsolin solmukohta 1. Koska solmuun ankkuroituu vain yhdestä suunnasta vetosauvoja ja siihen liittyy myös puristussauva, saadaan solmun puristuslujuus  $f_{cd3}$  kaavasta 38. Puristusjännityksen kokonaisarvo  $\sigma_{c5}$ , sekä mitoitusehto saadaan kaavasta 48.

Solmusta  $s_1$  lähtevä vaakasuuntainen vetosauvan vetovoima  $F_{t1}$  saadaan kaavasta 46. Rauditus  $A_s$  mitoitetaan tälle voimalle ja vetoraudituksen mitoitusehto löytyy kaavasta 47.

Vetovoima  $F_{t1}$  ankkuroinnista aiheutuu nimellistä vaakasuoraa puristusjännitystä  $\sigma_{c6}$ , joka lasketaan kaavalla 49.

Vetosauvojen leveys  $u$  (kuva 14) riippuu raudituksen ankkuroitumisesta:

$u = 0$	kun yhdessä kerroksessa oleva rauditus ei ankkuroidu solmun alueen taakse,
$u = 2c$	kun yhdessä kerroksessa oleva rauditus ankkuroituu vähintään mitan $c$ solmun alueen taakse,
$u = 2c + (n-1)s$	kun $n$ kerrosta käsittävä rauditus ankkuroituu vähintään mitan $\max(c, s/2)$ solmun alueen taakse. $s$ = tankoväli pystysuunnassa (7)

## 10.2 Solmu $s_2$

Solmun  $s_2$  vaakasuora mitta  $x_1$  lasketaan kaavalla 40. Solmuun  $s_2$  ankkuroituu puristussauvojen lisäksi vetosauvoja, joten puristuslujuus  $f_{cd1}$  saadaan kaavasta 38. Näin ollen voidaan todeta, että  $f_{cd1} = f_{cd3}$ . Vaakasuora puristusvoima  $F_{c0}$ , sekä vaakasuora jännitys  $\sigma_{c0}$  saadaan soveltamalla kaavoja 41- 45.

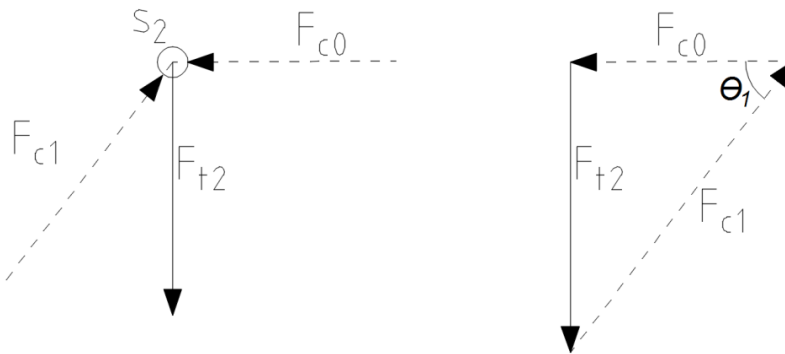
Diagonaalipuristusvoima  $F_{c1}$  saadaan laskettua kaavalla 50, joka perustuu voimamonomiokulmioihin ja trigonometriaan.

Kulma  $\Theta_1$  voidaan ratkaista kaavan 53 avulla.



$$\theta_1 = \text{atan}\left(\frac{F_{Ed}}{F_{t1}}\right) \quad (53)$$

Solmussa  $s_2$  vaikuttava pystysuuntainen voima  $F_{t2}$ , voidaan ratkaista käyttämällä voimien tasapainoehtoa ja voimakolmioita (kuva 21)



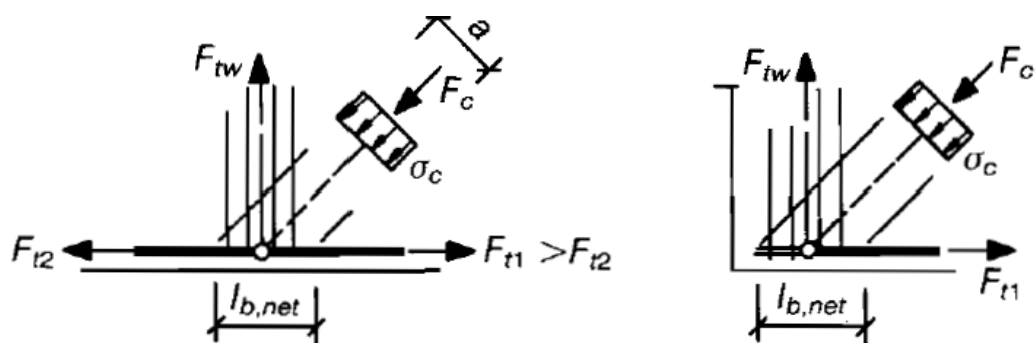
Kuva 21. Solmuun  $s_2$  vaikuttavat voimasauvat ja niiden muodostama voimakolmio.

Näin ollen voima  $F_{t2}$  saadaan kaavasta 54.

$$F_{t2} = F_{c1} * \sin\theta_1 \quad (54)$$

### 10.3 Solmu $s_3$

Solmuun  $s_3$  ankkuroituu useammassa suunnassa vetosauvoja ja solmuun liittyy myös puristussauvoja, joten solmun puristuslujuus  $f_{cd4}$  lasketaan kaavalla 39. Pääraudoituksen vetovoima ankkurointi tapahtuu hakojen tai muiden poikittaisten raudoitusten ja puristavan diagonaalivoiman avulla. Haat ja muut poikittaiset raudoitukset taivutetaan pääraudoituksen ympäri (kuva 22). (7.)



Kuva 22. Solmussa  $s_3$  vetovoima toisiaan vastaan kohtisuorissa suunnissa (7)

Solmussa  $s_3$  vaikuttava puristusdiagonaalin  $F_{c2}$  maksimileveys riippuu solmun reunalla taivutettujen terästen taivutetun osan mukaan (kuva 15). Jotta raudointus ei pääsisi leviämään poikittaisessa suunnassa, tulee haat tai lenkit asentaa taivutuksen alkamiskohtaan ja päättymiskohtaan. Solmun kulma  $\Theta_2$  ratkaistaan kaavan 55 avulla.

$$\theta_2 = \operatorname{atan}\left(\frac{F_{t2}}{F_{t1}}\right) \quad (55)$$

Kun tiedetään kulma  $\Theta_2$ , voidaan ratkaista solmuun vaikuttava puristusdiagonaali  $F_{c2}$  kaavalla 56.

$$F_{c2} = \frac{F_{t2}}{\sin\theta_2} \quad (56)$$

Solmuun vaikuttava puristusjännitys  $\sigma_{c7}$  voidaan laskea kaavalla 57.

$$\sigma_{c7} = \frac{F_{c2}}{a_6 b} \quad (57)$$

$F_{c2}$  puristusdiagonaali (ks. kaava 56)

$a_6$  puristusdiagonaalin leveys (ks. kaava 58)

$$a_6 = \frac{F_{c2}}{b * f_{cd4}} \quad (58)$$

Solmuun vaikuttava puristusjännitys tulee täyttää ehdon  $\sigma_{c7} \leq f_{cd4}$ .

Solmusta lähtevä vaakasuuntainen vetosauva  $F_{t4}$  saadaan trigonometrian avulla kaavasta 59.

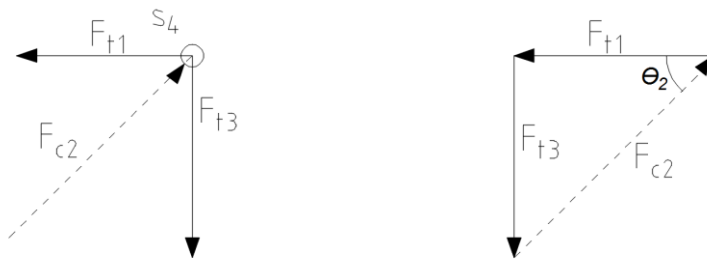
$$F_{t4} = \frac{F_{t3}}{\tan\theta_2} \quad (59)$$

Kuten kohdassa 9.2, myös solmussa  $s_3$  vetovoiman  $F_{t4}$  ankkuroinnista solmun alueelle syntyy vaakasuoraa nimellistä puristusjännitystä. Puristusjännitys lasketaan soveltaen kaavaa 49. Jännityksen tulee olla pienempi kuin  $f_{cd4}$ .

#### 10.4 Solmu s<sub>4</sub>

Solmuun s<sub>4</sub> vaikuttavat voimat aiheuttavat siihen saman puristusjännityksen  $\sigma_{c7}$  (kaava 57) ja vastaavasti puristuslujuus  $f_{cd5}$  ratkaistaan kaavalla 39. Voidaan näin ollen todeta, että  $f_{cd5} = f_{cd4}$ . Solmun s<sub>4</sub> tuntematon voima  $F_{t3}$ , joka on veto-voima, voidaan ratkaista voimakolmiolla kaavasta 59 (kuva 23).

Solmuun vaikuttavan puristusjännityksen tulee täyttää ehto  $\sigma_{c7} \leq f_{cd5}$ .



Kuva 23. Solmuun s<sub>4</sub> vaikuttavat voimasauvat ja niiden muodostama voimakolmio.

$$F_{t3} = F_{t1} * \tan\theta_2 \quad (59)$$

#### 10.5 Solmu s<sub>5</sub>

Solmuun s<sub>5</sub> ankkuroituu useammassa suunnassa vetosauvoja ja siihen liittyy myös puristussauva, joten solmun s<sub>5</sub> puristuslujuus  $f_{cd6}$  ratkaistaan kaavalla 39.

Voima  $F_{c3}$  aiheuttaa solmuun puristusjännityksen. Puristusjännitys  $\sigma_{c8}$  lasketaan samalla periaatteella kuin edellä mainittuun solmuun s<sub>3</sub> vaikuttava puristusjännitys. Puristusjännitys saadaan kaavasta 60.

$$\sigma_{c8} = \frac{F_{c3}}{a_7 * b} \quad (60)$$

Solmuun vaikuttava puristusjännitys tulee täyttää ehto  $\sigma_{c8} \leq f_{cd6}$ .

$F_{c3}$  puristusdiagonaali (ks kaava 60)

$a_7$  puristusdiagonaalin leveys (ks. kaava 61)

Puristusdiagonaali  $F_{c3}$  saadaan ratkaistua kaavan 60 avulla.

$$F_{c3} = \frac{F_{t3}}{\sin\theta_3} \quad (60)$$

$$a_7 = \frac{F_{c3}}{b * f_{cd6}} \quad (61)$$

Vetosauvojen vaatimat raudoitukset saadaan yksinkertaisesti kaavasta 62.

$$A_s \geq \frac{F_t}{f_{sd}} \quad (62)$$

Muut halkeamista ja pääraudoitusten leviämistä estävät haat ja vaakasuorat pintaraudoitukset tulevat samalla periaatteella kuin luvussa 9.2 on esitetty. Puristusvoimia  $F_c$  aiheuttavat halkaisuvoimia, poikittaista vetoa. Poikittainen veto  $F_t$  jolle haat ja vaakasuorat pintaraudoitukset mitoitetaan, saadaan kaavasta 63. (7.)

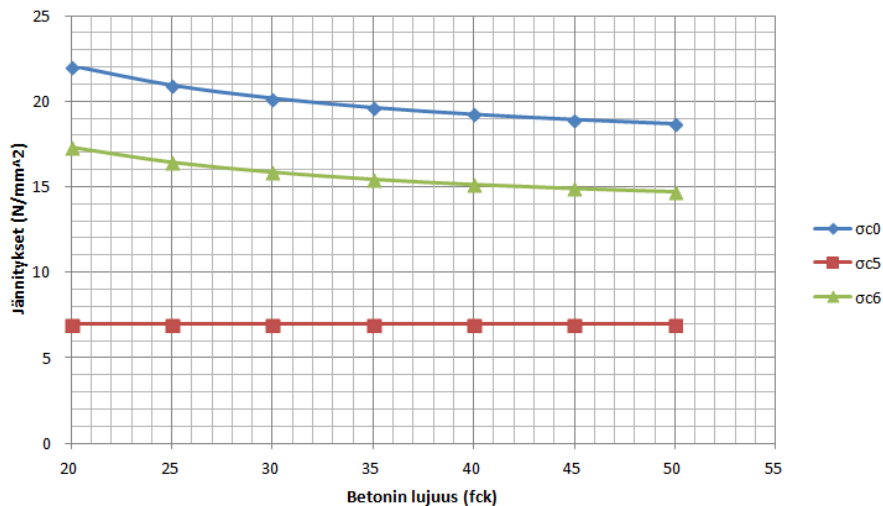
$$F_t = 0,25 * F \left(1 - \frac{a}{b}\right) \quad (63)$$

Uuman korkeudelle jaetun raudoituksen poikkileikkausalan tulee kuitenkin olla vähintään  $0,25A_s$ . (7.)

Kuvan 14 mukaisessa solmussa tarvittavan ankkurointipituuden nettoarvo  $0,7l_b = l_{b,net}$  on Eurocode 2 mukainen. Jos ankkurointialueella on voiman  $F_c$  (kuva 22) tai tukivoiman aiheuttamaa raudoitusta vastaan kohtisuoraa puristusjännitystä, ankkurointipituuteen liittyvä kerroin  $\alpha_5 = 0,7$ . (7.)

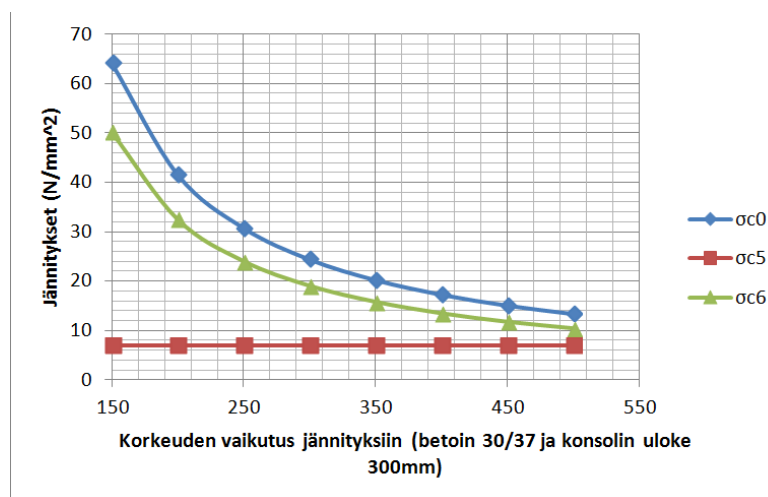
## 11 Mitoituksen analysointi

Konsoliin muodostuvien jännitysten pienentäminen on mahdollista kasvattamalla betonin lujuutta. Tämä ei kuitenkaan ole kovin tehokas tapa. Kuten kuvasta 24 huomaa, betonin lujuuden kasvattaminen ei pienennä kovinkaan paljon jännityksiä. Betoni, lujuudeltaan C20/25, suurin puristusjännitys on  $22,07 \text{ N/mm}^2$  ja betonin ollessa lujuudeltaan C50/60 puristusjännitys on  $18,71$ . Näin ollen lujuuden kasvattaminen pienensi jännityksiä  $22,07 \text{ N/mm}^2 - 18,71 = 3,36 \text{ N/mm}^2$



Kuva 24. Betonin lujuuden vaikutus jännityksiin (konsolin korkeus 350 mm ja konsolin uloke 300 mm)

Korkeutta kasvattamalla konsoliin muodostuvien jännitysten pieneminen on betonin lujuuden kasvattamiseen verrattuna paljon tehokkaampaa. Kuten kuvasta 25 huomataan jo 50 mm konsolin korkeuden kasvattaminen pienentää jännityksiä huomattavasti. Kuitenkin korkeuden kasvaessa jännitysten pienemisnopeus hidastuu. Tämä vaikuttaa kuitenkin konsolin ulkonäköön ja joissain tilanteissa konsolin suuresta koosta on enemmän haittaa kuin hyötyä.

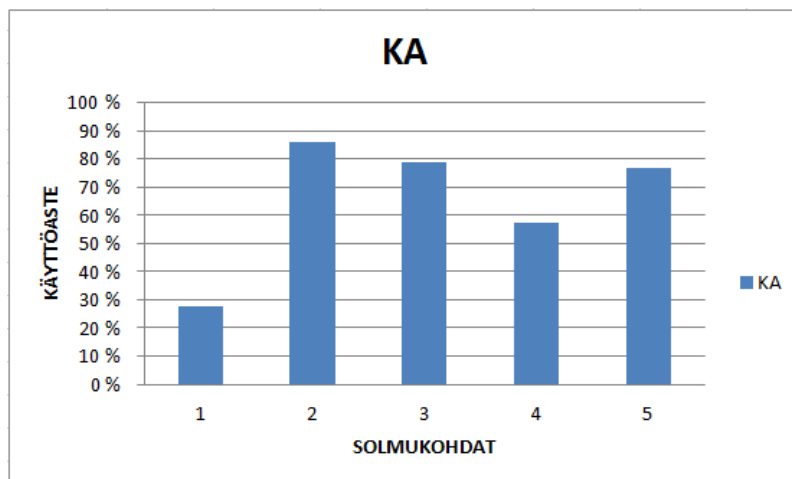


Kuva 25. Konsolin korkeuden vaikutus jännityksiin

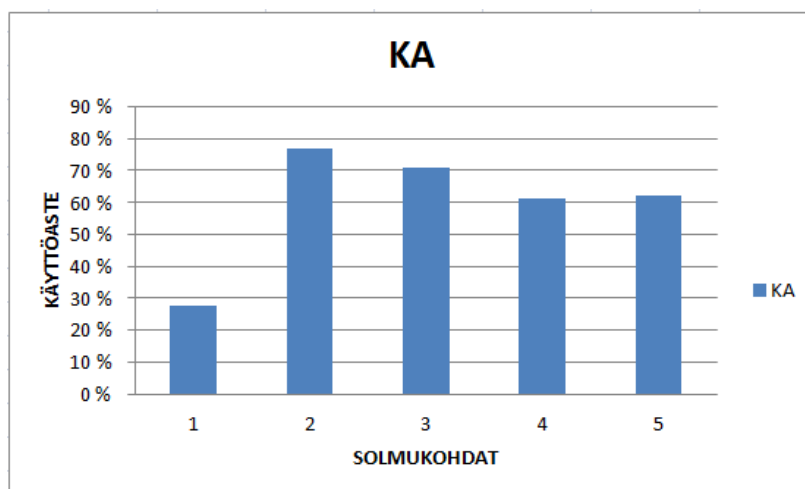
Rakennesuunnittelijan tulisi näin ollen löytää tehokkain ja edullisin ratkaisu toimivaan betonikonsoliin. Haasteena saattaa tulla myös raudoitusten mahtuminen

konsoliin. Leikkausraudoitus ja vaakasuoraan tulevat uuman korkeudelle jaetut halkaisuvoimaa vastaan toimivat pintaraudoitukset ja haat vaativat tietyn määrän tilaa. Joissakin tilanteissa tämä tilantarve saattaa toimia konsolin geometri-an mitoittavana tekijänä.

Lovipääpalkin mitoituksessa voi nostaa esille samankaltaiset huomiot kuin mitä betonikonsolin mitoituksessa nostettiin. Kuten betonikonsolissa niin myös lovipääpalkissa korkeuden kasvattaminen pienentää rakenteeseen muodostuvia jännityksiä. Kun loven korkeus oli 500 mm ja kuormitus vakio, saatiin kuvan 26 mukaiset käyttöasteet ja korkeuden ollessa 550 mm saatiin kuvan 27 mukaiset käyttöasteet.



Kuva 26. Solmukohtien käyttöasteet kun loven korkeus on 500 mm.



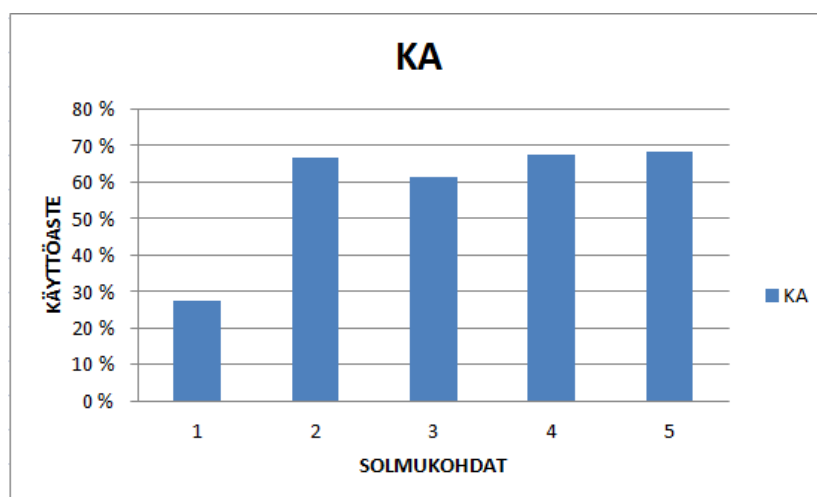
Kuva 27. Solmukohtien käyttöasteet kun loven korkeus on 550 mm

Kuvia 26 ja 27 vertailemalla huomataan, että jo 50 mm korkeuden kasvattaminen alentaa joidenkin solmukohtien käyttöastetta, joten rakenteen kestävyys kasvattamisen kannalta on tehokasta kasvattaa loven korkeutta.

Pylväsdiagrammeista voidaan huomata, että korkeuden kasvattua kaikissa solmukohtissa ei kuitenkaan tapahdu jännitysten pienenemistä ja näin ollen käyttöasteet pysyvät samana. Esimerkiksi solmussa 1 syntyvään jännitykseen vaikuttaa neopreenilaakerin tai muun liitoslevyn pinta-alasta saatava kuormitusleveys. Kun tämä kuormitusleveys pysyy vakiona, ei jännityksetkään muutu ja näin ollen käyttöaste pysyy samana.

Lovipääpalkin leveyden kasvattaminen on tehokas tapa kasvattaa rakenteen kestävyttä, mutta leveys kulkee usein käsi kädessä betonikonsolin kanssa ja betonikonsolin leveys puolestaan kulkee pilarin leveyden kanssa. Näin ollen palkin leveyden kasvattaminen ei ole kannattava vaihtoehto, ellei tilanne sitä salli.

Lovipääpalkin loven pituudella on suuri merkitys rakenteen kestävyteen. Tarkastellaan edellä mainittujen käyttöasteiden käyttäytymistä kun loven pituutta muutetaan. Kuvan 26 tapauksessa, jossa loven korkeus on 500 mm, on loven pituus 400 mm. Kun tätä pituutta pienennetään 50 mm, saadaan kuvan 28 mukaiset käyttöasteet.



Kuva 28. Solmukohtien käyttöasteet kun loven pituus on 350 mm.

Kuvan 26 ja 28 pylväitä vertailemalla huomataan että käyttöasteet laskevat solmukohdissa jopa lähes 30 %. Kuitenkin solmukohdassa 5 käyttöaste nousee. Kun loven pituus lyhenee puristussauvan vaikutuskulmat kasvavat. Kun puristussauvan kulma kasvaa, pienenee tämän voiman vaikutuspinta-ala näin ollen kasvattaen jännitystä.

Lovipääpalkin mitoituksessa on jokseenkin hankalaa löytää optimaalinen raudoitusmäärä sillä raudoitteiden halkaisijat ja määrät vaikuttavat rakenteen jännityksiin. Kuten betonikonsolissa tulee lovipääpalkissa valita sellaiset raudoitteet, jotka mahtuvat palkin leveydelle.

Eurokoodi 2, osa 1-1 mukaan yhdensuuntaisten tankojen vapaaväli tulee olla vähintään suurin arvoista  $k_1 \cdot$  tangon halkaisija,  $(d_g + k_2 \text{ mm})$  ja 20 mm, missä  $d_g$  on kiviaineksen suurin raekoko.

Vertailemme Excel-laskuria, joka mitoittaa eurokoodin pohjalta laskuriin, joka mitoittaa Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) mukaan huomasimme, että eurokoodipohjainen laskuri vaati hieman enemmän pääraudoitusta kuin RakMk:n mukaan mitoitettu pienehkö konsoli. Konsolin kasvaessa suureksi vaaditut raudoituserot eri kyseisten laskureiden välillä kuitenkin pienivät.

## 12 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön päätavoitteena oli tutkia kuormitusten ja kuormitusyhdistelmien kautta betonipilarin ja -palkin liitoksen mitoitusta. Liitoksen mitoitus osoittautui eurokoodien ja hyvien lähdeaineistojen avulla suhteellisen yksinkertaiseksi. Tärkeimmäksi asiaksi voisi nostaa onnettomuusrajatilassa tapahtuvien jatkuvien sortumien ja palkin tuelta putoamisen tutkimisen.

Toisena päätavoitteena oli tuottaa Päijät-Suunnittelu Oy:lle Excel-laskentaa eurokoodipohjaisesta betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoituksesta. Konsolin ja lovipääpalkin mitoitus pohjautuu ristikkoanalogiaan ja lujuuksien ja jännitysten tarkasteluihin. Keskeisimmäksi asiaksi mitoituksessa sijoittaisiin vetosauvojen aiheuttamien vetovoimien suuruuden tunnistamisen ja tätä voimaa vas-



taavien terästen ankkuroimisen. Myös solmupisteet vaativat eritoten tarkkailua, sillä niihin kohdistuu poikittaisten vetovoimien ankkuroinnista aiheutuvaa puristusjännitystä.

Alkuperäiset tavoitteet, jotka asetettiin työn alussa, onnistuivat, paitsi aikataulullisesti. Työn ohella opinnäytetyön tekeminen ei ollutkaan niin helppoa kuin olin aluksi ajatellut. Työhön sisällytettiin myös neopreenilaakerin mitoittaminen. Eurokoodin mukaisen tuulikuorman määrittäminen olisi tullut hyvin työlääksi, joten työssä esitettiin lyhennetty versio. Betonikonsolin ja lovipääpalkin mitoitus ja ristikkomenetelmä ottivat ajallisesti ja sivumääräisesti suuren osuuden työstä, sillä ristikkomenetelmä oli itselleni jokseenkin tuntematon käsite. Mielestäni sain kuitenkin työhön mahdollisimman selkeän ja yksinkertaisen kuvan kyseisestä menetelmästä. Työn haasteina oli saada kokonais käsitys ristikkomenetelmästä ja jännitysten jakaantumisista.

## Taulukot

- Taulukko 1. Hyötykuorman luokat käyttötarkoitusten perusteella, s.8  
Taulukko 2.  $c_{p,net}$  ulkoseinien paikallisia nettopainekertoimia, s 12  
Taulukko 3. Suurimmalle paikalliselle imulle olevia katon tuulen nettopainekertoimia  $C_{p,net}$ , s 12  
Taulukko 4. Yksinkertaistetussa menettelyssä käytettäviä voimakertoimia  $c_f$ , s 13  
Taulukko 5. Yhdistelykertoimien  $\Psi$  arvot rakennuksille, s 14  
Taulukko 6. Seuraamusluokkakertoimet, s 15  
Taulukko 7. Kumilevyjen kertoimet  $C_p$  ja  $C_a$ . Arvojen väliin jäävät kertoimet voidaan interpoloida, s 21  
Taulukko 8. Tappiliitoksen leikkauskapasiteetti onnettomuuskuormille.(harmattu alue suurlujuusbetonia), s 25  
Taulukko 9. Murtorajatilojen materiaaliosavarmuusluvut, s 26  
Taulukko 10. Betonin lujuuksia, s 27

## Kuvat

- Kuva 1. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo  $s_k$ , s 9  
Kuva 2. Lumikuorman muotokerroin  $\mu$ , s 9  
Kuva 3. Kattojen lumikuormien muotokertoimet. a) pulpettikatto, b) harjakatto ja c) sahakatto, s 10  
Kuva 4. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvot rakennuksen korkeuden suhteen  $q_k(h)$ , s 11  
Kuva 5. I- ja II-palkin liitos pilariin yhdellä pultilla, s 19  
Kuva 6. I- ja II-palkin liitos pilariin kahdella pultilla, s 20  
Kuva 7. Kumilaakerin mitat, s 23  
Kuva 8. Palkin ja pilarin liitos, s 27  
Kuva 9. Sauvojen liittymäperiaatteita, s 29  
Kuva 10. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristus kentässä, jota hallitaan jakaantuneella raudoituksella, s 30  
Kuva 11. Betonin puristuskaistan mitoituslujuus, kun kaistassa ei esiinny poikittaista vedoa, s 31  
Kuva 12. Betonin puristuskaistan mitoituslujuus, kun siihen kohdistuu poikittaista vetoa, s 32  
Kuva 13. Solmukohta johon liittyy pelkästään puristussauvoja, s 32  
Kuva 14. Solmukohta, joka on sekä puristettu että vedetty, ja johon liittyy yhden suunnan vetorautoitus, s 33  
Kuva 15. Solmu, joka on sekä puristettu että vedetty ja johon liittyy kahden suunnan vetorautoitus, s 33  
Kuva 16. Betonikonsolin ristikkomalli, s 34  
Kuva 17. Ulokkeen ristikkomalli ja tarvittavien solmujen kestävyystarkastelu, s 34  
Kuva 18. Konsolin yksityiskohtien suunnittelu, s 38  
Kuva 19. Kaavan 51 mukaisen vetorautoituksen  $A_{s1}$  määrittelykohta, s 39  
Kuva 20. Lovipääpalkin ristikkomalli. Katkoviivat kuvaavat puristussauvoja ja ehjät viivat vetosauvoja, s 39

- Kuva 21. Solmuun  $s_2$  vaikuttavat voimasauvat ja niiden muodostama voimakolmio, s 41
- Kuva 22. Solmussa  $s_3$  vetovoima toisiaan vastaan kohtisuorissa suunnissa, s 41
- Kuva 23. Solmuun  $s_4$  vaikuttavat voimasauvat ja niiden muodostama voimakolmio, s 43
- Kuva 24. Betonin lujuuden vaikutus jännityksiin (konsolin korkeus 350 mm ja konsolin uloke 300 mm), s 45
- Kuva 25. Betonin korkeuden vaikutus jännityksiin, s 45
- Kuva 26. Solmukohtien käyttöasteet kun loven korkeus on 500 mm, s 46
- Kuva 27. Solmukohtien käyttöasteet kun loven korkeus on 550 mm, s 46
- Kuva 28. Solmukohtien käyttöasteet kun loven pituus on 350 mm, s 47

## Lähteet

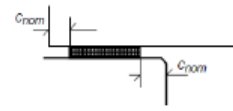
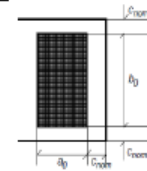
1. Päijät-suunnittelu Oy. [www.psuun.fi](http://www.psuun.fi). Luettu 16.2.2015.
2. Elementtisuunnittelu.fi. [www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi). Luettu 16.2.2015.
3. SFS-EN 1991-1-1 + AC. Eurokoodi. Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat, hyötykuormat ja omapaino.
4. RIL 201-1-2011. Kuormitukset. Lumikuorma, tuulikuorma ja kuormitusyhdistelyt.
5. Puuinfo. Puurakenteiden lyhennetty suunnittelu ohje. Kolmaspainos. Lumi-kuorma. Tuulikuorma.  
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjeweewwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>. Luettu 18.2.2015.
6. SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi. Betonirakenteiden suunnittelu.
7. Leskelä, M. 2005. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210 2010. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.
8. Leskelä, M. 2009. Kumilaakerien mitoittaminen. Raportti RTL 0105. Versio 12.09.2009. Oulun yliopisto.
9. Betoninormikortti 23. Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille standardin SFS-EN-1991-1-7 yleiset kuormat, onnettomuuskuormat mukaan 1.6.2012.

# LIITE 1

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO SIVU
		PVM
<b>NEOPREENILAAKERIN MITOITUS</b>	Valmis arvo	LAATIJA
	Syötä arvo	

## Kumilevyn ominaisuudet ja geometria

Kumilevyn kovuus	h=	60 ShoreA
Levyn pienempi sivumitta	a <sub>0</sub> =	200 mm
Levyn suurempi sivumitta	b <sub>0</sub> =	340 mm
Levyn paksuus	t=	12 mm
Kumilevyn pinta-ala	A=	68000 mm <sup>2</sup>



## Kuorma

$$N_{EK} = 290 \text{ kN}$$

$$\text{Kumilevyn muotoluku } S = 5,25$$

$$\text{Kumilevyn liukukerroin } G(h) = 0,98 \text{ N/mm}^2$$

Kiertymiskyvyn takaamiseksi levyn hoikkuutta rajoitetaan:  $5 \leq a_0/t \leq 15 \dots 20$

$$a_0/t = 16,6667 \text{ OK}$$

## Kumilevyn kuormitettavuudet

Vaikiokerroin	C <sub>p</sub> =	4,595
Vakiokerroin	C <sub>a</sub> =	0,466
Mittasuhte	b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub> =	1,7
Palkin oletettu kiertymä	α=	0,005 (rad)
Maksimipainuma	Δ <sub>c,lim</sub> =	3 mm (Runko-BES ohjeessa käytetty 3 mm)
Kitkan huomioiva kerroin	k <sub>slip</sub> =	1,9
	G <sub>r</sub> =	1,10 N/mm <sup>2</sup>

b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	10
C <sub>p</sub>	4,73	4,28	4,02	3,84	3,70	3,60	3,51	3,45	3,40	3,35	3,32	3,15
b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	3	> 3			
C <sub>a</sub>	0,464	0,471	0,476	0,48	0,483	0,485	0,489	0,49	0,49			

$$\text{Painumaehdon huomioon ottava kuormitettavuus } P_{k1} = 613,7 \text{ kN}$$

$$\text{Leikkausjännitysrajan huomioon ottava kuormitettavuus } P_{k2} = 527,1 \text{ kN}$$

$$\text{Maksimipainuman huomioon ottava kuormitettavuus } P_{k3} = 826,3 \text{ kN}$$

$$\text{Kumilevyn kuormitettavuus } P_k = 527,1 \text{ kN}$$

$$\text{Käyttöaste } 55 \% \text{ OK}$$

LIITE 2

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	1/(3)
		PVM 21.4.2015	
<b>BETONIKONSOLIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo:	LAATIJA	
	Valmis arvo tai kaava:	Kalle Rautaporras	

**Kuormitukset**

Seuraamusluokka: **CC2**  
 $K_{FI} = 1,0$

Kuormitusluokka:  
**Luokka C: kokoontumistilat**

**Pysyvät kuormat (rakenteiden omat painot)**

$g_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

**Muuttuvat kuormat**

$q_{k1} = 5,0 \text{ kN/m}^2$

$q_{k2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

**Kuormitusyhdistelmät**

Yhdistelykertoimet:

$\psi_0 = 0,7$

$\psi_1 = 0,7$

$\psi_2 = 0,3$

KY1  $q_{k1}$  on määrävä muuttuva kuorma:

$P_d = 111,1 \text{ kN/m}$

KY2  $q_{k2}$  on määrävä muuttuva kuorma:

$P_d = 103,3 \text{ kN/m}$

$P_{d,max} = 111,1 \text{ kN/m}$

$F_{Ed} = 444,5 \text{ kN}$

$V_{Rd} = 144,7 \text{ kN}$

$\sigma_{cp} = 3,3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$

**Geometria**

Pilarien jako: **7 m**

Pilarin poikkileikkaus

$b = 380 \text{ mm}$

$h = 300 \text{ mm}$

Palkin jänneväli **8 m**

**Konsolin mitat**

korkeus  $h = 350 \text{ mm}$

uloke  $L_n = 300 \text{ mm}$

$a_c = 170 \text{ mm}$

leveys  $b = 380 \text{ mm}$

suojabetoni  $c_{nom} = 30 \text{ mm}$

**Neopreenilaakaerin mitat**

paksuus  $t = 8 \text{ mm}$

lyhyempi sivu  $a_n = 200 \text{ mm}$

pidempi sivu  $b_n = 320 \text{ mm}$

**Valitse päävetoteräksät**

OK halkaisija  $\phi = 14 \text{ mm}$

määrä **6 kpl**

pinta-ala  $A = 923,6 \text{ mm}^2$

$\sigma_{c0} = 19,0 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$

Valitun teräsmäärän KA: **OK**

Päävetoterästen vaatima tila: **OK**

Puristusjäännitykset solmussa 2:

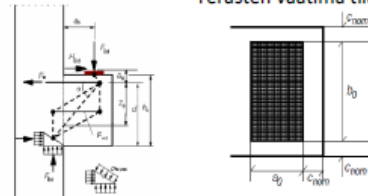
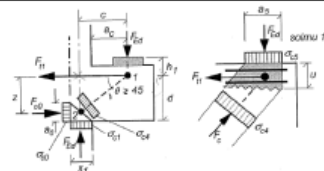
$\sigma_{c5} = \text{OK}$

$\sigma_{c6} = \text{OK}$


Uuman korkeudelle jaetut vetoteräksät: **OK**

Terästen vaatima tila: **OK**

**Laskennassa käytettävä ristikkomalli:**



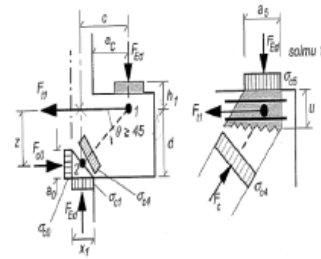
# LIITE 2

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	2/(3)
<b>BETONIKONSOLIN MITOITUS</b>		PVM 21.4.2015	
		LAATIJA Kalle Rautaporräs	

<b>Materiaaliominaisuudet:</b>		
Betoni	<b>C45/55</b>	Teräs <b>A500HW</b>
Materiaaliosavarmuusluvut		
<b>Normaalisti vallitseva ja tilapäinen</b>	$\gamma_c = 1,5$	$\gamma_s = 1,15$
	$\alpha_{cc} = 0,85$	
Puristuslujuuden ominaisarvo	$f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$	$f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$
	$f_{cd} = 25,5 \text{ N/mm}^2$	
Betonin suurin raekoko	$d_g = 32 \text{ mm}$	
	$f_{ctd} = 1,80 \text{ N/mm}^2$	

## SOLMU 2


Puristuslujuus	$f_{cd1} = 20,9 \text{ N/mm}^2$
Puristuspuunnan leveys	$b = 320 \text{ mm}$
Solmun vaakasuora mitta	$x_1 = 66,4 \text{ mm}$
Puristus -vetoresultantin välinen m.var	$Z = 291,0 \text{ mm}$
Konsolin momenttivarsi	$d = 316,5 \text{ mm}$
Pystytäisyys vetorauhoitukseen	$h_1 = 41,5 \text{ mm}$
Mitoitusvaakavoima	$H_{Ed} = \text{kN}$
Kuorman $F_{Ed}$ etäisyys pilarin reunast.	$a_c = 170 \text{ mm}$
Kuorman $F_{Ed}$ momenttivarsi	$c = 203,22 \text{ mm}$
	$M_{Ed,s} = 90,33 \text{ kNm}$
	$F_{c0} = 310,4096 \text{ kN}$
<b>Solmun korkeus (arvioidaan)</b>	$a_0 = 51 \text{ mm}$
	$\sigma_{c0} = 19,0 \text{ N/mm}^2$
Puristusresultantti voima	$F_c = 542,16 \text{ kN}$
Vetorauhoituksen mitoitusvoima	$F_{t1} = 310,41 \text{ kN}$
<b>Valittu vetorauhoitus</b>	$\phi = 14 \text{ mm}$
	<b>määrä: 6 kpl</b>
Valittu vetorauhoitus	$A_{s1} = 923,63 \text{ mm}^2$
Betoniteräksen laskentalujuus	$f_{sd} = 434,8 \text{ N/mm}^2$
	$A_s * f_{sd} = 401,6 \text{ kN}$
	<b>77 % OK</b>



OK

Vetoteräsket vaativat tilaa konsolin leveydellä: 329 mm **OK**

## LIITE 2

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	3/(3)
<b>BETONIKONSOLIN MITOITUS</b>		PVM	
		21.4.2015	
		LAATIJA	
		Kalle Rautaporras	

<b>PURISTUSSOLMU 1</b>	Kulma $\theta=$	55,07	
Puristuslujuus	$f_{cd3}=$	17,77	N/mm <sup>2</sup>
Puristusjännityksen kokonaisarvo	$\sigma_{c5}=$	6,95	N/mm <sup>2</sup>
Voiman $F_{Ed}$ kuormitusleveys	$a_5=$	200	mm
$\sigma_{c5} \leq f_{cd3}$		39 %	<b>OK</b>

Solmun 1 alueen nimellinen puristusjännitys			
	$\sigma_{c6}=$	14,48	N/mm <sup>2</sup>
raudoituksen suojaetäisyys	$c=$	30	mm
$\sigma_{c5} \leq f_{cd3}$		81 %	<b>OK</b>


Uuman korkeudelle tasaisesti jaettu raudoitus			
Diagonaali voima	$F_c=$	542,16	kN
Poikittainen veto	$F_t=$	52,6	kN
Voiman $F_{Ed}$ kuormitusleveys	$a=$	200	mm
Ulokkeen pituus	$L_n=$	380	mm
Poikittainen vetoteräksen	$A_{s,2}=$	178,5	mm <sup>2</sup>
<b>Valitaan</b>	$\phi=$	8	mm
		4	kpl
	$A_{s,2, valittu}=$	201,1	mm <sup>2</sup>
		89 %	<b>OK</b>
Raudoituksen vaatima tila:		203	mm <b>OK</b>

Umpihaat jos:			
$a_c > 0,5 h_c$ <b>Ei tarvitse umpihakoja</b>	$A_{s,haat}=$	511,2	mm <sup>2</sup>
$F_{Ed} > V_{Rd,c}$ <b>Umpihaat</b>			
Haat vaativat tilaa vaakasuunnassa:			mm

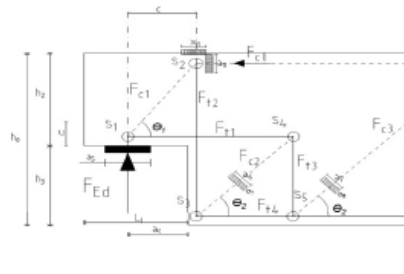
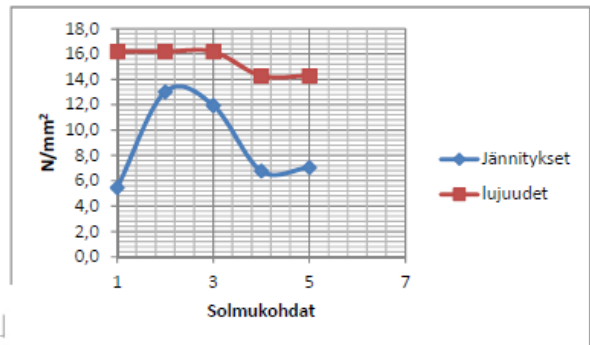
<b>Päivetoterästen ankkurointi</b>			
Harjatankojen tartuntalujuus	$f_{bd}=$	4,05	N/mm <sup>2</sup>
Ankkurointipituuden perusarvo	$l_{b,rqd}=$	375,7	mm
Ankkurointipituuden mitoitusarvo	$l_{bd}=$	296,8	mm




LIITE 3

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	1/(6)
		PVM 21.4.2015	
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo:	LAATIJA	
	Valmis arvo tai kaava:	Kalle Rautaporras	

<b>Kuormitukset</b> Seuraamusluokka: <b>CC2</b> $K_{FI} = 1,0$ Kuormitusluokka: <b>Luokka B: toimistotilat</b> Pysyvät kuormat (rakenteiden omat painot) $g_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$ Muuttuvat kuormat $q_{k1} = 3,5 \text{ kN/m}^2$ $q_{k2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ Kuormitusyhdistelmät Yhdistelykertoimet: $\psi_0 = 0,7$ $\psi_1 = 0,5$ $\psi_2 = 0,3$ KY1 $q_{k1}$ on määräävä muuttuva kuorma: $P_d = 87,3 \text{ kN/m}$ KY2 $q_{k2}$ on määräävä muuttuva kuorma: $P_d = 84,2 \text{ kN/m}$ $P_{d,max} = 87,3 \text{ kN/m}$ $F_{Ed} = 349,3 \text{ kN}$ $V_{Rd,c} = 121,76 \text{ kN}$ $\sigma_{cp} = 3,06 \text{ N/mm}^2$ OK Mitoitus vaakavoima $H_{Ed} = \text{ } \text{ kN}$ Laskennassa käytettävä ristikkomalli	<b>Geometria</b> Pilarien jako: 7 m Pilarin poikkileikkaus $b = 380 \text{ mm}$ $h = 300 \text{ mm}$ Palkin jänneväli 8 m Palkin mitat pituus $L = 8000 \text{ mm}$ leveys $b = 380 \text{ mm}$ korkeus $h_2 = 300 \text{ mm}$ $h_3 = 200 \text{ mm}$ $h_0 = 500 \text{ mm}$ suojabetoni $c_{nom} = 30 \text{ mm}$ loven pituus $L_l = 280 \text{ mm}$ Neopreenilaakaerin mitat paksuus $t = 8 \text{ mm}$ lyhyempi sivu $a_n = 200 \text{ mm}$ pidempi sivu $b_n = 320 \text{ mm}$
--	--



LIITE 3

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	2/(6)
		PVM 21.4.2015	
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo: Valmis arvo tai kaava:	LAATIJA Kalle Rautaporräs	


**Materiaaliominaisuudet:**

Betoni	<b>C40/50</b>	Teräs	<b>A500HW</b>
Materiaaliosavarmuusluvut			
<b>Normaalisti vallitseva ja tilapäinen</b>	$\gamma_c = 1,5$	$\gamma_s = 1,15$	
	$\alpha_{cc} = 0,85$		
Puristuslujuuden ominaisarvo	$f_{ck} = 40$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{sk} = 500$ N/mm <sup>2</sup>	
	$f_{cd} = 22,7$ N/mm <sup>2</sup>		
Betonin suurin raekoko	$d_g = 32$ mm		
	$f_{ctd} = 1,67$ N/mm <sup>2</sup>		

**SOLMU 2**

	Kulma $\Theta_1 =$	51,4	
Puristuslujuus	$f_{cd1} =$	16,18 N/mm <sup>2</sup>	
Puristuspuunnan leveys	$b =$	320 mm	
Solmun vaakasuora mitta	$x_1 =$	67,4 mm	
Puristus -vetoresultantin välinen m	$Z =$	230 mm	
palkin loven tehollinen varsi	$d =$	266,5 mm	
Pystyettäisyys vetoraidoitukseen	$h_1 =$	41,5 mm	
Mitoitusvaakavoima	$H_{Ed} =$	0,0 kN	
Kuorman $F_{Ed}$ etäisyys loven reunast	$a_c =$	150 mm	
Kuorman $F_{Ed}$ momenttivarsi	$c =$	183,7 mm	
	$M_{Ed,s} =$	64,2 kNm	
	$F_{c0} =$	279,0 kN	
Solmun korkeus arvioidaan jotta	$a_0 =$	73 mm	
ehto $\sigma_{c0} < f_{cd1}$ toteutuu	$\sigma_{c0} =$	11,9 N/mm <sup>2</sup>	OK
Puristusresultantti voima	$F_{c1} =$	447,1 kN	
Vetoraidoituksen mitoitusvoima	$F_{t1} =$	279,0 kN	
Pystysuuntainen vetovoima	$F_{t2} =$	349,3 kN	
<b>Valittu vetoraidoitus</b>	$\phi =$	14 mm	
<b>vetovoimaa <math>F_{t1}</math> vastaan</b>	<b>määrä:</b>	6 kpl	
<b>Valittu vetoraidoitus</b>	$A_{s1} =$	923,6 mm <sup>2</sup>	
Betoniteräksen laskentalujuus	$f_{sd} =$	434,8 N/mm <sup>2</sup>	
	$A_s * f_{sd} =$	401,6 kN	
		69 %	OK
Puristusresultantti	$F_{c1} =$	447,1 kN	
teräksten vaativat tilaa konsolin leveydellä:		329 mm	OK

# LIITE 3

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	3/(6)
		PVM 21.4.2015	
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo: Valmis arvo tai kaava:		LAATIJA Kalle Rautaporras

## SOLMU 1

Puristuslujuus	$f_{cd3}$	16,2	N/mm <sup>2</sup>
Puristusjännityksen kokonaisarvo	$\sigma_{c5}$	5,5	N/mm <sup>2</sup>
Voiman $F_{Ed}$ kuormitusleveys	$a_s$	200	mm
$\sigma_{c5} \leq f_{cd3}$		34 %	OK

Solmun 1 alueen nimellinen puristusjännitys	$\sigma_{c6}$	13,0	
Raudituksen suojaetäisyys	$c$	30	mm
$\sigma_{c5} \leq f_{cd3}$		80 %	OK


### Lovipään ulokkeen korkeudelle tasaisesti jaettu rauditus

Diagonaalivoima	$F_{c1}$	447,1	kN
Poikittainen veto	$F_t$	24,95	kN
Voiman $F_{Ed}$ kuormitusleveys	$a$	200	mm
Ulokkeen pituus	$L_n$	280	mm
Poikittainen vetoteräksien määrä	$A_{s,2}$	160,4	mm <sup>2</sup>
<b>Valitaan</b>	$\phi$	8	mm
		4	kpl
	$A_{s,2, valittu}$	201,06	mm <sup>2</sup>
		80 %	OK
Raudituksen vaatima tila:		203	mm <b>mahtuu</b>

### Umpihaat jos:

$a_c > 0,5 h_2$ Ei tarvitse umpihakoja	$A_{s,haat}$	401,7	mm <sup>2</sup>
$F_{Ed} > V_{Rd,c}$ Pystysuuntaiset umpihaat			


LIITE 3

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	4/(6)
		PVM 21.4.2015	
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo:		LAATIJA
	Valmis arvo tai kaava:		Kalle Rautaporras

**SOLMU 3**

	Kulma $\Theta_2 =$	51,4	
Puristuslujuus	$f_{cd4} =$	14,28	N/mm <sup>2</sup>
Pystysuuntainen vetovoima	$F_{t2} =$	349,3	kN
Vetosauva	$F_{t3} =$	349,3	kN
Vetosauva	$F_{t4} =$	279,0	kN
$F_{t4}$ :n ankkuroinnin puristusjännitys	$\sigma_{7,c1} =$	11,0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{7,c} \leq f_{cd4}$		77 %	OK
$F_{t2}$ :n ankkuroinnin puristusjännitys	$\sigma_{7,c2} =$	13,7	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{7,c2} \leq f_{cd4}$		96 %	OK
Vetovoimaa $F_{t2}$ vastaava raud. ala	$A_{s,3} =$	803,39	mm <sup>2</sup>
Valittu vetoraidoitus	$\phi =$	14	mm
		6	kpl
	$A_{s,3, valittu} =$	923,6	mm <sup>2</sup>
		87 %	OK
Terästen vaatima tila:		329	mm mahtuu
Raidoitukset voimaa $F_{t2}$ vastaan pituuden suunnassa:			
Vaadittu raidoitusala	$A_{s, vaad} =$	200,85	mm <sup>2</sup>
Valittu pitkittäinen raidoitus:	$\phi =$	8	mm
		6	kpl
Valittu raidoitusala	$A_{s,4, valittu} =$	301,6	mm <sup>2</sup>
		67 %	OK
Vetovoimaa $F_{t4}$ vastaava raud. ala	$A_{s,4} =$	641,7	mm <sup>2</sup>
Valittu vetoraidoitus	$\phi =$	14	mm
		6	kpl
	$A_{s,4, valittu} =$	923,6	mm <sup>2</sup>
		69 %	OK
Terästen vaatima tila:		329	mm mahtuu
Raidoitukset voimaa $F_{t4}$ vastaan korkeuden suunnassa:			
	$A_{s, vaad} =$	230,91	mm <sup>2</sup>
	$\phi =$	8	mm
		6	kpl
	$A_{s, valittu} =$	301,6	mm <sup>2</sup>
		77 %	OK

# LIITE 3

 <b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	5/(6)
		PVM 21.4.2015	
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo: Valmis arvo tai kaava:	LAATIJA	Kalle Rautaporrass

## SOLMU 3

Harjatankojen tartuntalujuus	$f_{bd}$ =	3,75	N/mm <sup>2</sup>
	$l_{b.net}$ =	282,0	mm
	$l_{bd}$ =	222,2	mm
	$l_{b.req}$ =	282,0	
Puristusdiagonaali	$F_{c2}$ =	447,1	kN
	$b$ =	380	mm
	$a_6$ =	173,6	mm
Puristusjännitys	$\sigma_{c7}$ =	6,78	N/mm <sup>2</sup>
		47 %	OK

## SOLMU 4

Puristusdiagonaali	$F_{c2}$ =	447,1	kN
	$b$ =	380	mm
	$a_6$ =	173,6	mm
Puristusjännitys	$\sigma_{c7}$ =	6,78	N/mm <sup>2</sup>
	$\sigma_{c7} \leq f_{cd4}$	47 %	OK
Vetovoima $F_{t3}$	$F_{t3}$ =	349,3	kN
Vetovoimaa vastaavat raudoitukset	$A_{s,5,vaad}$ =	803,39	mm <sup>2</sup>
Valittu vetoraidoitus $F_{t3}$ vastaan	$\phi$ =	14	mm <sup>2</sup>
		6	kpl
	$A_{s,5,valittu}$ =	923,6	mm <sup>2</sup>
		87 %	OK
Terästen vaatima tila:		329	mahtuu

LIITE 3

<b>Päijät-Suunnittelu</b> Seponkatu 7, 15140 LAHTI	Kohde	TYÖNRO	SIVU
		7	6/(6)
<b>LOVIPÄÄPALKIN MITOITUS</b>	Valitse tai syötä arvo:	PVM	
	Valmis arvo tai kaava:	21.4.2015	
		LAATIJA	
		Kalle Rautaporras	

**SOLMU 5**

puristuslujuus	$f_{cd6} =$	14,3 N/mm <sup>2</sup>
Puristusjännitys	$\sigma_{c3} =$	7,1 N/mm <sup>2</sup>
	$a_7 =$	170,19 mm
	$l_{bd} =$	222,2 mm
Kulma	$\Theta_3 =$	50
	$F_{c3} =$	456,0 kN
$\sigma_{c3} \leq f_{cd6}$		49 % <b>OK</b>

