

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024

Mariia Arasola

Hallin laajennus

– Teräsrakenteisen välitason suunnittelu



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024 | 55 sivua, 21 liitesivua

Mariia Arasola

Hallin laajennus

- Teräsrakenteisen välitason suunnittelu

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa hallin laajennuksen rakenneosien mitoitus eurokoodien mukaisesti. Sisältö muodostuu teoria- sekä laskentaosuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään suunnittelunperusteet, kuormat ja rakenneosien mitoitusta.

Opinnäytetyössä laskettiin kohteeseen käytettävät kuormat omapainoista sekä hyötykuormasta, jonka jälkeen mitoitettiin kantava poimulevy, palkki ja pilari sekä viimeisenä liitokset. Apuna käytettiin Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmaa rasiusten laskemiseksi sekä liitosten mitoitukseen. Kantavan poimulevyn mitoitukseen käytettiin Weckmanin mitoitusohjelmaa.

Tuloksena saatiin mitoitettua standardin mukaiset välitason rakenteet.

Asiasanat:

teräs, mitoitus, palkit, pilarit, liitokset

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

2024 | 55 pages, 21 attachment pages

Mariia Arasola

Hall extension

- Design of steel intermediate plane

The objective of this thesis is to produce the dimensioning of the structural elements of the hall extension in accordance with Eurocodes. The content consists of a theory and a calculation section. The theoretical part discusses the design basics, loads and dimensioning of the structural elements.

In this thesis, the loads to be used for the site were calculated from the unladen weights and payload, after which the load-bearing corrugated plate, beam and column were dimensioned and lastly the joints. Autodesk Robot Structural Analysis was used to calculate stresses and dimensioning joints. Weckman's dimensioning software was used to size the load-bearing corrugated plate.

As a result, the intermediate level structure was dimensioned.

Keywords:

steel, sizing, beams, columns, joints

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Suunnittelun perusteet	9
2.1 Luotettavuuden hallinta ja käyttöikä	9
2.2 Rajatilamitoitus	11
2.2.1 Murtorajatila	11
2.2.2 Käyttörajatila	11
3 Kuormat	13
3.1 Pysyvät kuormat	14
3.2 Muuttuvat kuormat	15
3.3 Kuormitusyhdistelmät	17
4 Rakenneosien mitoitus	20
4.1 Kantava poimulevy	20
4.2 Palkki	21
4.2.1 Poikkileikkausluokitus	21
4.2.2 Taivutuskestävyys	24
4.2.3 Leikkauskestävyys	25
4.2.4 Kiepahduskestävyys	27
4.2.5 Pistekuormakestävyys	30
4.2.6 Palkin taipuma	35
4.3 Pilari	37
4.3.1 Pilarin rasitukset ja poikkileikkaus	39
4.3.2 Pilarin kestävyys	41
4.4 Liitokset	49
4.4.1 Pilari-palkki-liitos	49
4.4.2 Pilarin pohjalevy	51
4.4.3 Jälkiankkurointi	53
5 Lopuksi	55

Liitteet

Liite 1. Poimulevyn mitoitus

Liite 2. Rakenneosien mitoitus

Liite 3. Taipuma mitoitus

Liite 4. Pohjalevyn mitoitus

Kuvat

Kuva 1. Pohjakuva.	7
Kuva 2. Leikkaus.	8
Kuva 3. Gyproc GN 13 P Normaali tekniset tiedot.	17
Kuva 4. Poimulevyn rakennemalli.	20
Kuva 5. Poimulevyn mitoitus ja käyttöasteet.	21
Kuva 6. Lomahduskertoimet eri kuormituksille.	31
Kuva 7. Taipuma käyttörajatilassa.	37
Kuva 8. Momentit murtorajatilassa.	38
Kuva 9. Leikkausvoimat murtorajatilassa.	38
Kuva 10. Normaalivoimat murtorajatilassa.	39
Kuva 11. Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälän merkinnät.	51
Kuva 12. Pohjalevyn liitoksen geometria.	52

Taulukot

Taulukko 1. Seuraamusluokkien määrittely.	9
Taulukko 2. Kuormakerroin K_{FI} .	10

Taulukko 3. Viitteellinen suunniteltu käyttöikä.	10
Taulukko 4. Kuormien yhdistelykertoimet.	14
Taulukko 5. Metsä Wood Spruce levypaksuudet, rakenne ja paksuustoleranssit.	15
Taulukko 6. Käyttöluokat.	16
Taulukko 7. Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormat.	16
Taulukko 8. osa 1. Puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet.	23
Taulukko 9. osa 2. Puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet.	24
Taulukko 10. Suositus kiepahduskäyrän valitsemiseksi poikkileikkauksen mukaan.	28
Taulukko 11. Kiepahduskäyrien suositeltavat epätarkkuustekijät.	29
Taulukko 12. Taipumien ja siirtymien käyttörajatilat.	36
Taulukko 13. Nurjahduskäyrien epätarkkuustekijät.	43
Taulukko 14. Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen.	44
Taulukko 15. Pilarin teoreettinen nurjahduspituus perustapauksille.	46
Taulukko 16. Arvot.	46
Taulukko 17. Yhteisvaikutustekijät.	48
Taulukko 18. Ekvivalentin momentin kertoimet C_m .	49
Taulukko 19. Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet.	50
Taulukko 20. Kiila-ankkurin perustiedot.	54
Taulukko 21. Kiila-ankkurin suositellut kuormat.	54

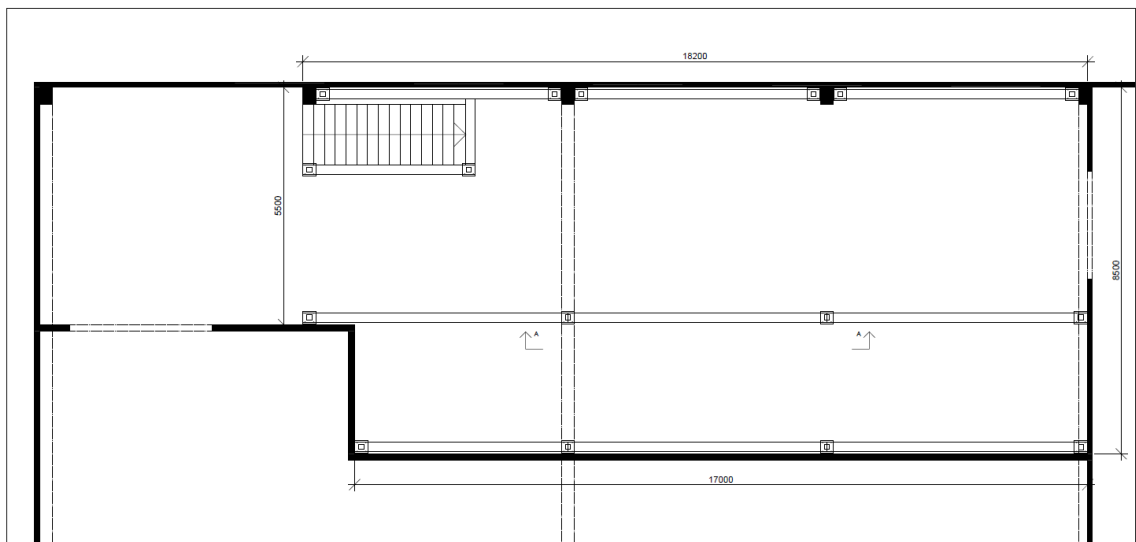
1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on mitoittaa hallin laajennuksen runko-osat teräsrakenteisena. Halliin suunnitellaan välitaso pinta-alaltaan noin 145 m² ja sen äärimitat ovat 8 m ja 18 m. Lisäksi tilaaja on määrittänyt alemman kerroksen korkeudeksi vähintään 2,6 m. Toinen tilaajan vaatimus on, että välitason toiseen päähän tulee portti, jonka saa auki, jotta kipsilevyt nostettua toiseen kerrokseen. Kerrokseen on tarkoitus rakentaa koppeja opiskelijoiden harjoitustöiksi. Mitoitusten lisäksi opinnäytetyöhön kuuluu piirtää RAK-kuvat.

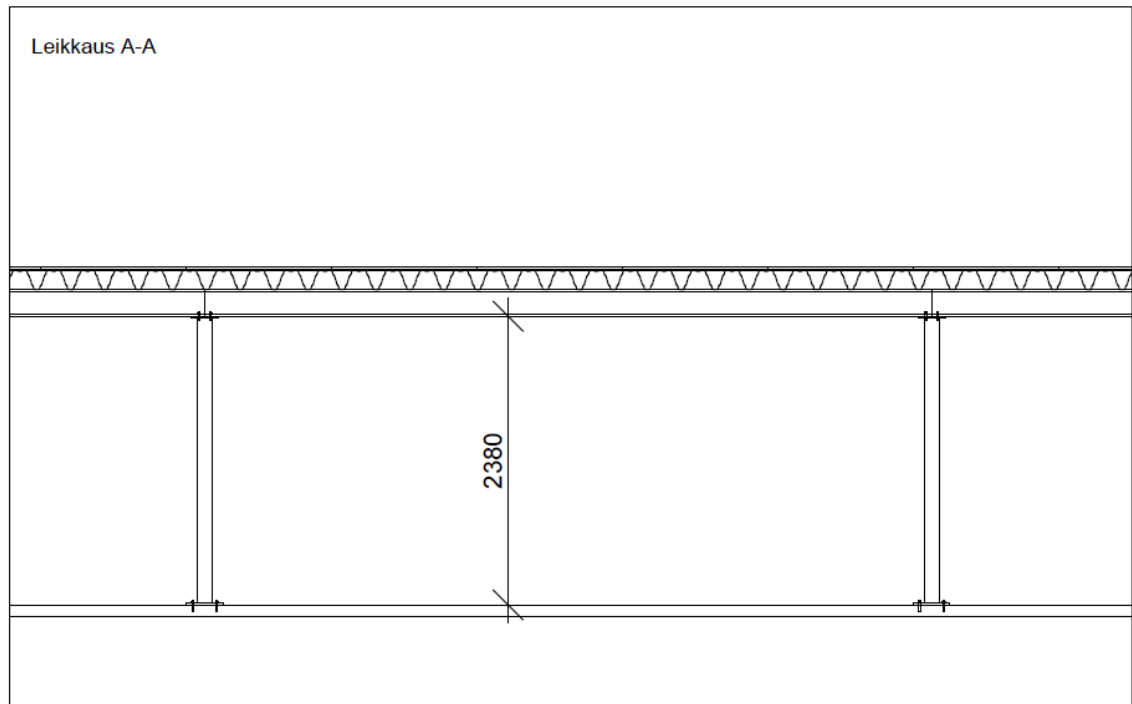
Rakennesosat mitoitetaan eurokoodien ja kansallisten liitteiden mukaan.

Opinnäytetyössä keskitytään rakenteiden mitoituksessa standardiin EN 1993 ja kuormien mitoituksessa standardiin EN 1991. Mitoitukset tehdään käsin laskien hyödyntäen Mathcadia ja Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmistoa sekä käyttäen Weckmanin mitoitusohjelmaa.

Kuvissa 1 ja 2 on havainnekuvat suunniteltavasta välitasosta.



Kuva 1. Pohjakuva.



Kuva 2. Leikkaus.

2 Suunnittelun perusteet

Rakenteen perusvaatimukset täyttyvät, kun valitaan soveltuva materiaali, suunnitteleamalla rakenteet asianmukaisesti sekä määrittelemällä kyseisen kohteen kannalta merkitykselliset suunnittelun, tuotannon, toteutuksen ja käytön valvonta menettelyt. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 44.)

Teräsrakenteiden suunnittelu tehdään standardin EN 1990 yleisten sääntöjen mukaan. Tämän standardin perusvaatimukset täyttyvät, kun murtorajatilamitoituksessa noudatetaan standardin osavarmuuslukumenetelmää ja kuormitusyhdistelmiä yhdessä standardin EN 1991 mukaisten kuormien kanssa. Lisäksi tulee noudattaa standardissa EN 1993 esitettyjä sääntöjä kestävyyksille, käyttörajatilalle sekä säilyvyydelle. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 22.)

2.1 Luotettavuuden hallinta ja käyttöikä

Luotettavuuden hallinnassa käytetään EN 1990 liitteen B ja kansallisen liitteen seuraamusluokkia (taulukko 1).

Taulukko 1. Seuraamusluokkien määrittely (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 136).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai hyvin suurten</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten <i>tai merkittävien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten <i>tai pienten tai merkityksettömien</i> taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet

Taulukosta 1 saadaan seuraamusluokka, jonka perusteella saadaan kuormakerroin K_{FI} .

Standardia käytettäessä on sovellettava liitteen B seuraamusluokkia ja kuormakertoimia K_{FI} (taulukko 2). Mitoituksessa seuraamusluokat otetaan huomioon K_{FI} kuormakertoimella. (RIL 201-1-2017, 27.)

Taulukko 2. Kuormakerroin K_{FI} (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 138).

Kuormakerroin K_{FI}	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Luotettavuuden hallinnan lisäksi on rakenteelle suunniteltava käyttöikä. Käyttöikä määritetään projektikohtaisesti, mutta viitteellistä käyttöikää voi arvioida taulukon 3 perusteella.

Taulukko 3. Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 48).

Suunnittelun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet ⁽¹⁾
2	10...25	Vaihdettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

⁽¹⁾ Sellaisia rakenteita tai niiden osia, jotka voidaan purkaa uudelleen käytettäväksi, ei pidetä tilapäisinä.

2.2 Rajatilamitoitus

Rakenteiden mitoitus perustuu rajatilamitoitukseen. Rajatilalla tarkoitetaan tiloja, joiden ylittyessä rakenne ei enää täytä suunniteltuja vaatimuksia.

Rajatilamitoituksessa rakenteita tarkastellaan rajatiloissa, joita ovat murtorajatila ja käyttörajatila, jotka käsitellään erikseen. Nämä rajatilat tulee liittää mitoituslaitteeseen. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 52.)

Mitoitettava rakenneosaa tulee luokitella mitoituslaitteen mukaan ottaen huomioon rakenteen ympäristö ja käyttökohde. Mitoituslaitteet luokitellaan seuraavasti (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 52):

- Vallitsevat mitoituslaitteet koskevat normaaleja käyttötilanteita.
- Tilapäiset mitoituslaitteet ovat rakenteeseen kohdistuvia tilapäisiä olosuhteita kuten toteutuksen tai korjauksen aikana.
- Onnettomuusmitoituslaitteet ovat poikkeuksellisia olosuhteita kuten tulipalo, räjähdys tai törmäys.
- Maanjäristysmitoituslaitteet (vain tilaajan vaadittaessa, ei Suomessa).

2.2.1 Murtorajatila

Kaikki rajatilat, jotka kohdistuvat ihmisen turvallisuuteen tai rakenteiden varmuuteen luokitellaan murtorajatilaksi. Tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen tai väsymisen aiheuttamat vauriot luokitellaan murtorajatiloiksi. Murtorajatila vastaa rakenteen kantokykyä, tässä todetaan laskelmin, että rakenteen kestävyys on vähintään rasituksen suuruisen. Näitä on esimerkiksi taivutus- ja leikkauskestävyys. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 52–54.)

2.2.2 Käyttörajatila

Käyttörajatiloiksi luokitellaan rajatilat, jotka liittyvät rakenteen tai rakenneosan toimintaan normaalikäytössä tai ihmisen mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön. Käyttörajatila määrittelee ehdon käyttökelpoisuudelle

normaalikäytössä. Suunnittelussa rajatilaa tarkastellaan, kun on kyseessä siirtymät, värähtely tai mahdolliset vauriot. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 54.)

3 Kuormat

Rakenteet mitoitetaan kuormille, joiden oletetaan kohdistuvan rakenteelle sen käyttöön aikana. Rakenneosa mitoitetaan epäedullisimmalle kuormitusyhdistelmälle. Rakenteen omapainon pystytään määrittämään tarkasti, jolloin sen osavarmuusluku on pieni. Hyötykuormat määritellään rakenneosan käyttötarkoituksen mukaan.

Perusmuuttujat eli kuormat luokitellaan ajallisesti pysyviin, muuttuviin tai onnettomuuskuormiin (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 58):

- pysyvät kuormat (G) eli rakenteiden omat painot
- muuttuvat kuormat (Q) eli hyöty-, tuuli- ja lumikuormat
- onnettomuuskuormat (A) eli räjähdykset, törmäykset tai tulipalo.

Kuormalla on ominaisarvo F_k , joka määritellään keskiarvona, ylä- tai alaraja-arvona tai nimellisarvona. Jos oma paino vaihtelee ajan suhteen, on se otettava huomioon käyttämällä ominaisarvon ylä- ja alarajaa. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 58.)

- Pysyvien kuormien ominaisarvoja ovat G_k , $G_{k,sup}$, $G_{k,inf}$
 - Käytetään arvoa G_k kun vaihtelua ei ole tai se on pientä
 - Kun vaihtelua ei voida pitää pienenä käytetään arvoja: yläraja-arvo $G_{k,sup}$ ja alaraja-arvo $G_{k,inf}$.
- Muuttuvien kuormien ominaisarvo Q_k vastaa joko yläraja-arvoa tai alaraja-arvoa.

Muuttuvan kuorman arvo Q_k kerrotaan yhdistelykertoimella ψ . Muuttuvan kuorman yhdistelykertoimen arvo riippuu kuorman luokasta (taulukko 4).

Yhdistelykertoimia ovat (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 60)

- ψ_0 = yhdistelykerroin ominaisyhdistelmässä (murtorajatila ja palautumaton käyttörajatila)
- ψ_1 = tavallinen yhdistelykerroin (onnettomuuskuormia sisältävä murtorajatila ja palautuva käyttörajatila)

- Ψ_2 = pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin (onnettomuuskuormia sisältävä murtorajatila ja palautuva käyttörajatila).

Taulukko 4. Kuormien yhdistelykertoimet (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, 86).

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. 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	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ¹⁾			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määritellä kansallisessa liitteessä. ¹⁾ Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

3.1 Pysyvät kuormat

Rakenteen omat painot ovat pysyviä kiinteitä kuormia. Rakennuskohteen omaan painoon kuuluvat kantavat ja ei-kantavat rakenneosat sekä kiinteät laitteet. Oma painona käytetään yksittäisiä ominaisarvoja, jotka voidaan laskea nimellismittojen ja keskimääräisten tilavuuspainojen perusteella. Nimellismitat ovat piirustuksissa esitettyjä mittoja. (SFS-EN 1991-1-1+AC, 2002, 24.)

Rakennuskohteessa poimulevyn päälle asennetaan kaksi kerrosta havuvaneria. Yhden vanerin paksuudeksi valitaan 18 mm, jolloin paksuudeksi tulee yhteensä

36 mm. Metsä Wood Spruce -yleisvanerin 18 mm:n paksuisen levyn paino on 8,3 kg/m² (taulukko 5). Vanerien yhteiseksi painoksi tulee 0,17 kN/m².

Taulukko 5. Metsä Wood Spruce levypaksuudet, rakenne ja paksuustoleranssit (Metsä 2022).

NIMELLISPAKSUUS (mm)	VIILUJEN LUKUMÄÄRÄ (kpl)	PAKSUUSTOLERANSSI		PAINO kg/m ²
		min. (mm)	maks. (mm)	
9	3	8.8	9.5	4.1
12	4	11.5	12.5	5.5
15	5	14.3	15.3	6.9
18	6	17.1	18.1	8.3
21	7	20.0	20.9	9.7
24	8	22.9	23.7	11.0
27	9	25.2	26.8	12.4
30	10	28.1	29.9	13.8

Poimulevyn oma paino saadaan mitoitusohjelmalla profiilin ja nimellismittojen perusteella.

Palkki ja pilari mitoitetaan nimellismittojensa mukaan. Teräksen paino riippuu sen profiilista, jos palkin tai pilari profiili on vakio, niin paino on silloin taulukoitu kg/m muotoon.

3.2 Muuttuvat kuormat

Hyötykuormat ovat muuttuvia liikkuvia kuormia, jotka aiheutuvat tilojen käytöstä. Välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormat määritellään tilojen käyttötarkoituksen mukaan (taulukko 6 ja 7).

Taulukon 6 mukaan valittiin luokka B, sillä tilan käyttötarkoitus on samantyyppinen kuin toimistotilat. Taulukosta 7 saadaan valituksi

hyötykuormaksi tilan luokan mukaan $2,5 \text{ kN/m}^2$ ja siihen lisätään $0,5 \text{ kN/m}^2$ huomioiden kerrokseen tulevat väliseinät, joten hyötykuormaksi tulee 3 kN/m^2 .

Taulukko 6. Käyttöluokat (SFS-EN 1991-1-1+AC, 2002, 30).

Luokka	Käyttötarkoitus	Esimerkki
A	Asuin- ja majoitustilat	Asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimenpidehuoneet, hotellien ja retkelymajojen makuuhuoneet, keittiöt ja WC:t.
B	Toimistotilat	
C	Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua (poikkeuksena luokkiin A, B, ja D kuuluvat tilat) ¹⁾	C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat. C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat. C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit. C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt. C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit mukaan luettuina katsomot, terassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit.
D	Myyvälätilat	D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat. D2: Tavaratalojen tilat.
<p>¹⁾ On syytä kiinnittää huomiota kohtaan 6.3.1.1(2), erityisesti luokkien C4 ja C5 osalta. Standardissa EN 1990 esitetään, milloin dynaamiset vaikutukset on tarpeen ottaa huomioon. Luokkaa E koskevat tiedot ovat taulukossa 6.3.</p> <p>HUOM. 1 Aiotusta käyttötarkoituksesta riippuen tilat, jotka todennäköisesti sijoitettaisiin luokkaan C2, C3 tai C4, voidaan tilaajan päätöksellä tai kansallisen liitteen perusteella sijoittaa luokkaan C5.</p> <p>HUOM. 2 Kansallisessa liitteessä luokat A, B, C1...C5, D1 ja D2 voidaan jakaa alaluokkiin.</p> <p>HUOM. 3 Varasto- ja teollisuustiloja tarkastellaan kohdassa 6.3.2.</p>		

Taulukko 7. Rakennusten välipohjien, parvekkeiden ja portaiden hyötykuormat (SFS-EN 1991-1-1+AC, 2002, 30).

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Luokka A		
— Välipohjat	1,5... <u>2,0</u>	<u>2,0</u> ...3,0
— Portaajat	<u>2,0</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...4,0
— Parvekkeet	<u>2,5</u> ...4,0	<u>2,0</u> ...3,0
Luokka B	2,0... <u>3,0</u>	1,5... <u>4,5</u>
Luokka C		
— C1	2,0... <u>3,0</u>	3,0... <u>4,0</u>
— C2	3,0... <u>4,0</u>	2,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— C3	3,0... <u>5,0</u>	<u>4,0</u> ...7,0
— C4	4,5... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>
— C5	<u>5,0</u> ...7,5	3,5... <u>4,5</u>
Luokka D		
— D1	<u>4,0</u> ...5,0	3,5...7,0 (<u>4,0</u>)
— D2	4,0... <u>5,0</u>	3,5... <u>7,0</u>

Toinen muuttuva kuorma on kipsilevylava, joka sijoittuu kerroksen toiseen pätyyn. Gyproc sivustolta saadaan kipsilevylavan perustiedot. Kuvasta 3 saadaan yhden kipsilevyn pinta-alaksi $3,12 \text{ m}^2$, painoksi $8,4 \text{ kg/m}^2$ ja yhdessä lavassa on 54 kpl levyjä. Yhden lavan paino on noin $1\,420 \text{ kg}$, jolloin kuormaksi muodostuu noin $4,5 \text{ kN/m}^2$.

Mitat	Leveys	1200 mm
	Paksuus	12.5 mm
	Paino	8.4 kg/m ²
Suorituskyky	Paloluokitus	A2-s1, d0
	Taivutusmurtolujuus pitkittäin	6.2 MPa
	Taivutusmurtolujuus poikittain	2.4 MPa

Kuva 3. Gyproc GN 13 P Normaali tekniset tiedot (Gyproc 2024)

3.3 Kuormitusyhdistelmät

Määrävissä kuormitustapauksissa yhdistetään kuormat, jotka katsotaan, esiintyvän samanaikaisesti. Kaikkia muuttuvia kuormia ei lasketa täysimääräisinä, vaan käytetään pienennyskertoimia, koska on epätodennäköistä, että nämä kuormat vaikuttaisivat samanaikaisesti. Yksi muuttuva kuorma lasketaan täysimääräisenä ja muita pienennetään.

Murtorajatilojen kuormitusyhdistelmät ovat (RIL 201-1-2017, 40)

- EQU/Sarja A:

$$1,1K_{FI} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (1)$$

- STR/Sarja B:

$$\frac{1,15K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

mutta vähintään:

$$\frac{1,35K_{FI}}{0,9} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (3)$$

- Onnettomuustilanne:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

Käyttörajatilojen kuormitusyhdistelmät ovat (RIL 201-1-2017, 44)

- ominaisyhdistelmä, jota käytetään palautumattomille rajatiloille, kuten teräsrakenteilla taipuma:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6)$$

- tavallinen yhdistelmä, jota käytetään palautuville rajatiloille:

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

- pitkäaikaisyhdistelmä, jota käytetään pitkäaikaisille vaikutuksille ja ulkonäköseikoille:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (8)$$

Mitoituksessa käytettiin murtorajatiilojen kuormitusyhdistelmää STR/Sarja B sekä taipumaa mitoittaessa käyttörajatiilojen ominaisyhdistelmää.

4 Rakenneosien mitoitus

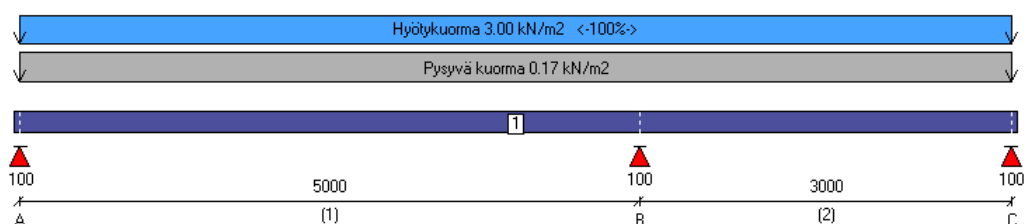
Rakenneosien mitoitus tehdään standardin EN 1993 mukaan. Ensin määritellään kuormat, jotka kohdistuvat rakenneosaan, jonka jälkeen se mitoitetaan kyseisille kuormille. Rakenneosien mitoitusten kaavat ovat esitetty luvuissa 4.2–4.4, mutta itse mitoitus on kokonaisuudessaan liitteessä 2.

4.1 Kantava poimulevy

Weckmanin kantavia poimulevyjä voidaan käyttää kantavana rakenteena ylä- ja välipohjissa. Weckmanin nettisivuilta löytyy koneelle ladattava mitoitusohjelmisto, joka perustuu standardiin EN 1993-1-3.

Poimulevylle kohdistuva kuorma saadaan vanerien tuomasta omasta painosta sekä hyötykuormasta. Ohjelmisto huomioi poimulevyn oman painon mitoituksessa.

Poimulevy mitoitetaan rakenteen rasitetuimmassa kohdassa. Kuvasta 4 voidaan todeta rakennemalli, jonka perusteella mitoitus on suoritettu, ja kuvasta 5 valittu profiili ja käyttöasteet.



Kuva 4. Poimulevyn rakennemalli.

Kuvasta 4 nähdään, että poimulevyn rakennemalli on 2-aukkoinen.

Mitoitus ja käyttöasteet

Mitoitus | Käyttöasteet

Ei uumareilistystä
 Uumareilistys

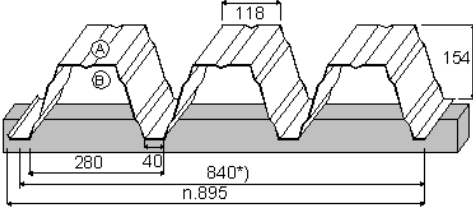
Poimulevyt / Katto (eristetty):

W-45/A/900
W-70/900 (B-puoli tukea vasten)
W-115/750 (B-puoli tukea vasten)
W-130/950 (B-puoli tukea vasten)
W-155/840 (B-puoli tukea vasten)

Tuotetieto...

MITOITUS

Weckman W-155/840
*) Hyötyleveys
Nimellispaksuudet 0.70 - 1.50 mm



Ei määritetty | Normaali

LEVYJEN KOKONAISKÄYTTÖASTE: 62.4 %

Levy:	Paksuus / Lujuus:	Siv. limitus:	L [mm]:	Kenttä [%]:	Tuki [%]:	Taipuma [%]:	Levyv. [%]:	Mitoitava:
1	1.20/350	Normaali	8100	51.0 %	62.4 %	53.2 %	0.0 %	Momentti+tukikestävyys (tuki B)

Kuva 5. Poimulevyn mitoitus ja käyttöasteet.

Tuloksena saatiin poimulevyksi W-155/840 jonka paksuus on 1.20 ja lujuus 350. Mitoitus on kokonaisuudessaan liitteenä 1.

4.2 Palkki

Palkin profiiliksi aluksi ajateltiin HEA-profiilia sen leveän laipan takia, jolloin liitos pilariin onnistuu helpommin. Mitoituksessa todettiin, että laipan leveydeksi tulee kohtuuttoman suuri HEA-profiililla, joten päädyttiin HEB-profiiliin. Mitoitus on kokonaisuudessaan liitteessä 2.

4.2.1 Poikkileikkausluokitus

Teräsprofiilille määritetään poikkileikkausluokka, jonka tarkoituksena on tunnistaa missä laajuudessa poikkileikkausten paikallinen lommahdus rajoittaa poikkileikkauksen kestävyyttä ja kiertymiskykyä. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 42). Poikkileikkausluokka näkyy mitoituksessa taivutuskestävyyttä laskiessa taivutusvastuksessa sekä puristuskestävyyttä laskiessa poikkileikkauksen pinta-
alassa.

Poikkileikkausluokkia ovat 1, 2, 3 ja 4. Poikkileikkausluokkaan 1 (plastiset poikkileikkaukset) kuuluvat ovat niitä, joissa riittävän kiertymiskyvyn omaava nivel voi syntyä ilman, että poikkileikkauksen kestävyyttä tarvitsee pienentää. Poikkileikkausluokkaan 2 (kompaktit poikkileikkaukset) kuuluvat ovat niitä, joissa voi kehittyä sauvalle plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyys, mutta niiden paikallinen lommahdus rajoittaa kiertymiskykyä. Poikkileikkausluokkaan 3 (puolikompaktit poikkileikkaukset) kuuluvat ovat niitä, joissa sauvan äärimmäisessä puristetussa reunassa laskettu jännitys voi saavuttaa myötörajan, mutta paikallinen lommahdus estää plastisuusteorian mukaisen momenttikestävyyden kehittymisen. Poikkileikkausluokkaan 4 (hoikat poikkileikkaukset) kuuluvat ovat niitä, joissa paikallinen lommahdus esiintyy ennen kuin myötöraja saavutetaan poikkileikkauksen jossakin pisteessä. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 42.)

Poikkileikkauksen eri osille määritellään oma poikkileikkausluokka, jolloin uuma ja laippa voivat kuulua eri poikkileikkausluokkaan. Kokonaispoikkileikkaus määräytyy korkeimman luokan perusteella eli vähiten suotuisamman mukaan. Poikkileikkausluokitus riippuu puristettujen osien leveys-paksuussuhteista sekä käytettävästä teräslajista. Profiili kuuluu poikkileikkausluokkaan 4, jos se ei täytä poikkileikkausluokan 3 raja-arvoja. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 43.) Puristettujen osien raja-arvot esitetään taulukoissa 8 osa 1 ja 9 osa 2.

Taulukko 8. osa 1. Puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 45).

Kahdelta reunalta tuetut puristetut taso-osat						
				Taivutus ko. akselin suhteen		
				Taivutus ko. akselin suhteen		
Poikkileikkausluokka	Taivutetut taso-osat	Puristetut taso-osat	Taivutetut ja puristetut taso-osat			
Taso-osan jännitys-jakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	$kun \alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ $kun \alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Taso-osan jännitys-jakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$ ¹⁾	$c/t \leq 42\varepsilon$ ²⁾	$kun \psi > -1: c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ³⁾ $kun \psi \leq -1^+): c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Taulukko 9. osa 2. Puristettujen taso-osien suurimmat leveys-paksuussuhteet (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 46).

Ulokkeelliset laipat						
		Valssatut profiilit		Hitsatut profiilit		
Poikkileikkausluokka	Puristetut taso-osat	Puristetut ja taivutetut taso-osat				
		Vapaa reuna on puristettu		Vapaa reuna on vedetty		
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Taso-osan jännitysjakautuma (puristus positiivinen)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$ ⁴⁾	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ ⁵⁾ k_σ ks. EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Kyseisen kohteen palkin profiilin poikkileikkausluokaksi saatiin 1, jolloin taivutusvastus on plastinen. Lisäksi todetaan, että uuman hoikkusehto leikkaukselle täyttyy.

4.2.2 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyteen vaikuttaa käytettävä teräslaji sekä poikkileikkausluokka. Kuten poikkileikkauksen määrittämisessä todettiin, että poikkileikkausluokka määrittää käytettävän taivutusvastuksen.

Taivutuskestävyyden mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (9)$$

missä

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ on taivutuskestävyyden mitoitusarvo.

Taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkaus on 1 tai 2 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} \quad (10)$$

missä

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M0} on osavarmuusluku.

Koska käytetään vakiorakenneterästuotetta, on valmistajan tuoteluettelossa määritelty profiilin plastinen taivutusvastus W_{pl} sekä y- että z-akselin suhteen, jolloin tätä ei tarvitse määrittää erikseen.

4.2.3 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 54):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (11)$$

missä

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

$V_{c,Rd}$ on leikkauskestävyyden mitoitusarvo.

Plastisuusteorian mukaisessa mitoituksessa $V_{c,Rd}$ vastaa leikkauskestävyyden mitoitusarvoa $V_{pl,Rd}$.

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo, kun vääntöä ei ole (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 54):

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \quad (12)$$

missä

A_v on leikkauspinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M0} on kestävyiden osavarmuusluku.

Valssatuille I-profiileille leikkauspinta-ala lasketaan seuraavasti, kun kuormitus on uuman suuntainen (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 54):

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \geq \eta h_w t_w \quad (13)$$

missä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

b on laipan leveys

t_f on laipan paksuus

t_w on uuman paksuus

r on uuman/laipan liitoskohdan pyöristyssäde

h_w on uuman korkeus

n on muokkauslujittumisen huomioiva tekijä.

4.2.4 Kiepahduskestävyys

Sauvan kiepahduskestävyys voidaan laskea, mutta helpompaa on pyrkiä estämään kiepahdus rakenteellisesti. Sauvan poikkileikkausmuoto kuten neliön muotoiset tai pyöreät rakenneputket tai koteloprofiilit eivät ole alttiita kiepahdukselle. Sauvat, joiden puristettu laippa on riittävästi tuettu sivusuunnassa, eivät myöskään ole alttiita kiepahdukselle. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 65)

Kiepahduskestävyyden mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 65):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (14)$$

missä

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{b,Rd}$ on kiepahduskestävyyden mitoitusarvo.

Kiepahduskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkausluokka on 1 tai 2 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 65):

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (15)$$

missä

χ_{LT} on kiepahduskestävyyden pienennystekijä

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M1} on kestävyuden osavarmuusluku.

Kiepahduksen pienennystekijä valssatuille profiileille (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 66):

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1,0 \quad (16)$$

$$\Phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2)] + \bar{\lambda}_{LT}^2 \quad (17)$$

missä

ϕ_{LT} on apusuure

λ_{LT} on muunnettu hoikkuus

α_{LT} on epätarkkuustekijä (Taulukko 11).

Taulukko 10. Suositus kiepahduskäyrän valitsemiseksi poikkileikkauksen mukaan (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 66).

Poikkileikkaus	Rajat	Kiepahduskäyrä
Valssatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Hitsatut I-profiilit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Muut profiilit	-	d

Taulukosta 10 saadaan poikkileikkauksen mukaan kiepahduskäyrä, jonka arvo on Taulukossa 11.

Taulukko 11. Kiepahduskäyrien suositeltavat epätarkkuustekijät (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 66).

Kiepahduskäyrä	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Muunnettu hoikkuus (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 66):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} f_y}{M_{cr}}} \quad (18)$$

missä

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

M_{cr} on kriittinen kiepahdusmomentti.

Valssatuille profiileille ei tarvitse tehdä kiepahdustarkastelua, mikäli $\lambda_{LT} < 0,4$.

Profiilin kiepahduskestävyyttä määrittäessä lasketaan kriittinen kiepahdusmomentti (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2014, 58):

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 Z_g)^2} - C_2 Z_g \right) \quad (19)$$

missä

C_1 on taivutusmomenttikuvion muodon huomioiva kerroin

C_2 on kerroin, jolla huomioidaan kuorman vaikutuspisteen sijainti

L on sivuttaistukien välinen etäisyys

E on kimmomoduuli

G on liukumoduuli

k_z on poikkileikkauksen taivutustasossa tapahtuvan nurjahduksen kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0

k_w on vääntöön liittyvä kriittisen pituuden kerroin, varmalla puolella olevana arvona voidaan käyttää 1,0

I_w on käyritysmisjäyhyys

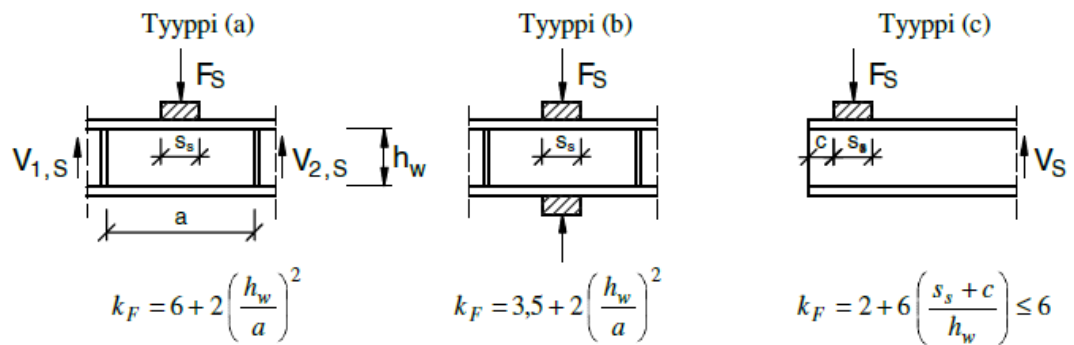
I_z on neliömomentti heikomman akselin suhteen

I_t on vääntöneliömomentti

Z_g on kuorman vaikutuspisteen etäisyys poikkileikkauksen vääntökeskiöstä.

4.2.5 Pistekuormakestävyys

Pistekuormakestävyudessa tarkistetaan palkin uuman kestävyys paikalliselle pistekuormalle. Pistekuormakestävyys voidaan määrittää kolmen tapauksen mukaan (kuva 6). Tapauksessa a kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta ja siirtyy uuman leikkausvoimien välityksellä. Tapauksessa b kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta ja siirtyy uuman kautta suoraan toiselle laipalle. Tapauksessa c kuorma vaikuttaa yhden laipan kautta jäykistämättömän sauvan pään lähellä. (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 28.)



Kuva 6. Lommahduskertoimet eri kuormituksille (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 28).

Pistekuorman mitoitusehto:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0 \quad (20)$$

missä

F_{Ed} on pistekuorman mitoitusarvo

F_{Rd} on pistekuormakestävyyden mitoitusarvo

Pistekuormakestävyyden mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 28):

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} \quad (21)$$

missä

f_{yw} on uuman teräksen nimellinen myötöraja

L_{eff} on tehollinen pituus kuormien suhteen

t_w on uuman paksuus

γ_{M1} on osavarmuusluku

Tehollinen pituus (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 29):

$$L_{eff} = \chi_F l_y \quad (22)$$

missä

χ_F on paikallisen lommahduksen huomioon ottava pienennystekijä

l_y on kyseeseen tulevaan jäykän tukipinnan pituuteen s_s , liittyvä tehollinen kuormituspituus.

Tehollinen kuormituspituus (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 30):

Kun on kyseessä tapaus a tai b

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) \leq a \quad (23)$$

Tapauksessa c l_y on pienin kaavojen 24 a ja b antamista arvoista

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2 + m_2} \quad (24a)$$

$$l_y = l_e + t_f \sqrt{m_1 + m_2} \quad (24b)$$

$$l_e = \frac{k_F E t_w^2}{2 f_{yw} h_w} \leq s_s + c \quad (25)$$

missä

s_s on jäykän tukipinnan pituus

m_1 on apusuure

m_2 on apusuure

a on viereisten pystyjäykisteiden välinen etäisyys

k_F on lommahduskerroin

E on kimmomoduuli

c on etäisyys palkin päästä tuen reunaan.

Apusuureet (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 30):

$$m_1 = \frac{f_{yf} b_f}{f_{yw} t_w} \quad (26)$$

$$m_2 = 0 \text{ jos } \bar{\lambda}_F \leq 0,5 \quad (27)$$

$$m_2 = 0,02 \left(\frac{h_w}{t_f} \right)^2 \text{ jos } \bar{\lambda}_F > 0,5 \quad (28)$$

missä

f_{yf} on laipan teräksen nimellinen myötöraja

b_f on laipan leveys

f_{yw} on uuman teräksen nimellinen myötöraja

t_w on uuman paksuus

λ_F on hoikkuus

t_f laipan paksuus.

Lommahduskerroin (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 28):

tapaus a

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \quad (29)$$

tapaus b

$$k_F = 3,5 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \quad (30)$$

tapaus c

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6 \quad (31)$$

missä

h_w on uuman korkeus

a on pystyjäykisteiden välinen etäisyys

s_s on jäykän tukipinnan pituus

c on etäisyys palkin päästä tuen reunaan.

Kestävyyteen liittyvän tehollisen pituuden pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 29):

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0 \quad (32)$$

missä

$\bar{\lambda}_F$ on hoikkuus

Hoikkuus (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 29):

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{F_{cr}}} \quad (33)$$

missä

l_y on jäykän tukipinnan pituuden s_s liittyvä tehollinen kuormituspituus

t_w on uuman paksuus

f_{yw} on uuman teräksen nimellinen myötöraja

F_{cr} on kriittinen kuorma.

Kriittinen kuorma (SFS-EN 1993-1-5, 2006, 29):

$$F_{cr} = 0,9k_F E \frac{t_w^3}{h_w} \quad (34)$$

missä

k_F on lommahduskerroin

E on kimmomoduuli

t_w on uuman paksuus

h_w on uuman korkeus.

4.2.6 Palkin taipuma

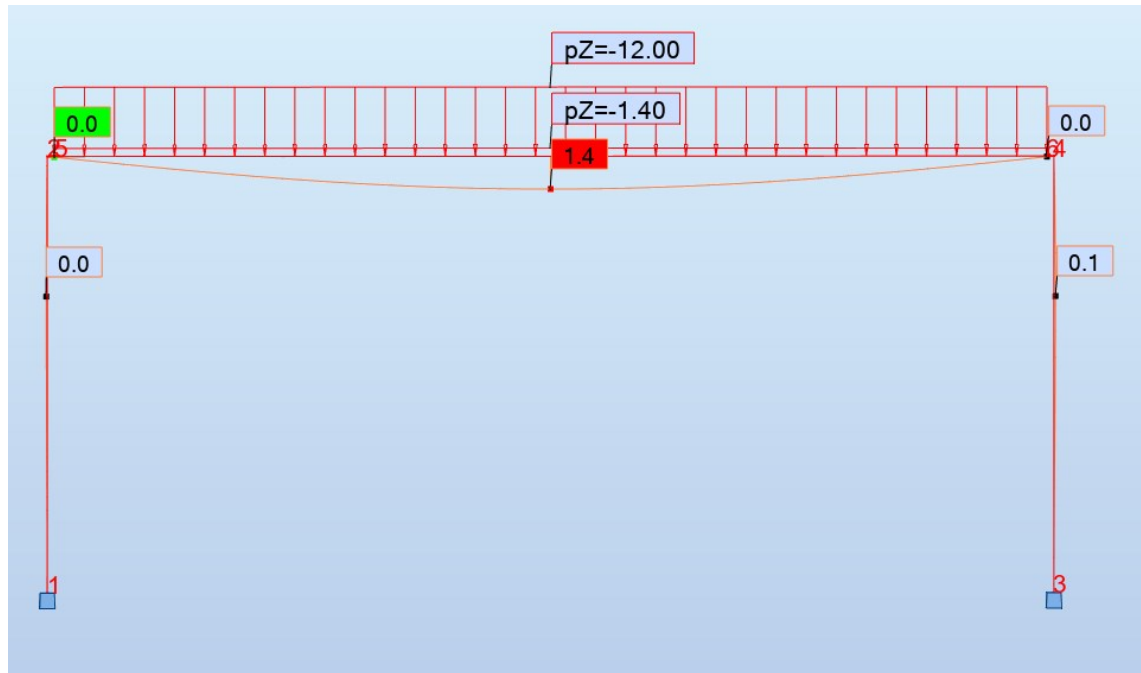
Murtorajatilan lisäksi on palkki tarkistettava myös käyttörajatilan kuormituksille. Palkin taipumaraja on yleisesti mitoittava tekijä, mutta ei välttämättä teräspalkin, joka pitää tarkistaa. Palkin taipumaa mitoittaessa tulee käyttää käyttörajatilan kuormitusyhdistelmää, ominaisyhdistelmä.

Taipuma ei saa haitata rakenteen toimivuutta tai ulkonäköä. Taulukon 12 mukaan saadaan taipumien raja-arvot.

Taulukko 12. Taipumien ja siirtymien käyttörajatilat (Kansallinen liite, liite 9, 2007, 5).

Rakenne	Taipuman tai siirtymän raja-arvo
Pääkannattajat: - vesikatoissa ja katoksissa - välipohjissa	L / 300 L / 400
Ulokkeet	L / 150
Katto-orret	L / 200
Seinäorret	L / 150
Muotolevyt: - katoissa, joissa ei ole vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaaraa - katoissa, joissa vesikeräytymien tai katteen vaurioitumisen vaara on olemassa - kun $L \leq 4,5$ m - kun $4,5 \text{ m} < L \leq 6,0$ m - kun $L > 6,0$ m - välipohjissa - seinissä - ulokkeissa	L / 100 L / 150 30 mm L / 200 L / 300 L / 100 L / 100
Rakenteen vaakasiirtymän rajatila: - 1 ja 2 kerroksiset rakennukset - muut rakennukset	H / 150 H / 400
L = jänneväli H = rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus	
Rakennukset, joissa on nosturirata, ks. Eurocoden osa EN 1993-6 ja sen kansallinen liite.	

Taipumamitoitus toteutettiin Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla ja taipuman raja-arvo on L/400, kun kyseessä on välipohja. Kuvasta 7 havaitaan rakennemalli ja taipuma. Taipuman yksikkönä käytetään millimetrejä.

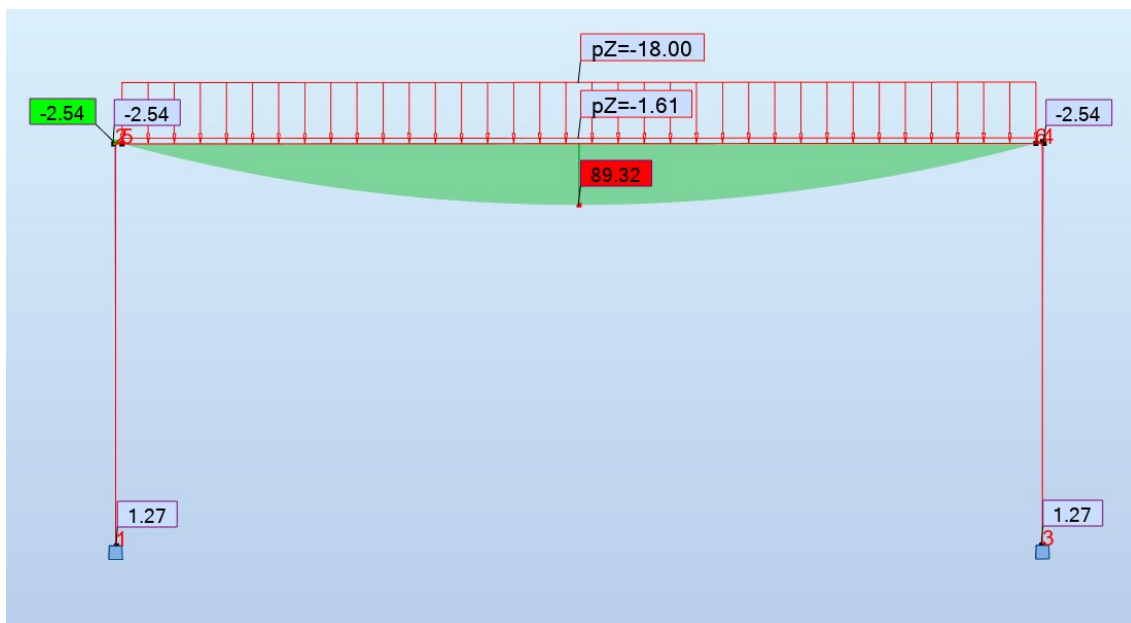


Kuva 7. Taipuma käyttörajatilassa.

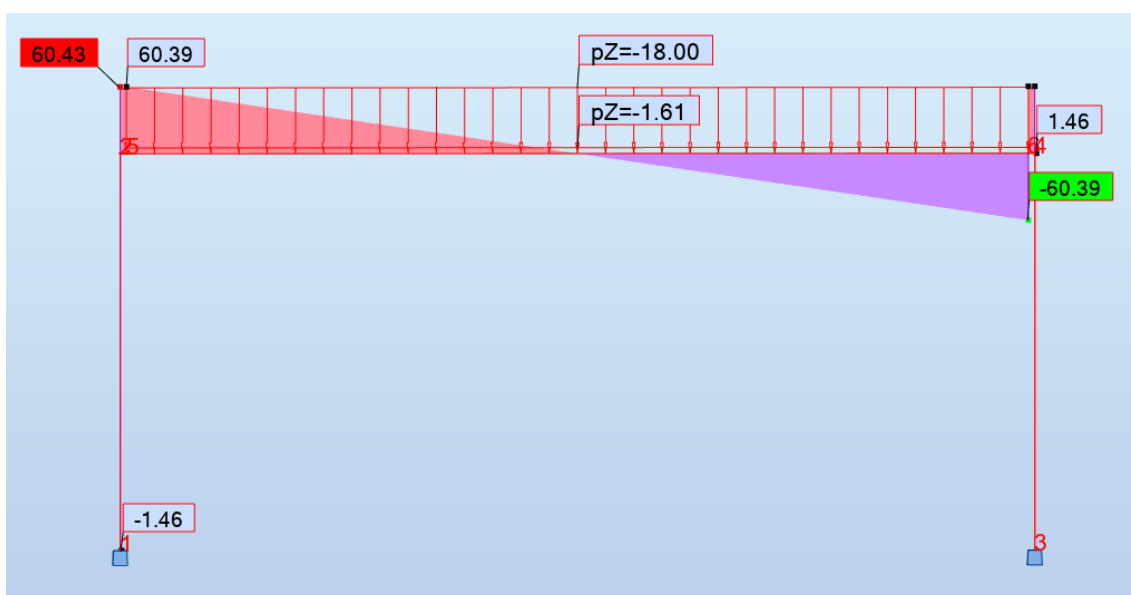
Tulokseksi saatiin käyttöaste 86 % ja itse taipumaksi 13 mm, kun raja-arvo on 15 mm. Katso liite 3.

4.3 Pilari

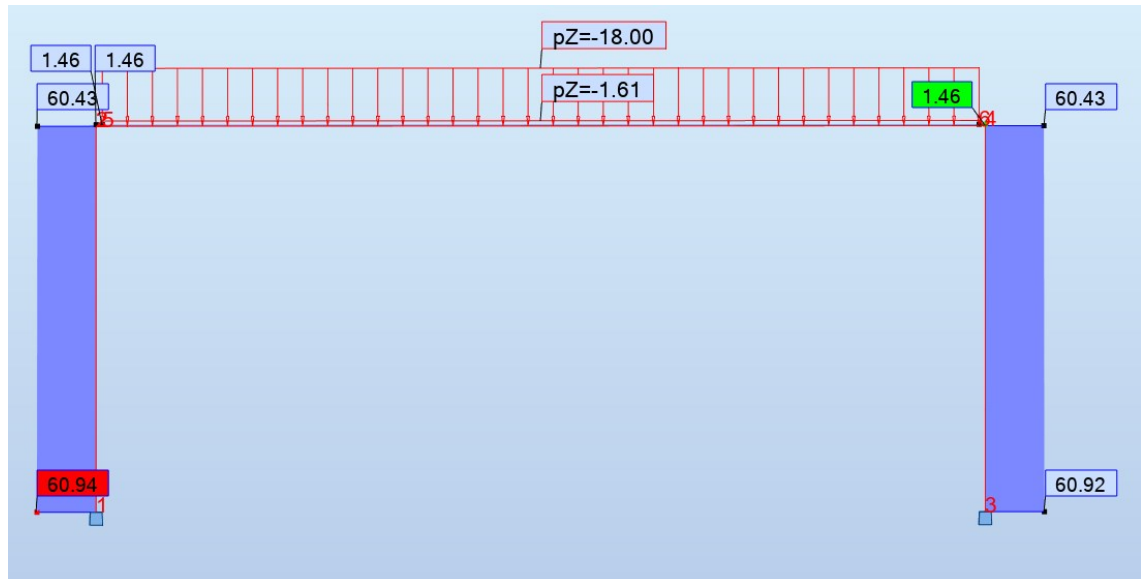
Pilarin profiili valinta tulee olemaan rakenneputkiprofiili. Rakenneputkiprofiilia voidaan käyttää huomattavasti normaalivoimarasitetuissa pilareissa, kuten kyseisessä kohteessa. Pilarit mitoitetaan suurimmalle mahdolliselle kuormalle. Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla mitoitettiin pilariin kohdistuvat momentti ja leikkausvoima. Pilari-palkki-liitos on epäkeskeinen, joka huomioitiin rakennemallia tehtäessä. Rakennemalli ja rasituskuvaajat selviävät kuvista 8–10. Mitoitustulokset on koottu liitteeseen 2.



Kuva 8. Momentit murtorajatilassa.



Kuva 9. Leikkausvoimat murtorajatilassa.



Kuva 10. Normaalivoimat murtorajatilassa.

4.3.1 Pilarin rasitukset ja poikkileikkaus

Pilarin poikkileikkausluokaksi saatiin 1.

Pilarin poikkileikkauksen kestävyys tulee tarkistaa. Poikkileikkauksen mitoitusarvo ei saa ylittää kestävyden mitoitusarvoa.

Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (35)$$

missä

N_{Ed} on puristusvoiman mitoitusarvo

$N_{c,Rd}$ on puristuskestävyyden mitoitusarvo.

Poikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkausluokka on 1,2 tai 3 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$N_{c,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (36)$$

missä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M0} on osavarmuusluku.

Poikkileikkauksen taivutusmomentin mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (37)$$

missä

M_{Ed} on taivutusmomentin mitoitusarvo

$M_{c,Rd}$ on taivutuskestävyyden mitoitusarvo.

Poikkileikkauksen taivutuskestävyyden mitoitusarvo, kun poikkileikkausluokka on 1 tai 2 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 53):

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (38)$$

missä

W_{pl} on poikkileikkauksen plastinen taivutusvastus

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M0} on osavarmuusluku.

Poikkileikkauksen leikkausvoiman mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 54):

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (39)$$

missä

V_{Ed} on leikkausvoiman mitoitusarvo

$V_{c,Rd}$ on leikkauskestävyyden mitoitusarvo.

Poikkileikkauksen leikkauskestävyyden mitoitusarvo (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 54):

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \quad (40)$$

missä

A_v on leikkauspinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M0} on osavarmuusluku.

4.3.2 Pilarin kestävyys

Kun poikkileikkausluokka on saatu selville ja poikkileikkauksen kestävyys on varmistettu, voidaan kestävyys määritellä nurjahdukselle. Koska profiili on neliön muotoinen kotelopoikkileikkaus, ei se ole altis kiepahdukselle, jolloin sen voi jättää huomioimatta. (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 65.)

Nurjahduskestävyyden mitoitusehto (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 61):

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (41)$$

missä

N_{Ed} on puristusvoiman mitoitusarvo

$N_{b,Rd}$ on puristetun sauvan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo.

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,Rd}$, lasketaan kaavalla, kun poikkileikkaus on 1, 2 tai 3 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 61):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (42)$$

missä

χ on nurjahduskestävyyden pienennystekijä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

γ_{M1} on osavarmuusluku.

Nurjahduskestävyyden pienennystekijä (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 61):

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0 \quad (43)$$

missä

Φ on pienennystekijän χ määrittämisessä tarvittava muuttuja

$\bar{\lambda}$ on muunnettu hoikkuus.

Nurjahduskestävyyden pienennystekijän tarvittava muuttuja (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 61):

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (44)$$

missä

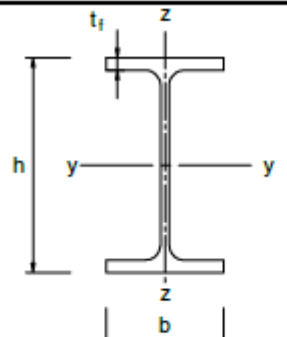
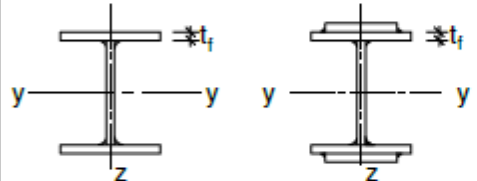

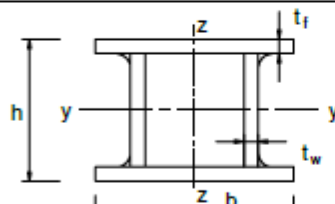
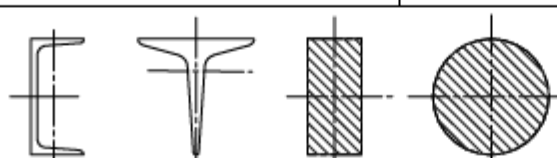

α on epätarkkuustekijä, joka valitaan taulukkojen 13 ja 14 mukaan

λ on muunnettu hoikkuus.

Taulukko 13. Nurjahduskäyrien epätarkkuustekijät (SFS-EN 1993-1-1, 2005,62).

Nurjahduskäyrä	a_0	a	b	c	d
Epätarkkuustekijä α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Taulukko 14. Nurjahduskäyrän valinta poikkileikkauksesta riippuen (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 63).

Poikkileikkaus	Rajat	Nurjahdus ko. akselin suhteen	Nurjahduskäyrä		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
 <p>Valssatut profiilit</p>	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100$ mm	y-y z-z	d d	c c
 <p>Hitsatut I-profiilit</p>	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
 <p>Rakenneputket</p>	Kuumamuovattu	Kaikki	a	a ₀	
	Kylmämuovattu	Kaikki	c	c	
 <p>Hitsatut koteloprofiilit</p>	Yleensä (poikkeus, ks. alla)	Kaikki	b	b	
	Paksut hitsit: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Kaikki	c	c	
 <p>U-, T- ja umpipiprofiilit</p>	Kaikki	c	c		
 <p>L-teräkset</p>	Kaikki	b	b		

Muunnettu hoikkuus lasketaan, kun poikkileikkausluokka on 1,2 tai 3 (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 61):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad (45)$$

missä

A on poikkileikkauksen pinta-ala

f_y on teräksen nimellinen myötöraja

N_{cr} on kimmoteorian mukainen bruttopoikkileikkauksen mukaan laskettu kriittinen voima kyseeseen tulevassa nurjahdusmuodossa.

Kimmenteorian mukainen kriittinen voima (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, 2014, 54):

$$N_{cr} = \pi^2 E \frac{I}{L_{cr}^2} \quad (46)$$


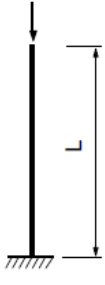
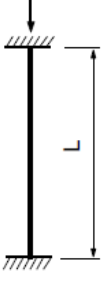
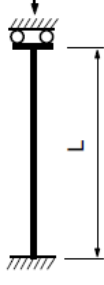

missä

E on kimmomoduuli

I on bruttopoikkileikkauksen neliömomentti

L_{cr} on nurjahduspituus, lasketaan taulukon 15 mukaan.

Taulukko 15. Pilarin teoreettinen nurjahduspituus perustapauksille (SSAB rakenneputket 2016, 401).

Molemmista päistä nivelöity pilari	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty pilari	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pilari	Molemmista päistä jäykästi kiinnitetty pilari, toinen kiinnityskohta sivusiirtävä	Toisesta päästä jäykästi kiinnitetty ja toisesta päästä nivelöity pilari
				
$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 2,0 L$	$L_{cr} = 0,5 L$	$L_{cr} = 1,0 L$	$L_{cr} = 0,7 L$

Taulukosta 16 saadaan poikkileikkauksen mukaan käytettävät arvot, yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen kestävyttä mitottaessa.

Taulukko 16. Arvot (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 70).

Suure	1	2	3	4
A_I	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen kestävyys y ja z akselin suhteen (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 70):

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (47)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0 \quad (48)$$

missä

N_{Ed} on puristusvoima mitoitusarvo

$M_{y,Ed}$ ja $M_{z,Ed}$ on maksimimomentin mitoitusarvo, y-y ja z-z akselien suhteen

ΔM_y ja ΔM_z on painopisteen siirtymisestä aiheutuva momentti taulukosta

χ_y ja χ_z on taivutusnurjahduksen pienennystekijä

χ_{LT} on 1,0 koska kotelopoikkileikkaus ja ei altis kiepahdukselle

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} ovat yhteisvaikutustekijöitä taulukosta 17.


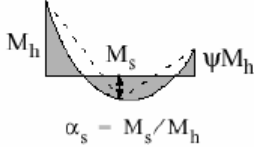
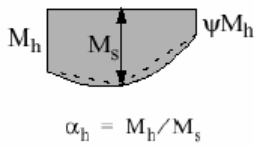
Taulukko 17. Yhteisvaikutustekijät (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 86).

Yhteisvaikutustekijät	Poikkileikkaustyyppi	Suunnitteluoletukset	
		Kimmoteorian mukaiset poikkileikkausominaisuudet, poikkileikkausluokat 3 ja 4	Plastisuusteorian mukaiset poikkileikkausominaisuudet, poikkileikkausluokat 1 ja 2
k_{yy}	I-profiilit	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Suorakaideputket	$\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-profiilit	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
	Suorakaideputket		
k_{zy}	I-profiilit	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
	Suorakaideputket		
k_{zz}	I-profiilit	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Suorakaideputket	$\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

I- ja H- poikkileikkauksille ja suorakaiteen muotoisille rakenneputkille, joihin kohdistuu aksiaalinen puristus ja taivutus $M_{v,Ed}$ yhden akselin suhteen, tekijälle k_{zy} voidaan valita arvo $k_{zy} = 0$.

Taulukosta 18 saadaan ekvivalentin momentin kertoimet, joita tarvitaan yhteisvaikutustekijöiden määrittämisessä.

Taulukko 18. Ekvivalentin momentin kertoimet C_m (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 87).

Momenttipinta	Alue		C_{my} ja C_{mz} ja C_{mLT}			
			Tasan jakaantunut kuormitus	Pistemäinen kuormitus		
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$			
						
$\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$		
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$		
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$		
	$-1 \leq \alpha_h < 0$		$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
			$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$	
			$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)^{1)}$	
Sivusiirtyvien kehien sauvoille ekvivalentin momentin kertoimiksi valitaan arvot $C_{my} = 0,9$ tai $C_{Mz} = 0,9$						
Kertoimet C_{my} , C_{mz} ja C_{mLT} valitaan kyseeseen tulevien tukipisteiden välisen taivutusmomenttipinnan mukaan seuraavasti:						
Momenttiker-roin	Akseli, jonka suhteen taivutus tapahtuu	Taso, jossa tukipisteet ovat siirtymättömiä				
C_{my}	y-y	z-z				
C_{mz}	z-z	y-y				
C_{mLT}	y-y	y-y				

4.4 Liitokset

Liitosten mitoitus perustuu standardiin EN 1993-1-8. Pilari-palkki- ja palkki-palkki-liitokset toteutetaan nivelellisinä. Pilarikiinnitys lattiaan toteutetaan jälkiankkuroinnilla niin, että siitä tulee jäykkä liitos.

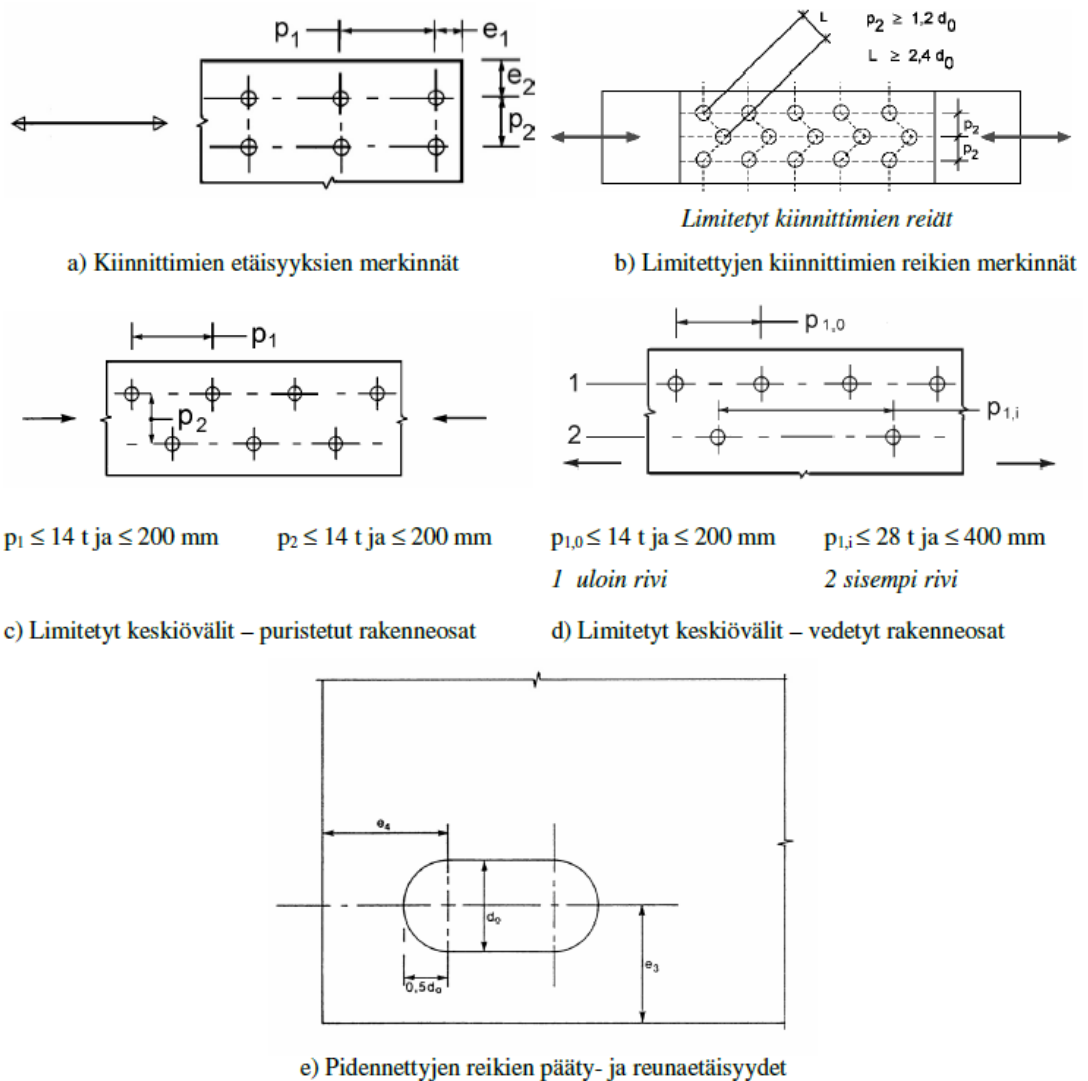
4.4.1 Pilari-palkki-liitos

Pilari-palkki-liitos, jossa palkki on liitetty pilarin päälle hitsattuun levyyn nivelellisesti. Nivelellinen liitos toteutetaan ruuviliitoksena, jotta liitos on joustava ja ei estä palkin kiertymistä tuella. (Liite L4.3 palkin liitos pilariin, 2.)

Pilari-palkki-liitoksessa käytetään kuusioruuveja, joiden reikien sijainti pitää täyttää ehdot keskiövälin, pääty- ja reunaetäisyyksille. Kiinnittimien sijainnit ja ehdot ovat taulukossa 19 ja kuvassa 11.

Taulukko 19. Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyydet (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 24).

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräksiset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm



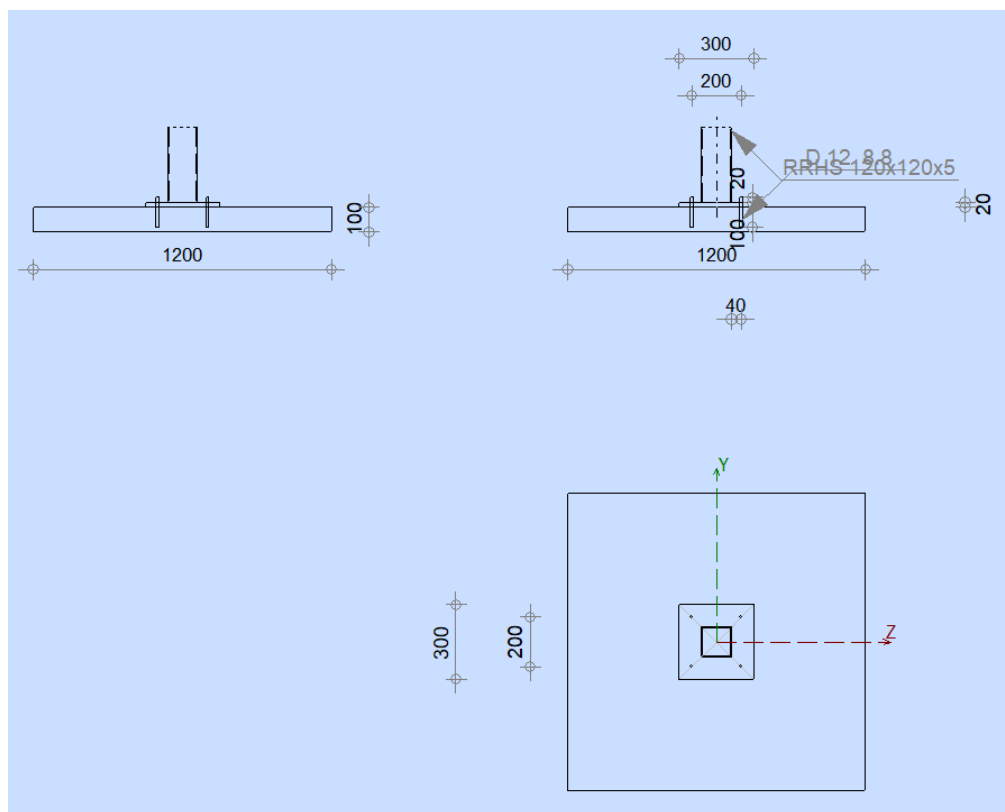
Kuva 11. Kiinnittimien pääty- ja reunaetäisyyksien sekä keskiövälin merkinnät (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 25).

4.4.2 Pilarin pohjalevy

Pilarin alapäähän hitsataan pohjalevy, jonka kiinnitys lattiaan toteutetaan jälkiankkuroinnilla. Pohjaosat on suunniteltava riittävän jäykiksi ja kestäviksi, jotta pilarissa vaikuttavien voimien siirtäminen perustuksiin tapahtuu niin että kestävyys ei ylitä. (SSAB rakenneputket 2016, 251.)

Normaalivoiman ja taivutusmomentin suhteista riippuen, pohjalevy voi olla kokonaan puristuksessa tai vedossa tai liitoksen toinen puoli on puristuksessa ja toinen vedossa. Jos ruuveihin aiheutuu vetoa, on pohjalevyn ja perustuksen kestävyys lisäksi tarkastettava perustusruuvien vetokestävyys ja ankkurointikestävyys sekä otettava huomioon leikkausvoiman vaikutus. (SSAB rakenneputket 2016, 256.)

Koska pilarin liitos lattiaan on työlästä mitoittaa, päätettiin mitoitus toteuttaa Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla, joka perustuu standardiin EN 1993-1-8. Liitoksen geometria on havaittavissa kuvassa 12. Mitoittavaksi tekijäksi tuli liitoksen taivutus 16 %. Mitoitustulokset ovat liitteessä 4.



Kuva 12. Pohjalevyn liitoksen geometria.

4.4.3 Jälkiankkurointi

Pilarin alapään liitoksessa kiinnikkeitä on neljä kappaletta, joista kaksi ottaa vedon ja kaksi puristuksen. Puristuspuoli ottaa leikkausvoiman. Vedetyt kiinnikkeet pitää tarkistaa, jotta ne kestävät.

Vetokestävyyden mitoitusehto:

$$\frac{N_{1.Ed}}{N_{Rec}} \leq 1,0 \quad (49)$$

missä

$N_{1.Ed}$ on yhdelle kiinnikkeelle tuleva vetovoima

N_{Rec} on yhden kiinnikkeen vetovoima

Leikkausvoiman mitoitusehto:

$$\frac{V_{1.Ed}}{V_{Rec}} \leq 1,0 \quad (50)$$

missä

$V_{1.Ed}$ on yhdelle kiinnikkeelle tuleva leikkausvoima

V_{Rec} on yhden kiinnikkeen leikkausvoima

Kiinnikkeeksi valittiin Hiltin sivuilta sopiva kiila-ankkuri, joka sopii kohteeseen. Koska tiedossa ei ole betonilaatan paksuutta. Työssä tehdään oletus, että se on vähintään 100 mm. Taulukosta 20 nähdään kiila-ankkurin perustiedot kokonaispituuden minimi- ja maksimiarvot sekä ankkurointipituudet.

Taulukko 20. Kiila-ankkurin perustiedot (Tekninen tietolomake metallin HST3-kiila-ankkurille, 3).

Anchor size		M8	M10		M12		M16		M20	M24
Approved variable embedment depth range ^{a)}	$h_{ef,min}$ -	47-90	40-100		50-125		65-160		101-180	125
	$h_{ef,max}$									
Effective anchorage depth ^{b)}	h_{ef}	47	40	60	50	70	65	85	101	125

Taulukosta 21 saadaan valitun kiila-ankkurin veto- ja leikkauslujuusarvot.

Taulukko 21. Kiila-ankkurin suositellut kuormat (Tekninen tietolomake metallin HST3-kiila-ankkurille, 4).

Anchor size		M8	M10		M12		M16		M20	M24		
Non-cracked concrete												
Tension	HST3 (-BW, -DN)	N_{Rec}	[kN]	5,7	5,9	10,5	8,3	11,9	12,3	18,4	23,8	28,6
	HST3-R (-BW, -DN)			5,7	5,9	10,5	8,3	11,9	12,3	18,4	23,8	28,6
Shear	HST3 (-BW, -DN)	V_{Rec}	[kN]	7,9	12,5	13,5	19,4	20,2	31,1	31,6	47,9	44,8
	HST3-R (-BW, -DN)			9,0	14,6	14,5	17,8	21,0	27,8	36,3	55,5	63,2
Cracked concrete												
Tension	HST3 (-BW, -DN)	N_{Rec}	[kN]	3,8	4,1	7,1	5,8	9,5	8,6	12,9	16,6	19,0
	HST3-R (-BW, -DN)			4,0	4,1	7,1	5,8	9,5	8,6	12,9	16,6	19,0
Shear	HST3 (-BW, -DN)	V_{Rec}	[kN]	7,9	11,1	13,5	16,1	20,2	29,3	31,6	47,9	44,8
	HST3-R (-BW, -DN)			9,0	11,1	14,5	16,1	21,0	27,8	36,3	53,3	57,3

5 Lopuksi

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa hallin laajennuksen teräsrakenteisen välitason rakenneosat. Rakenneosat mitoitettiin eurokoodien mukaisesti.

Mitoituksessa päädyttiin palkin profiiliin HEB 220 ja pilarin profiiliin rakenneputki 120x120x5. Palkin mitoittavaksi tekijäksi tuli taipuma 86 %. Pilarin mitoittavaksi tekijäksi tuli yhdistetty taivutus ja puristus y-akselin suhteen 23 %. Kantavan poimulevyn profiiliksi päädyttiin Weckmanin mitoitusohjelmalla W-155/840. Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla mitoitettiin pilarin pohjalevy, jonka kooksi saatiin 300x300x20. Jälkiankkurointiin valittiin Hiltin kiila-ankkuri HST3 BW M12.

Lopuksi myös todettiin, että kiepahduskestävyyttä ei olisi tarvinnut mitoittaa sillä palkin kiepahdus on estetty poimulevyn ruuveilla. Mitoituksessa myös havaittiin, että kipsilevystä tuleva hyötykuorma ei kohdistunut rasitetuimpaan kohtaan, joten sitä ei tarvinnut ottaa huomioon mitoituksessa.

Lähteet

Gyproc 2024. Gyproc GN 13 P Normaali. Tuotteet. Saint-Gobain Finland. Viitattu 13.11.2024. <https://www.gyproc.fi/Tuotteet/gyproc-gn-13-p-normaali#marketing-description>

Hilti 2023. HST-3 Expansion anchor. Tekninen tietolomake metallin HST3-kiila-ankkurille. Viitattu 15.11.2024. https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h18/h48/9989948997662/Technical-data-sheet-for-the-HST3-metal-expansion-anchor-Technical-information-ASSET-DOC-5412122.pdf

Kansallinen liite. 2007. SFS-EN 1993-1-1 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Liite 9. Ympäristöministeriön asetus Eurocode-satandardien soveltamisesta talonrakentamisessa. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Metsä 2022. Spruce Ply. Tuotekortti. Metsä Wood. Viitattu 13.11.2024. https://www.metsagroup.com/contentassets/832493da2a7142c5906ef197409c5579/metsa_wood_spruce_product_datasheet_fi.pdf

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. 2017. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN 1990+A1+AC. 2006. Eurocode. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1991-1-1+AC. 2002. Eurocode 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-5. 2006. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–5: Levyrakenteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SSAB Europe Oy. 2016. SSAB Domex Tube Rakenneputket EN 1993-käsikirja. Keuruu: SSAB Europe Oy.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. 2014. Helsinki. Teräsrakeneyhdistys ry.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. Sähköinen liite L4.2 pilarin liitosperustukseen. 2014. Helsinki. Teräsrakeneyhdistys ry.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. Sähköinen liite L4.3 palkin liitos pilariin. 2014. Helsinki. Teräsrakeneyhdistys ry.

Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 -oppikirja. Sähköinen liite L10.1 Teräshallin mitoitus esimerkki. 2014. Helsinki. Teräsrakeneyhdistys ry.

Weckman 2024. Kantavat poimulevyt. Suunnitteluohjeet. Iisalmi: Weckman Steel. Viitattu 15.11.2024. <https://www.weckmansteel.fi/suunnitteluohjeet-kantavat-poimulevyt/>

Poimulevyn mitoitus

WECKMAN OPTIMI 4.4

Weckman Steel Oy

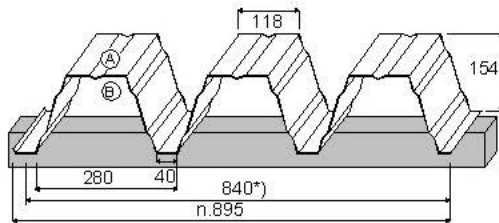
Sivu 1 **WECKMAN**

Ohjelman antamat mitoitustulokset ovat voimassa vain Weckman Steel Oy:n valmistamille teräspoimulevyille.

(C:\Users\Käyttäjä\OneDrive - Turun ammattikorkeakoulu\Tiedostot\Opinnäytetyö\Kantavat-poimulevy\Kantava-poimulevy.ws1)

PROJEKTI- JA PÄÄTIEDOT

NORMI:	EN 1993-1-3
SOVELLUSOSA:	NA Finland (RC2)
RAKENNETYYPPI:	Katto (eristetty)
TAIPUMARAJA:	$L \leq 4.5m \rightarrow L/150$, $L > 6.0m \rightarrow L/200$, muulloin 30 mm
ULOKKEEN TAIPUMARAJA:	L/100
KULMA VAAKATASOSTA:	0.0 astetta
POIMULEVY:	Weckman WV-155/840
ÄÄRIPÄIDEN VÄLIMATKA:	8100 mm
KESKIMÄÄRÄINEN PAINO:	17.62 kg/m ²
LEVYOSIEN KÄYTTÖASTE:	62.4 %



RAKENNETIEDOT

JANTEET JA AUKKOJATKOKSET:

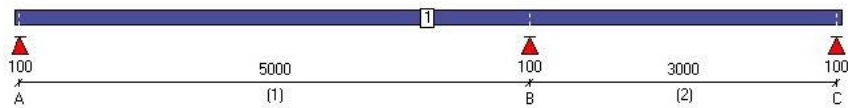
Aukko/uloke:	Pituus [mm]:	Jatkos:
Aukko 1	5000	-
Aukko 2	3000	-

TUET JA TUKIJATKOKSET:

Tuki:	Leveys [mm]:	Tukipala [mm]:	Jatkos:
A	100	-	-
B	100	-	-
C	100	-	-

LEVYOSIEN TIEDOT:

Levyosa:	Paksuus/Lujuus:	Sivuttaisisiiritys:	Pituus [mm]:	Lyhyet tukipalat:
1	1.20/350	normaali	8100	-



KUORMITUSTIEDOT

KUORMITUSYHDISTELMIEN KERTOIMET

Murtorajatila:

Kuormalaaji:	Maksimi:	Minimi:	Yhd. kerroin:

WECKMAN OPTIMI 4.4

Weckman Steel Oy

Sivu 2



Pysyvät kuormat	1.15	0.90	1.00
Lumikuormat	1.50	0.00	0.70
Hyötykuormat	1.50	0.00	0.70
tuulikuormat	1.50	0.00	0.60

Käyttöraajatila:

Kuormaleiji:	Maksimi:	Minimi:	Yhd. keroin:
Pysyvät kuormat	1.00	1.00	1.00
Lumikuormat	1.00	0.00	0.70
Hyötykuormat	1.00	0.00	0.70
tuulikuormat	1.00	0.00	0.60

PYSYVÄT KUORMAT:

Kuormatyyppi:	Sijainti:	Kuorman suuruus:
Pintakuorma	Koko matkalla	$Q = 0.17 \text{ kN/m}^2$

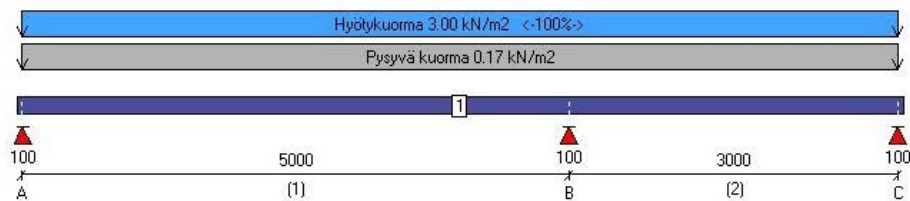
HYÖTYKUORMAT:

Kuormatyyppi:	Sijainti:	Kuorman suuruus:
Pintakuorma	Koko matkalla	$Q = 3.00 \text{ kN/m}^2$

Hyötykuormien liikkuvuus aukoittain = 100 %

Hyötykuorma luokka = B

Kuormat on levyä kohtisuoraan olevia

**LEVYOSIEN MITOITUSTIEDOT****Levyosien maksimi käyttöaste = 62.4 %**

Pöimulevy: W-155/840 (B-puoli tukea vasten)

Tuki A	$M_d = -0.00 \text{ kNm}$	käyttöaste = 0.0 %	Momentti (levyosa 1)
Tuki A	$V_d = 10.29 \text{ kN}$	käyttöaste = 18.0 %	Leikkaus (levyosa 1)
Tuki A	$T_d = 10.29 \text{ kN}$	käyttöaste = 18.7 %	Tukikestävyys (levyosa 1)
Tuki A	$M_d/M_{rd} + T_d/T_{rd} = 0.19$	käyttöaste = 15.0 %	Momentti + tukikestävyys (levyosa 1)
Aukko 1	$U = -16.0 \text{ mm}$	käyttöaste = 53.2 %	Taipuma (levyosa 1)
Aukko 1	$M_d = -10.2 \text{ kNm}$	käyttöaste = 49.3 %	Momentti (levyosa 1)
Aukko 1	$V_d = -14.1 \text{ kN}$	käyttöaste = 24.6 %	Leikkaus (levyosa 1)
Tuki B	$M_d = -11.62 \text{ kNm}$	käyttöaste = 56.3 %	Momentti (levyosa 1)
Tuki B	$V_d = -14.56 \text{ kN}$	käyttöaste = 25.5 %	Leikkaus (levyosa 1)
Tuki B	$T_d = 25.78 \text{ kN}$	käyttöaste = 41.6 %	Tukikestävyys (levyosa 1)
Tuki B	$M_d/M_{rd} + T_d/T_{rd} = 0.98$	käyttöaste = 62.4 %	Momentti + tukikestävyys (levyosa 1)
Aukko 2	$U = 3.3 \text{ mm}$	käyttöaste = 16.5 %	Taipuma (levyosa 1)
Aukko 2	$M_d = -10.5 \text{ kNm}$	käyttöaste = 51.0 %	Momentti (levyosa 1)
Aukko 2	$V_d = 10.7 \text{ kN}$	käyttöaste = 18.8 %	Leikkaus (levyosa 1)
Tuki C	$M_d = -0.00 \text{ kNm}$	käyttöaste = 0.0 %	Momentti (levyosa 1)
Tuki C	$V_d = -6.40 \text{ kN}$	käyttöaste = 11.2 %	Leikkaus (levyosa 1)

WECKMAN OPTIMI 4.4

Weckman Steel Oy

Sivu 3



Tuki C	T _d = 6.40 kN	käyttöaste = 11.6 %	Tukikestävyys (levyosa 1)
Tuki C	M _d /M _{rd} +T _d /T _{rd} = 0.12	käyttöaste = 9.3 %	Momentti + tukikestävyys (levyosa 1)

KIINNIKKEIDEN MITOITUSTIEDOT**Kiinnikkeiden maksimi käyttöaste = 28.9 %****TUKIKIINNIKKEET:**

TUEN LUJUUSLUOKKA: S235JRG2 (235/360)
 TUEN AINEVAHVUUS: 3.0 mm
 KIINNIKKEEN TYYPPI: Poraruuvi
 KIINNIKE: SD5-H15-5.5x22
 VALMISTAJA: SFS intec
 SJOITUS: Jokaisen poimun pohjasta

Tuki A	1 kpl/poimun pohja	Käyttöaste = 0.0 %	Minimivaatimus
Tuki B	1 kpl/poimun pohja	Käyttöaste = 0.0 %	Minimivaatimus
Tuki C	1 kpl/poimun pohja	Käyttöaste = 28.9 %	Vetomurtuminen

Kiinnikkeiden soveltuvuus alustaan vaimistettava erikseen

SIVUSUUNNAN LIMITYSKIINNIKKEET:

KIINNIKKEEN TYYPPI: Poraruuvi
 KIINNIKE: SL2-4.8x20
 VALMISTAJA: SFS intec

Levyosa 1	k-jako = 500 mm	Käyttöaste = 0.0 %	Minimivaatimus
-----------	-----------------	--------------------	----------------

Rakenneosien mitoitus

1. Yleistä
2. Rakennejärjestelmän esittely
 - 2.1. Perustiedot
 - 2.2. Rakenteellinen järjestelmä
3. Kuormat
4. Kuormitusyhdistelmät
5. Rakenneosien mitoitus
 - 5.1. Palkki
 - 5.1.1. Poikkileikkausluokka
 - 5.1.2. Taivutuskestävyys
 - 5.1.3. Leikkauskestävyys
 - 5.1.4. Kiepahduskestävyys
 - 5.1.5. Taipuma
 - 5.1.6. Pistekuormakestävyys
 - 5.2. Pilari
 - 5.2.1. Poikkileikkausluokka ja poikkileikkauksen kestävyys
 - 5.2.2. Pilarin nurjahduskestävyys
 - 5.2.3. Yhdistetty taivutuksen ja puristuksen kestävyys
6. Liitokset
 - 6.1. Jälkiankkurointi

1. Yleistä

Rakenteellinen mitoitus perustuu Eurocode-standardeihin. Mitoitusperusteiden ja kuormitusten osalta ohjeena on käytetty RIL 201-1-2017 julkaisua. Pilarien ja palkkien mitoitus perustuu standardiin SFS-EN 1993-1-1. 2005. Liitosten mitoitus perustuu standardiin SFS-EN 1993-1-8. 2005.

2. Rakennejärjestelmän esittely

2.1 Perustiedot

Kohteen nimi:	Hallin laajennus, välitason suunnittelu
Pääkäyttötarkoitus:	Opetus tila
Seuraamusluokka:	CC2
Pääasiallinen rakennusmateriaali:	Teräs
Pää mitat:	leveys 8m pituus 18m ja korkeus 2,6m
Pinta-ala:	~145m ²
Rakennuskohteen kuvaus:	Välitaso on teräsrunkoinen

2.2 Rakenteellinen järjestelmä

Pääasialliset runkorakenteet:	
Pilari:	Rakenneputki-profiili
Palkki:	HEB-profiili

Kuormakerroin:

$$K_{FI} := 1.0$$

osavarmuusluvut:

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Materiaali tiedot:

$$f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$E := 210 \text{ GPa}$$

$$G := 81 \text{ GPa}$$

3. Kuormat

Välitason pystykuormat koostuvat rakenteiden omasta painosta ja hyötykuormasta

Oma paino muodostuu välitason kantavasta poimulevystä sekä sen päällä olevasta vanerista sekä rakenneosien omasta painosta.

Non-Commercial Use Only

$$g_{k,vaneri} := 0.17 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Vanerin omapaino}$$

$$g_{k,plevy} := 0.18 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Kantavan poimulevyn omapaino}$$

$$g_{k,palkki} := 0.72 \frac{kN}{m} \quad \text{Palkin omapaino}$$

$$g_{k,pilari} := 0.20 \frac{kN}{m} \quad \text{Pilarin omapaino}$$

Hyötykuorma koostuu välipohjaan kohdistuva kuormasta sekä kipsilevy lavasta

$$q_{k,1} := 3 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Hyötykuorma}$$

$$q_{k,2} := 4.5 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Hyötykuorma, kipsilevy lava} \quad \text{(Pahin kohta mitoittaa, kipsilevy lava ei vaikuttanut mitoittavassa kohdassa)}$$

Rakenteisiin kohdistuva vaakakuormat muodostuvat epätarkkuuksista ja rakenteiden vinoudesta

4. Kuormitusyhdistelmät

Murtorajatila

Kuormitusyhdistelmät STR, sarja B

$$1.15 \cdot K_{FI} \sum G_{k,j} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$0.9 \sum G_{k,j} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kuitenkin vähintään

$$1.35 \cdot \sum G_{k,j}$$

$$0.9 \cdot \sum G_{k,j}$$

Käyttörajatila

Kuormitusyhdistelmä, ominaisyhdistelmä

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Non-Commercial Use Only

Osavarmuuskertoimet

$$\begin{aligned}\gamma_G &:= 1.15 \\ \gamma_{G,max} &:= 1.35 \\ \gamma_{G,min} &:= 0.90 \\ \gamma_Q &:= 1.5 \\ \psi_0 &:= 0.7\end{aligned}$$

Tavanomaisia kuormitusyhdistelmiä

$$\begin{aligned}KY1 &= \gamma_G \cdot K_{FI} \cdot \sum G_{k,j} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} \\ KY2 &= \gamma_{G,min} \cdot K_{FI} \cdot \sum G_{k,j} + 1.5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} \\ KY3 &= \gamma_{G,max} \cdot \sum G_{k,j} \\ KY4 &= \gamma_{G,min} \cdot \sum G_{k,j} \\ KY5 &= \sum G_{k,j} + Q_{k,1}\end{aligned}$$

Rakenneosien tulisi kestää kaikki kuormitustapaukset. Valitaan siis kuormitusyhdistelmä joka on vaarallisin.

5. Rakenneosien mitoitus**5.1 Palkki**

Lähtötiedot:

$$\begin{aligned}L &:= 6 \text{ m} & \text{Pituus} \\ K &:= 4 \text{ m} & \text{Kuormitus leveys}\end{aligned}$$

$$P_{Ed} := K \cdot (1.15 \cdot (g_{k,vaneri} + g_{k,plevy}) + 1.5 \cdot q_{k,1}) = 19.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Ed} := \frac{P_{Ed} \cdot L^2}{8} = 88.245 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{Ed} := \frac{P_{Ed} \cdot L}{2} = 58.83 \text{ kN}$$

5.1.1 Poikkileikkausluokka

Valitaan profiili HEB 220

$$h := 220 \text{ mm} \quad b := 220 \text{ mm} \quad t_w := 9.5 \text{ mm} \quad t_f := 16 \text{ mm} \quad r := 18 \text{ mm}$$

Non-Commercial Use Only

$$\varepsilon := \sqrt{\frac{235 \cdot \frac{N}{mm^2}}{f_y}} = 0.814$$

$$c_f := \frac{b - t_w}{2} - r = 87.25 \text{ mm} \quad c_w := h - (t_f + r) \cdot 2 = 152 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = 5.453 \quad \leq \leq \quad 9 \cdot \varepsilon = 7.323 \quad PLL1$$

$$\frac{c_w}{t_w} = 16 \quad \leq \leq \quad 72 \cdot \varepsilon = 58.58 \quad PLL1$$

Profiilin poikkileikkausluokka -> PLL1

5.1.2 Taivutuskestävyys

$$W_{pl} := 827 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{c.Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 293.585 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c.Rd}} = 0.301 \quad \leq \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyys 30%} \quad \text{OK!}$$

5.1.3 Leikkauskestävyys

$$A := 9104 \text{ mm}^2$$

$\eta := 1.0$ Varmalla puolella oleva arvo

$$h_w := h - 2 \cdot t_f = 188 \text{ mm}$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 0.003 \text{ m}^2 \quad \geq \geq \quad \eta \cdot h_w \cdot t_w = 0.002 \text{ m}^2$$

$$V_{pl.Rd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 572.246 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl.Rd}} = 0.103 \quad \leq \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyys 10%} \quad \text{OK!}$$

5.1.4 Leikkuslommahduskestävyys

$$\frac{h_w}{t_w} = 19.789 \quad \geq \geq \quad \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = 58.58 \quad \text{Jäykistämättömälle uumalle}$$

Leikkuslommahdusta ei tarvitse tarkistaa sillä ehto ei toteudu

Non-Commercial Use Only

5.1.5 Kiepahduskestävyys

$$I_z := 2843 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad \text{Neliömomentti heikomman akselin suhteen}$$

$$I_t := 76.57 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad \text{Vääntöneliömomentti}$$

$$I_\omega := 295418 \cdot 10^6 \text{ mm}^6 \quad \text{Käyritysmisjäyhyys}$$

$$k := 1.0 \\ k_\omega := 1.0 \quad \text{taulukkoarvot}$$

$$z_0 := 0 \quad \text{Vääntökeskiön etäisyys painopisteestä (kaksoissymmetrinen poikkileikkaus niin 0)}$$

$$z_a := \frac{h}{2} = 0.11 \text{ m} \quad \text{Kuorman vaikutuspisteen koordinaatti}$$

$$z_g := z_a - z_0 = 0.11 \text{ m}$$

$$C_1 := 1.132 \quad \text{taulukkoarvoja} \\ C_2 := 0.459$$

$$M_{cr} := C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left(\sqrt{\left(\frac{k}{k_\omega} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - (C_2 \cdot z_g) \right) = 324.194 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\lambda_{LT} := \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = 0.952 \quad \leq \leq 0.2 \quad \text{Ei toteudu joten pitää ottaa huomioon}$$

$$\alpha_{LT} := 0.21 \quad \text{Taulukkoarvo, Kiepahduskäyrän epätarkkuustekijä}$$

$$\Phi_{LT} := 0.5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2 \right) = 1.032$$

$$\chi_{LT} := \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = 0.699 \quad \leq \leq 1.0$$

$$M_{b.Rd} := \chi_{LT} \cdot W_{pl} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 205.266 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b.Rd}} = 0.43 \quad \leq \leq 1.0 \quad \text{Kestävyys 43\%} \quad \text{OK!}$$

5.1.6 Taipuma

Taipuma mitoitus toteutettiin Autodesk robot structural analysis-ohjelmalla. Robotista saatiin taipuman arvoksi 12mm

$$\frac{L}{400} = 15 \text{ mm} \quad \text{Taipuman raja-arvo}$$

Non-Commercial Use Only

$$\frac{13}{15} = 0.867 \quad \leq 1.0 \quad \text{Kestävyyys 86\%} \quad \text{OK!}$$

5.1.7 Pistekuormakestävyys

$$N_{Ed} := 60.43 \text{ kN}$$

Pistekuormakestävyys palkin päässä

$$s_s := 120 \text{ mm} \quad c := 0$$

$$k_F := 2 + 6 \cdot \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) = 5.83 \quad \leq 6 \quad k_F := 6$$

$$m_1 := \frac{f_y \cdot b}{f_y \cdot t_w} = 23.158$$

$$m_2 := 0$$

$$l_e := \frac{k_F \cdot E \cdot t_w^2}{2 \cdot f_y \cdot h_w} = 0.852 \text{ m} \quad > s_s + c = 0.12 \text{ m} \quad l_e := 120 \text{ mm}$$

$$l_y := l_e + t_f \cdot \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f} \right)^2} + m_2 = 0.252 \text{ m}$$

$$l_y := l_e + t_f \cdot \sqrt{m_1 + m_2} = 0.197 \text{ m} \quad l_y := 184 \text{ mm}$$

$$F_{cr} := 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = (5.172 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\lambda_F := \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} = 0.346 \quad \leq 0.5 \quad \rightarrow m_2 \text{ on } 0$$

$$\chi_F := \frac{0.5}{\lambda_F} = 1.443 \quad \leq 1.0 \quad \chi_F := 1.0$$

$$L_{eff} := \chi_F \cdot l_y = 0.184 \text{ m}$$

$$F_{Rd} := \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} = 620.54 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} = 0.097 \quad \leq 1.0 \quad \text{Kestävyyys 9\%} \quad \text{OK!}$$

Non-Commercial Use Only

Mitoitavaksi tekijäksi tuli taipuma. Valittu palkki kestää kyseisen kuormituksen osalta

5.2 Pilari

Lähtötiedot

$$\begin{aligned} L_p &:= 2.6 \text{ m} \\ L_{jännε} &:= 6 \text{ m} \\ k &:= 4 \text{ m} \\ A_{kuorma} &:= L_{jännε} \cdot k = 24 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$N_{Ed} := 60.43 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := 2.54 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Tulokset Robotilla}$$

$$V_{Ed} := 60.94 \text{ kN}$$

5.2.1 Poikkileikkausluokka ja poikkileikkauksen kestävyys

Valitaan putkiprofiili

$$\begin{aligned} h_p &:= 120 \text{ mm} & t_p &:= 5 \text{ mm} \\ b_p &:= h_p = 120 \text{ mm} & r_p &:= 2 \cdot t_p = 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Laippa

$$c_f := b_p - (2 \cdot r_p) = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_p} = 20 \quad \ll < \quad 33 \cdot \varepsilon = 26.849 \quad \Rightarrow \text{PLL1}$$

Uuma

$$c_w := h_p - (2 \cdot r_p) = 100 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_p} = 20 \quad \ll < \quad 72 \cdot \varepsilon = 58.58 \quad \Rightarrow \text{PLL1}$$

=> Profiilin koko poikkileikkausluokka on PLL1

Non-Commercial Use Only

Poikkileikkauksen puristuskestävyys

$$A := 26.43 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$N_{cRd} := A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 938.265 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cRd}} = 0.064 \quad \leq 1.0 \quad \text{Kestävyys 6%} \quad \text{OK!}$$

Poikkileikkauksen taivutuskestävyys

$$W_{ply} := 111.61 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{cRd} := W_{ply} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 39.622 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{cRd}} = 0.064 \quad \leq 1.0 \quad \text{Kestävyys 6%} \quad \text{OK!}$$

Poikkileikkauksen leikkauskestävyys

$$A_v := \frac{A \cdot h_p}{b_p + h_p} = (1.322 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$V_{cRd} := \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 270.854 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{cRd}} = 0.225 \quad \leq 1.0 \quad \text{Kestävyys 22%} \quad \text{OK!}$$

5.2.2 Pilarin nurjahduskestävyys

c-käyrä eli $\alpha := 0.49$

$$L_{cry} := 2 \cdot L_p = 5.2 \text{ m}$$

$$I_y := 562.16 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z := I_y$$

$$N_{cry} := \pi^2 \cdot E \cdot \frac{I_y}{L_{cry}^2} = 430.896 \text{ kN}$$

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cry}}} = 1.476$$

$$\phi_y := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2) = 1.901$$

Non-Commercial Use Only

$$\chi_y := \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = 0.323 \quad \square \leq \square \quad 1.0$$

$$L_{crz} := 2.0 \cdot L_p = 5.2 \text{ m}$$

$$N_{crz} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{crz}^2} = 430.896 \text{ kN}$$

$$\lambda_z := \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{crz}}} = 1.476$$

$$\phi_z := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^2) = 1.901$$

$$\chi_z := \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = 0.323$$

$$N_{b,Rd} := \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 302.651 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.2 \quad \square \leq \square \quad 1.0 \quad \text{Kestävyyys 20\%}$$

OK!

5.2.3 Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen kestävyys

Yhteisvaikutustekijä k_{ij}

$$M_2 := 1.27 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_1 := -2.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\psi := \frac{M_2}{M_1} = -0.5$$

$$c_{my} := 0.6 + 0.4 \cdot \psi = 0.4 \quad \square \geq \square \quad 0.4$$

$$k_{yy} := c_{my} \cdot \left(1 + (\lambda_y - 0.2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.502$$

$$k_{yy,max} := c_{my} \cdot \left(1 + 0.8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \right) = 0.464$$

$$k_{yy} \leq k_{yy,max}$$

Non-Commercial Use Only

Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen kestävyys y-akselin suhteen

$$\Delta M_{y.Ed} := 0$$

$$\chi_{LT} := 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed} + \Delta M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.232 \quad \leq \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyys 23\%} \quad \text{OK!}$$

Yhdistetyn taivutuksen ja puristuksen kestävyys z-akselin suhteen

$$k_{zy} := 0.6 \cdot k_{yy} = 0.301$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed} + \Delta M_{y.Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} = 0.219 \quad \leq \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyys 21\%} \quad \text{OK!}$$

Pilarin mitoittavaksi tekijäksi tuli yhdistetty taivutus ja puristus y-akselin suhteen. Valittu pilari kestää kyseisien kuormitusten osalta

6. Liitosten mitoitus

6.1 Jälkiankkurointi

Ruuvien mitoitus vedolle ja leikkaukselle

Kiinnikeitä 4kpl joista kaksi puristus puolella ja kaksi vedon puolella. Vedetyt kiinnikkeet pitää tarkistaa että kestävät.

$$z := 200 \text{ mm}$$

$$M_{Ed,p} := 1.27 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Robotti}$$

$$V_{Ed,p} := 1.46 \text{ kN}$$

Kiinnike kiila-ankkuri HST3 BW M12

$$N_{Rec} := 8.3 \text{ kN}$$

$$V_{Rec} := 19.4 \text{ kN}$$

$$N_{veto} := \frac{M_{Ed,p}}{\frac{z}{2}} = 3.175 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{veto}}{N_{Rec}} = 0.383 \quad \leq \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyys 38\%} \quad \text{OK!}$$

Non-Commercial Use Only

$$\frac{V_{Ed,p}}{2} = 0.038 \quad \leq \quad 1.0 \quad \text{Kestävyyks 3%} \quad \text{OK!}$$

The equation shows a calculated value of 0.038, which is less than or equal to the limit value of 1.0. The text 'Kestävyyks 3%' and 'OK!' are placed to the right of the comparison.

Kiinnikkeet kestävät liitokseen tulevat kuormitukset.

Non-Commercial Use Only

Taipuman mitoitus

STEEL DESIGN

CODE: *SFS-EN 1993-1:2005/NA:2007/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.*
 ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: **5 Beam-1_5**

POINT:

COORDINATE:



SECTION PARAMETERS: **HEB 220**

ht=22.0 cm

bf=22.0 cm

tw=0.9 cm

tf=1.6 cm

Ay=70.40 cm²

Iy=8090.97 cm⁴

Wely=735.54 cm³

Az=20.90 cm²

Iz=2843.27 cm⁴

Welz=258.48 cm³

Ax=91.04 cm²

Ix=81.80 cm⁴

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

uy = 0.0 cm < uy max = L/400.00 = 1.5 cm Verified

Governing Load Case: 11 SLS (1+2+3)*1.00

uz = 1.3 cm < uz max = L/400.00 = 1.5 cm Verified

Governing Load Case: 11 SLS (1+2+3)*1.00



Displacements (GLOBAL SYSTEM): *Not analyzed*

Section OK !!!

Pohjalevyn mitoitus



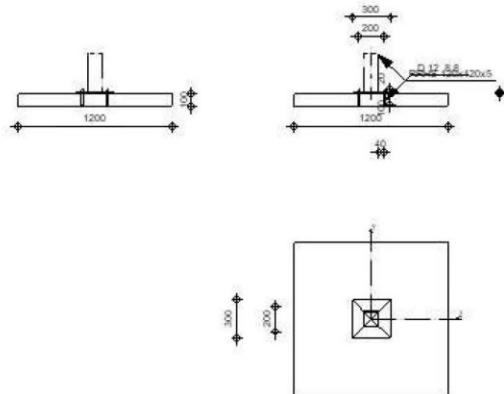
Robot Structural Analysis Professional 2023

Fixed column base design

Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design Guide:
Design of fastenings in concrete



Ratio
0,16



GENERAL

Connection no.: 1
Connection name: Fixed column base

GEOMETRY

COLUMN

Section: RRHS 120x120x5

$L_c =$	2,60	[m]	Column length
$\alpha =$	0,0	[Deg]	Inclination angle
$h_c =$	120	[mm]	Height of column section
$b_{fc} =$	120	[mm]	Width of column section
$t_{wc} =$	5	[mm]	Thickness of the web of column section
$t_{fc} =$	5	[mm]	Thickness of the flange of column section
$r_c =$	5	[mm]	Radius of column section fillet
$A_c =$	22,40	[cm ²]	Cross-sectional area of a column
$I_{yc} =$	485,00	[cm ⁴]	Moment of inertia of the column section
Material: S355J2G3			
$f_{yc} =$	355,00	[MPa]	Resistance
$f_{uc} =$	490,00	[MPa]	Yield strength of a material

COLUMN BASE

$l_{pd} =$	300	[mm]	Length
$b_{pd} =$	300	[mm]	Width
$t_{pd} =$	20	[mm]	Thickness
Material: S355J2G3			
$f_{ypd} =$	355,00	[MPa]	Resistance
$f_{upd} =$	490,00	[MPa]	Yield strength of a material

ANCHORAGE

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

Class =	8.8	Anchor class
f_{yb} =	640,00 [MPa]	Yield strength of the anchor material
f_{ub} =	800,00 [MPa]	Tensile strength of the anchor material
d =	12 [mm]	Bolt diameter
A_s =	0,84 [cm ²]	Effective section area of a bolt
A_v =	1,13 [cm ²]	Area of bolt section
n_H =	2	Number of bolt columns
n_V =	2	Number of bolt rows
Horizontal spacing e_{H1} =	200 [mm]	
Vertical spacing e_{V1} =	200 [mm]	

Anchor dimensions

L_1 =	20 [mm]
L_2 =	100 [mm]

Washer

l_{wd} =	0 [mm]	Length
b_{wd} =	0 [mm]	Width
t_{wd} =	0 [mm]	Thickness

MATERIAL FACTORS

γ_{M0} =	1,00	Partial safety factor
γ_{M2} =	1,25	Partial safety factor
γ_C =	1,50	Partial safety factor

SPREAD FOOTING

L =	1200 [mm]	Spread footing length
B =	1200 [mm]	Spread footing width
H =	100 [mm]	Spread footing height

Concrete

Class	C20/25	
f_{ck} =	20,00 [MPa]	Characteristic resistance for compression

Grout layer

t_g =	0 [mm]	Thickness of leveling layer (grout)
$f_{ck,g}$ =	12,00 [MPa]	Characteristic resistance for compression
$C_{f,d}$ =	0,30	Coeff. of friction between the base plate and concrete

WELDS

a_p =	4 [mm]	Footing plate of the column base
---------	--------	----------------------------------

LOADS

Case: Manual calculations.

$N_{i,Ed}$ =	-60,00 [kN]	Axial force
$V_{i,Ed,y}$ =	2,00 [kN]	Shear force
$M_{i,Ed,y}$ =	2,00 [kN*m]	Bending moment

RESULTS**COMPRESSION ZONE****COMPRESSION OF CONCRETE**

$f_{cd} = 13,33$	[MPa]	Design compressive resistance	EN 1992-1:[3.1.6.(1)]
$f_j = 11,85$	[MPa]	Design bearing resistance under the base plate	[6.2.5.(7)]
$c = t_p \sqrt{f_{cp}/(3*f_j*\gamma_{M0})}$			
$c = 63$	[mm]	Additional width of the bearing pressure zone	[6.2.5.(4)]
$b_{eff} = 131$	[mm]	Effective width of the bearing pressure zone under the flange	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} = 246$	[mm]	Effective length of the bearing pressure zone under the flange	[6.2.5.(3)]
$A_{c0} = 323,74$	[cm ²]	Area of the joint between the base plate and the foundation	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$A_{c1} = 801,52$	[cm ²]	Maximum design area of load distribution	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$F_{Rdu} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$			
$F_{Rdu} = 679,20$	[kN]	Bearing resistance of concrete	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$\beta_j = 0,67$		Reduction factor for compression	[6.2.5.(7)]
$f_{jd} = \beta_j * F_{Rdu} / (b_{eff} * l_{eff})$			
$f_{jd} = 13,99$	[MPa]	Design bearing resistance	[6.2.5.(7)]
$A_{c,n} = 598,30$	[cm ²]	Bearing area for compression	[6.2.8.2.(1)]
$A_{c,y} = 299,15$	[cm ²]	Bearing area for bending My	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd} = A_{c,y} * f_{jd}$			
$F_{c,Rd,n} = 836,81$	[kN]	Bearing resistance of concrete for compression	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y} = 418,41$	[kN]	Bearing resistance of concrete for bending My	[6.2.8.3.(1)]
COLUMN FLANGE AND WEB IN COMPRESSION			
$CL = 1,00$		Section class	EN 1993-1-1:[5.5.2]
$W_{pl,y} = 95,45$	[cm ³]	Plastic section modulus	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,y} = 33,88$	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{f,y} = 115$	[mm]	Distance between the centroids of flanges	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$			
$F_{c,fc,Rd,y} = 294,65$	[kN]	Resistance of the compressed flange and web	[6.2.6.7.(1)]
RESISTANCES OF SPREAD FOOTING IN THE COMPRESSION ZONE			
$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$			
$N_{j,Rd} = 836,81$	[kN]	Resistance of a spread footing for axial compression	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$			
$F_{c,Rd,y} = 294,65$	[kN]	Resistance of spread footing in the compression zone	[6.2.8.3]

CONNECTION CAPACITY CHECK

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)		$0,07 < 1,00$	verified	(0,07)
$e_y = 33$	[mm]	Axial force eccentricity		[6.2.8.3]
$z_{c,y} = 63$	[mm]	Lever arm $F_{c,Rd,y}$		[6.2.8.1.(2)]
$z_{t,y} = 100$	[mm]	Lever arm $F_{T,Rd,y}$		[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,y} = 12,82$	[kN*m]	Connection resistance for bending		[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)		$0,16 < 1,00$	verified	(0,16)

SHEAR

BEARING PRESSURE OF AN ANCHOR BOLT ONTO THE BASE PLATE

Shear force $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 1,19$		Coeff. taking account of the bolt position - in the direction of shear	[Table 3.4]
$\alpha_{b,y} = 1,00$		Coeff. for resistance calculation $F_{1,yb,Rd}$	[Table 3.4]
$k_{1,y} = 2,50$		Coeff. taking account of the bolt position - perpendicularly to the direction of shear	[Table 3.4]
$F_{1,yb,Rd,y} = k_{1,y} * \alpha_{b,y} * f_{up} * d * t_p / \gamma_{M2}$			
$F_{1,yb,Rd,y} = 235,20$	[kN]	Resistance of an anchor bolt for bearing pressure onto the base plate	[6.2.2.(7)]

SHEAR OF AN ANCHOR BOLT

$\alpha_b = 0,25$		Coeff. for resistance calculation $F_{2,yb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} = 1,13$	[cm ²]	Area of bolt section	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} = 800,00$	[MPa]	Tensile strength of the anchor material	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} = 1,25$		Partial safety factor	[6.2.2.(7)]
$F_{2,yb,Rd} = \alpha_b * f_{ub} * A_{vb} / \gamma_{M2}$			
$F_{2,yb,Rd} = 17,95$	[kN]	Shear resistance of a bolt - without lever arm	[6.2.2.(7)]

CONCRETE PRY-OUT FAILURE

$N_{Rk,c} = 27,95$	[kN]	Design uplift capacity	CEB [9.2.4]
$k_3 = 2,00$		Factor related to the anchor length	CEB [9.3.3]
$\gamma_{Mc} = 2,16$		Partial safety factor	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$			
$F_{v,Rd,cp} = 25,88$	[kN]	Concrete resistance for pry-out failure	CEB [9.3.1]

CONCRETE EDGE FAILURE

Shear force $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c,y}^0 = 143,52$	[kN]	Characteristic resistance of an anchor	CE
$\psi_{A,V,y} = 0,09$		Factor related to anchor spacing and edge distance	
$\psi_{h,V,y} = 1,96$		Factor related to the foundation thickness	CE
$\psi_{s,V,y} = 0,90$		Factor related to the influence of edges parallel to the shear load direction	CE
$\psi_{ec,V,y} = 1,00$		Factor taking account a group effect when different shear loads are acting on the individual anchors in a group	CE
$\psi_{\alpha,V,y} = 1,00$		Factor related to the angle at which the shear load is applied	CE
$\psi_{ucr,V,y} = 1,00$		Factor related to the type of edge reinforcement used	CE
$\gamma_{Mc} = 2,16$		Partial safety factor	C

$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y}^0 \cdot \psi_{A,V,y} \cdot \psi_{h,V,y} \cdot \psi_{s,V,y} \cdot \psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{\alpha,V,y} \cdot \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$

$F_{v,Rd,c,y} = 10,40$	[kN]	Concrete resistance for edge failure	CEB [9.3.1]
------------------------	------	--------------------------------------	-------------

SPLITTING RESISTANCE

$C_{f,d} = 0,30$		Coeff. of friction between the base plate and concrete	[6.2.2 (6)]
$N_{c,Ed} = 60,00$	[kN]	Compressive force	[6.2.2 (6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$			
$F_{f,Rd} = 18,00$	[kN]	Slip resistance	[6.2.2 (6)]

SHEAR CHECK

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{f,Rd}$

$V_{j,Rd,y} = 59,62$	[kN]	Connection resistance for shear	CEB [9.3.1]
----------------------	------	---------------------------------	-------------

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0,03 < 1,00$	verified	(0,03)
------------------------------------	---------------	----------	--------

WELDS BETWEEN THE COLUMN AND THE BASE PLATE

$\sigma_L = 35,26$	[MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3 (7)]
$\tau_L = 35,26$	[MPa]	Perpendicular tangent stress	[4.5.3 (7)]
$\tau_{yII} = 2,08$	[MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3 (7)]
$\tau_{zII} = 0,00$	[MPa]	Tangent stress parallel to $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3 (7)]
$\beta_W = 0,90$		Resistance-dependent coefficient	[4.5.3 (7)]
$\sigma_L / (0,9 \cdot f_u \cdot \gamma_{M2}) \leq 1,0$ (4.1) $0,10 < 1,00$ verified (0,10)			
$\sqrt{(\sigma_L^2 + 3,0 (\tau_{yII}^2 + \tau_L^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1) $0,16 < 1,00$ verified (0,16)			
$\sqrt{(\sigma_L^2 + 3,0 (\tau_{zII}^2 + \tau_L^2))} / (f_u / (\beta_W \cdot \gamma_{M2})) \leq 1,0$ (4.1) $0,15 < 1,00$ verified (0,15)			

CONNECTION STIFFNESS

Bending moment $M_{j,Ed,y}$

$b_{eff} = 131$	[mm]	Effective width of the bearing pressure zone under the flange	[6.2.5 (3)]
$l_{eff} = 246$	[mm]	Effective length of the bearing pressure zone under the flange	[6.2.5 (3)]
$k_{13,y} = E_c \cdot \sqrt{(b_{eff} \cdot l_{eff})} / (1,275 \cdot E)$			
$k_{13,y} = 20$	[mm]	Stiffness coeff. of compressed concrete	[Table 6.11]
$l_{eff} = 150$	[mm]	Effective length for a single bolt row for mode 2	[6.2.6.5]
$m = 57$	[mm]	Distance of a bolt from the stiffening edge	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0,425 \cdot l_{eff} \cdot t_b^3 / (m^3)$			
$k_{15,y} = 3$	[mm]	Stiffness coeff. of the base plate subjected to tension	[Table 6.11]
$L_b = 122$	[mm]	Effective anchorage depth	[Table 6.11]
$k_{16,y} = 1,6 \cdot A_s / L_b$			
$k_{16,y} = 1$	[mm]	Stiffness coeff. of an anchor subjected to tension	[Table 6.11]
$\lambda_{0,y} = 0,73$		Column slenderness	[5.2.2.5 (2)]
$S_{j,ini,y} = 33141,65$	[kN*m]	Initial rotational stiffness	[Table 6.12]
$S_{j,rig,y} = 11751,92$	[kN*m]	Stiffness of a rigid connection	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} \geq S_{j,rig,y}$ RIGID			[5.2.2.5 (2)]

WEAKEST COMPONENT:

WELDS JOINING THE COLUMN PIER WITH THE BASE PLATE

Connection conforms to the code

Ratio 0,16