



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Amanda Mehtälä

Teräsbetonipilarikonsolin ja lovetun palkinpään mitoitus

Case Frami A

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Rakennustekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Amanda Mehtälä

Työn nimi alaotsikoineen: Teräsbetonipilarikonsolin ja lovetun palkinpään mitoitus: Case Frami A

Ohjaaja: Arto Saariaho

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 92

Liitteiden lukumäärä: 4

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota selkeä ohjeistus pilarikonsolin ja lovetun palkinpään mitoituksesta Seinäjoen ammattikorkeakoulun opetuksen tueksi. Rajallisten opetustuntien vuoksi konsoliliitoksen mitoitus on tehty hyödyntäen SKOL ry:n laskentapohjia, mikä ei ole tuonut opiskelijoille kunnollista käsitystä liitoksen teoriasta. Opinnäytetyön tarkoitus oli tuoda opiskelijoille ymmärrystä kyseisen liitoksen mitoituksesta vertailemalla liitoksen teoriaa ja käsin laskentaa mitoitus pohjalla mitoittamiseen.

Tutkimus tehtiin kirjallisuus- ja tapaustutkimuksena. Työn materiaali koottiin alan kirjallisuutta ja eurokoodia hyödyntäen. Teoriamateriaalissa käsiteltiin muun muassa liitoksessa vallitsevia kuormia, betonin ja terästen valintaa, liitoksen mittoja, ristikkomenetelmää ja lopulta konsolin ja lovetun palkinpään mitoitusta. Näiden pohjalta tehtiin esimerkkilaskelma Frami A rakennuksessa sijaitsevasta konsoliliitoksesta, jota vertailtiin SKOL ry:n laskentapohjasta saatuihin tuloksiin ja liitoksen todellisiin raudoitteisiin. Laskennan selkeyttämiseksi tehtiin myös vuokaaviot (liite 1 ja 2).

Työn tuloksena saatiin hyvä vertailu mitoitus pohjalla mitoittamisen, käsin laskennan ja vanhojen raudoitekuvien välillä. Mitoitus pohja ei soveltunut täysin kyseisen konsolin mitoitukseen, mitä ymmärrys teoriasta laskennan takana auttoi täydentämään. Vertailusta kävi ilmi, miten mitoittamisen ohjeistus on muuttunut ja mitä eroavaisuuksia se tuo lopputulokseen.

¹ Asiasanat: betonirakenteet, palkit, pilarit, eurokoodit, rakennesuunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Amanda Mehtälä

Title of thesis: Design of a reinforced concrete column corbel and a dapped-end beam – Case Frami A

Supervisor: Arto Saariaho

Year: 2025

Number of pages: 92

Number of appendices: 4

The goal of the thesis was to create a clear guideline for designing a column corbel and a dapped-end beam to support teaching at Seinäjoki University of Applied Sciences. Due to limited class time, the design of a corbel connection has typically relied on SKOL ry calculation templates, which have not provided students with a full understanding of the connection theory. The Finnish Association of Consulting Firms SKOL is a national organization that represents design and consulting firms in Finland. It provides calculation templates and guidelines used widely in structural design and engineering education. The thesis aimed to give students a better grasp of the design principles for this type of connection by comparing the theory of the connection and manual calculations to design template calculations.

The research was conducted as a literary review and case study, using industry literature and Eurocodes. The theoretical section covered loads on the connection, material selection for concrete and steel, connection dimensions, the strut-and-tie method, and the design of the column corbel and dapped-end beam. An example calculation was made for a corbel connection in the Frami A building and compared with the results from the SKOL ry calculation template and the actual reinforcement layout. Flowcharts were also created to clarify the calculations (Appendix 1 and 2).

The result of the study provided a good comparison between using a design template, manual calculation, and old reinforcement drawings. The design template was not fully suitable for the design of the specific corbel connection, but an understanding of the theory behind the calculations helped to complete it. The comparison revealed how the design guidelines had changed and the differences they brought to the result.

¹ Keywords: concrete structures, beams (skeleton constructions), pillars, Eurocodes, structural design

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	11
1 JOHDANTO	12
1.1 Työn tausta ja tavoite	12
1.2 Työn tilaaja.....	12
1.3 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmä.....	12
2 PILARIKONSOLILIITOS.....	14
3 MITOITUKSEN LÄHTÖTIEDOT	17
3.1 liitoksen kuormat	17
3.1.1 Omapaino	18
3.1.2 Hyötykuorma.....	19
3.1.3 Murtorajatila (MRT).....	20
3.2 Betonin valinta.....	22
3.2.1 Käyttöikä	23
3.2.2 Rasitusluokka.....	24
3.2.3 Lujuusluokka	25
3.2.4 Betonipeite ja tankojen minimietäisyys	26
3.3 Terästen valinta.....	28
3.3.1 Konsolin teräkset	30
3.3.2 Palkin lovipään teräkset	30
3.3.3 Terästen ankkurointi	31
3.4 liitoksen mitat.....	37
4 RISTIKKOMALLI	38
4.1 Yleisesti.....	38
4.2 Puristussauvojen tarkastelu	38

4.3	Poikittaisten vetosauvojen tarkastelu	40
4.4	Solmujen tarkastelu	41
5	KONSOLIN MITOITUS	45
5.1	Ristikkomalli konsolissa	45
5.2	Vetoraudoituksen mitoitus	45
5.3	Solmujen tarkastus	49
5.4	Muiden raudoitteiden mitoitus	51
5.5	Raudoitusten ankkurointi	54
6	PALKIN LOVIPÄÄN MITOITUS	55
6.1	Ristikkomalli palkin lovipäessä	55
6.2	Pääraudoituksen mitoitus tuen päällä	55
6.3	Solmujen tarkastelu	56
6.4	Muiden raudoitteiden mitoitus	60
6.5	Pääraudoituksen ankkurointi	61
7	FRAMI A KONSOLI JA LOVIPALKKILIITOKSEN MITOITUS	62
7.1	Lähtötiedot	62
7.2	Kuormat	64
7.3	Konsolin laskenta	67
7.3.1	Pääraudoitus	67
7.3.2	Ankkurointi	69
7.3.3	Solmujen tarkastus	73
7.3.4	Hakaraudoitus	74
7.4	Lovetun palkinpään laskenta	76
7.4.1	Pääraudoitukset	76
7.4.2	Ankkurointi	78
7.4.3	Solmujen tarkastus	81
7.4.4	Haka raudoitukset	83
8	RAUDOITTEIDEN VERTAILU	85
8.1	Konsolin vertailu	85
8.2	Lovetun palkinpään vertailu	86
9	TULOKSET, YHTEENVETO JA POHDINTAA	88

9.1 Tulokset.....	88
9.2 Yhteenveto ja pohdinta.....	89
LÄHTEET	90
LIITTEET	92

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Esimerkki konsolin raudoituksesta muotissa. Valusuunta on konsolin sivusuunnassa.	70
Kuvio 1. Kaksi yleisimmin käytössä olevaa uloketyyppiä.	14
Kuvio 2. Pulttiliitoksen periaatekuva.	15
Kuvio 3. Anstar AEP-konsoli.	16
Kuvio 4. Pilari-palkkirunkoinen rakennus. Pilareissa betonikonsolit.	17
Kuvio 5. Konsolin ristikkomalli, missä näkyy kuormat F_{Ed} ja H_{Ed}	18
Kuvio 6. Tilojen luokat ja niiden hyötykuormat.	19
Kuvio 7. Yhdistelykertoimien arvot rakennuksille.	21
Kuvio 8. Suosituksia betonirakenteiden ja rakennusten käyttöiän valintaan.	24
Kuvio 9. Rasitusluokkayhdistelmien valintakaavio.	25
Kuvio 10. Asuinrakennuksen rungon ja kantavien rakenteiden betonin ohjeellisia arvoja.	26
Kuvio 11. Betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{min,dur}$ eri rasitusluokissa.	28
Kuvio 12. Konsolin raudoitusten asettelu.	30
Kuvio 13. Konsolin teräkset.	30
Kuvio 14. Palkin lovipään tyypillinen rauditus.	31
Kuvio 15. Lovipääpalkin teräkset.	31
Kuvio 16. Tartuntaolosuhteiden määrittäminen. a ja b hyvät tartuntaolosuhteet. c ja d viivoitetulla vyöhykkeellä huonot tartuntaolosuhteet.	33

Kuvio 17. Mitan c_d arvo eri tilanteissa. $c_d = \min(c, c_1, a/2)$. Mitta a saadaan kaavasta (6).	34
Kuvio 18. Suorasta tangosta poikkeavia ankkurointimuotoja.	35
Kuvio 19. Konsolin suosituskoot.	37
Kuvio 20. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristus kentässä, jota hallitaan jakaantuneella raudoituksella.	40
Kuvio 21. Solmu, johon liittyy useita puristussauvoja.	41
Kuvio 22. Solmu, joka on puristettu ja vedetty ja johon liittyy yhden suunnan vetoraudoitus.	42
Kuvio 23. Solmu, joka on puristettu ja vedetty ja johon liittyy kahden suunnan vetoraudoitus.	43
Kuvio 24. Konsolin ristikkomalli.	45
Kuvio 25. Konsolin hakaraudoituksen suunnittelu.	52
Kuvio 26. Kaavan 45 mukaisen vetoraudoituksen A_{s1} määrityskohta.	54
Kuvio 27. Lovetun palkinpään ristikkomalli.	55
Kuvio 28. Solmu A.	56
Kuvio 29. Solmu B.	57
Kuvio 30. Solmu C.	59
Kuvio 31. Solmu D.	60
Kuvio 32. Lovipään raudoituksen sijoittelu.	61
Kuvio 33. Neopreenin koko.	63
Kuvio 34. Kuormitusalue ja materiaalipaksuudet.	65

Kuvio 35. Liitoksen mitat.....	66
Kuvio 36. Frami A konsolin ristikkomalli.....	67
Kuvio 37. Raudoituksen ankkurointipituus.	71
Kuvio 38. Konsolin raudoitteiden lopullinen sijoittelu.	72
Kuvio 39. Konsolin solmu 1.....	73
Kuvio 40. Konsolin solmu 2.....	74
Kuvio 41. Hakaraidoitus.....	74
Kuvio 42. Frami A lovetun palkinpään ristikkomalli.	76
Kuvio 43. Ankkurointipituus lovetun palkinpään tuella.	78
Kuvio 44. Raudoitus tuen päällä.	79
Kuvio 45. Alareunan raudoitus.....	80
Kuvio 46. Solmu A.	81
Kuvio 47. Raudoitusten asettelu.	84
Kuvio 48. Esimerkkilaskelman (vasen) ja todellisen raudoitteen (oikea) 3D kuva. Pääteräkset sinisellä ja hakaraidoitukset vaaleanlilalla.	85
Kuvio 49. Todellisten raudoitteiden (vasen) ja esimerkkilaskelman (oikea) 3D kuva. Pääteräkset sinisellä, hakaraidoitteet vaaleanlilalla ja työteräkset/palkin pääteräkset vaalean punaisella.	87
Taulukko 1. Materiaalien osavarmuusluvut.....	21
Taulukko 2. Kuormien yhdistely murtorajatilassa.....	21
Taulukko 3. Seuraamusluokat ja kuormakertoimet.....	22

Taulukko 4. Betonin vähimmäislujuusluokat.	25
Taulukko 5. Kertoimien α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ja α_5 arvot.....	36
Taulukko 6. Taivutustelan halkaisijat.	37
Taulukko 7. Leveyden u arvot.....	43

Käytetyt termit ja lyhenteet

D-alue	Discontinuity region eli epäjatkuvuusalue on rakenteen alue, jolla rasituksen suunta tai muu ominaisuus muuttuu.
Diagonaali	Lävistävä tai ristiin kulkeva linja rakenteessa.
Konsoli	Betoninen lyhyt uloke tai teräksinen piilouloke, jolla kannatellaan palkkeja jatkuvissa pilareissa, useiden tukeutuvien palkkien tapauksessa tai tukipintojen ollessa riittämättömiä.
Lovipää	Palkin tai muun rakenteen pää, josta on poistettu materiaalia liitoksen mahdollistamiseksi.
MRT	Murtorajatila.
Neopreeni	Synteettinen kumi, jota käytetään elementtirakenteiden liitosten niveltoiminnan ylläpitämisessä.
Plastisuusteoria	Rakenteiden analyysimenetelmä, joka tutkii rakenteen käyttäytymistä, kun kuormitus ylittää rakenteen joustavan käyttäytymisen rajan. Rakenteessa tapahtuu plastisia eli palautumattomia muodonmuutoksia ennen murtumaa.
Resultantti	Usean voiman yhteisvaikutusta kuvaava yksittäinen voima, joka korvaa näiden voimien suuruuden ja suunnan.
Solmu	Ristikkomenetelmässä puristus ja vetosauvojen liittymäkohta, jossa tarkastellaan sisäisiä voimia.
STM	strut-and-tie method eli ristikkomenetelmä on analysointimenetelmä betonirakenteen sisäistenvoimien arvioimiseen epäjatkuvuusalueilla.
STR	Kestävyyden rajatila murtorajatilassa, jolloin tarkastellaan kantavan rakenteen tai rakenneosan muodonmuutosta, joka johtaa kantokyvyn menetykseen.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoite

Opinnäytetyössä käsitellään teräsbetonipilarikonsolin ja lovetun palkinpään raudoitusten mitoitus. Pilarikonsoli ja palkin lovetupää kuuluvat betonirakenteiden erikoistapauksiin, niin sanotulle D-alueelle. Rajallisten opetustuntien vuoksi näitä tapauksia käsitellään oppituntien yhteydessä SKOL ry:n Eurocode laskentapohjia hyödyntäen. Tämä ei kuitenkaan avaa opiskelijalle mitoituksen taustoja. Mitoituksen osat löytyvät useasta eri lähteestä ja niiden yhteen kokoaminen on haastava opiskelijoille.

Opinnäytetyön tavoitteena on koota olemassa olevista ohjeistuksista selkeä teoriamateriaali, jota seuraamalla opiskelija voisi ymmärtää konsolin ja lovetun palkinpään liitoksen mitoituksen kulun ja mitoitukseen vaikuttavat taustatekijät. Teoriamateriaalia hyödyntäen tehdään esimerkkinä opiskelijoille tutusta Frami A rakennuksesta konsoliliitoksen mitoitus. Tätä mitoitusta vertaillaan SKOL ry:n Eurocode-laskentapohjan tuloksiin ja liitoksen todellisiin raudoituksiin. Opinnäytetyötä voidaan tulevaisuudessa käyttää konsoliliitoksen opetuksen tukena.

1.2 Työn tilaaja

Työn toimeksiantajana toimii Seinäjoen Ammattikorkeakoulu, joka aloitti toimintansa 1992 (Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK), i.a.). Seinäjoen ammattikorkeakoulu on laaja-alainen ja yhteisöllinen ammattikorkeakoulu, jonka visiona on olla paras korkeakoulu opiskelijalle. SeAMK on maakunnan merkittävä kouluttaja ja työllistäjä. Koulu työllistää noin 400 henkilöä ja siellä opiskelee noin 5000 opiskelijaa, joista 10 prosenttia on kansainvälisiä tutkinto-opiskelijoita. SeAMKissa on kuusi koulutusala, jotka pitävät sisällään 21 AMK-tutkinto-ohjelmaa ja 13 ylempää AMK-tutkinto-ohjelmaa.

1.3 Työn rakenne ja tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuus- ja tapaustutkimusta. Työn alussa käsitellään pilarikonsoliliitosta yleisesti. Käydään läpi yleisimpiä konsoliliitos

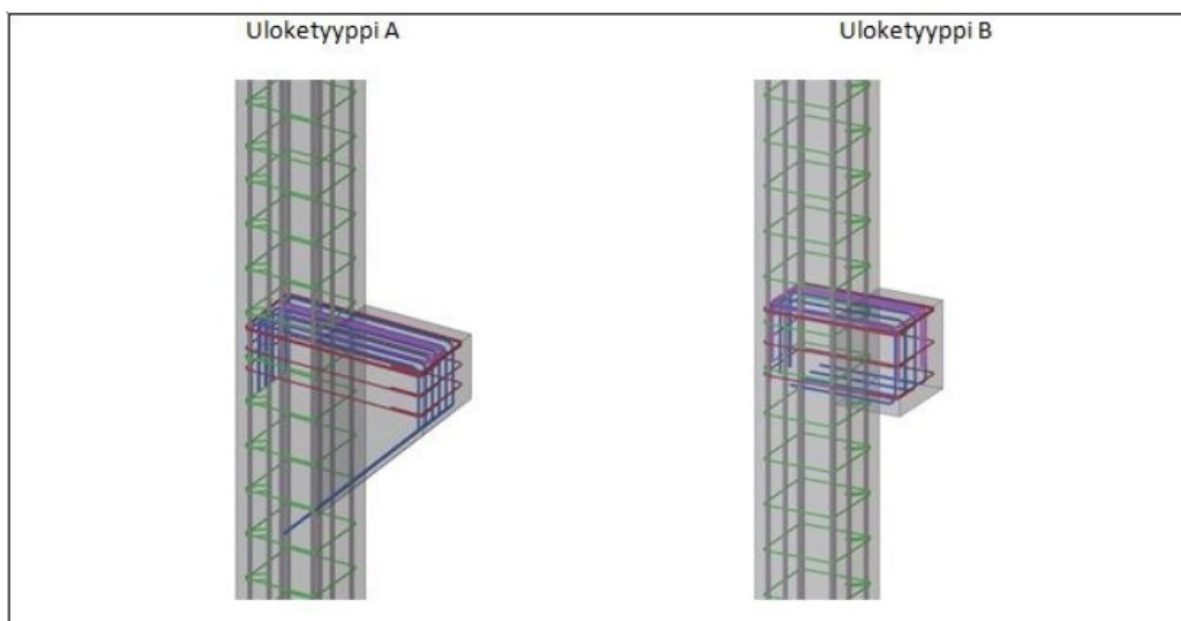
tyyppejä ja missä tilanteissa niitä käytetään. Tämän jälkeen syvennyttään mitoituksen lähtötietoihin, kuten liitoksessa vallitseviin kuormiin, betonin ja terästen valintaan, konsolin raudoitukseen ja liitoksen mittojen valintaan. Ristikkomallin teoria käydään läpi Eurokoodin pohjalta. Tätä hyödynnetään luvuissa 5 ja 6, joissa käydään läpi konsolin ja lovetun palkin pään mitoituksen kulku.

Tutkimus osassa suoritetaan Frami A rakennuksessa sijaitsevan konsoliliitoksen mitoitus, hyödyntäen koottua teoriamateriaalia. Mitoitusta verrataan SKOL ry:n Eurocode-laskentapohjan antamiin tuloksiin ja liitoksen todellisiin raudoituksiin.

2 PILARIKONSOLILIITOS

Pilarikonsoleja käytetään palkkien kannattimina, kun pilarit ovat jatkuvia tai kun kannateltavia palkkeja on useita ja tukipinta pilarin päällä ei ole riittävä (Elementtisuunnittelu, 2023a). Yleensä suositetaan erilaisia piiloon jääviä konsoleja, kuten teräksisiä piilokonsoleja tai betonikonsolia ja lovettua palkin päätä. Konsolityyppi ei vaikuta pilarin mitoitukseen, mutta se tulee ottaa huomioon raudoitusta suunniteltaessa.

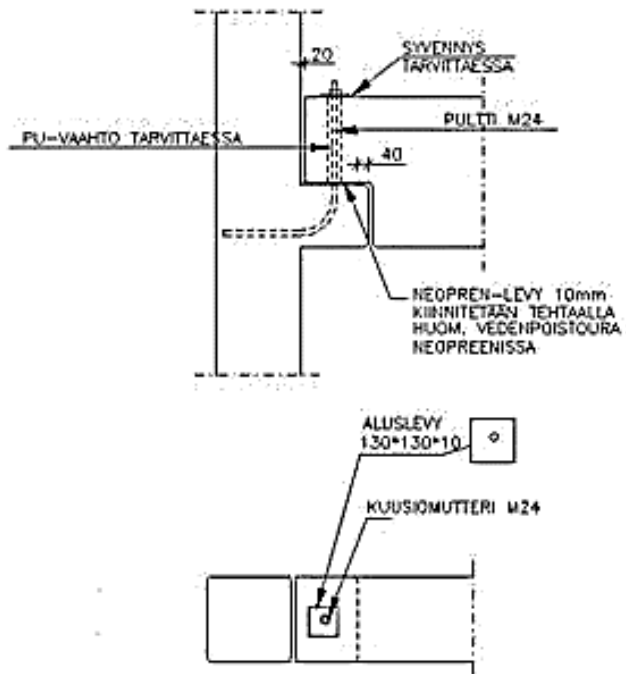
Betonisia pilarikonsoleja käytetään yleensä yhdessä lovetun palkinpään kanssa (Elementtisuunnittelu, 2023a). Kuviossa 1 on kaksi erilaista betonikonsoli tyyppiä. Tyyppi A on taloudellisempi ja soveltuu näkyviin jääviin konsoleihin. Tyyppi B soveltuu piiloon jääviin rakenteisiin.



Kuvio 1. Kaksi yleisimmän käytössä olevaa uloketyyppiä (Elementtisuunnittelu, 2023a).

Palkin ja pilarin liitos tehdään yleensä pulttiliitoksella, joka on hyvin suunniteltuna nopea ja edullinen asentaa ja käyttää (Elementtisuunnittelu, 2023b). Pulttiliitokset voivat toimia myös osana rakennuksen jatkuvan sortumisen estävää sidejärjestelmää. Yleensä käytetään yhtä keskeistä pulttia, mutta reunapalkeilla käytetään väännön takia myös epäkeskeisiä pultteja. Pultin kokoon vaikuttaa tukiehdot, sidejärjestelmän vaatimukset ja vääntömomentti. Tarpeen vaatiessa palkin yläpää voidaan kolota pultin reiän kohdalta, jolloin pultti saadaan kokonaan piiloon. Palkin ja pilarin välissä käytetään laakeria, joka voi olla

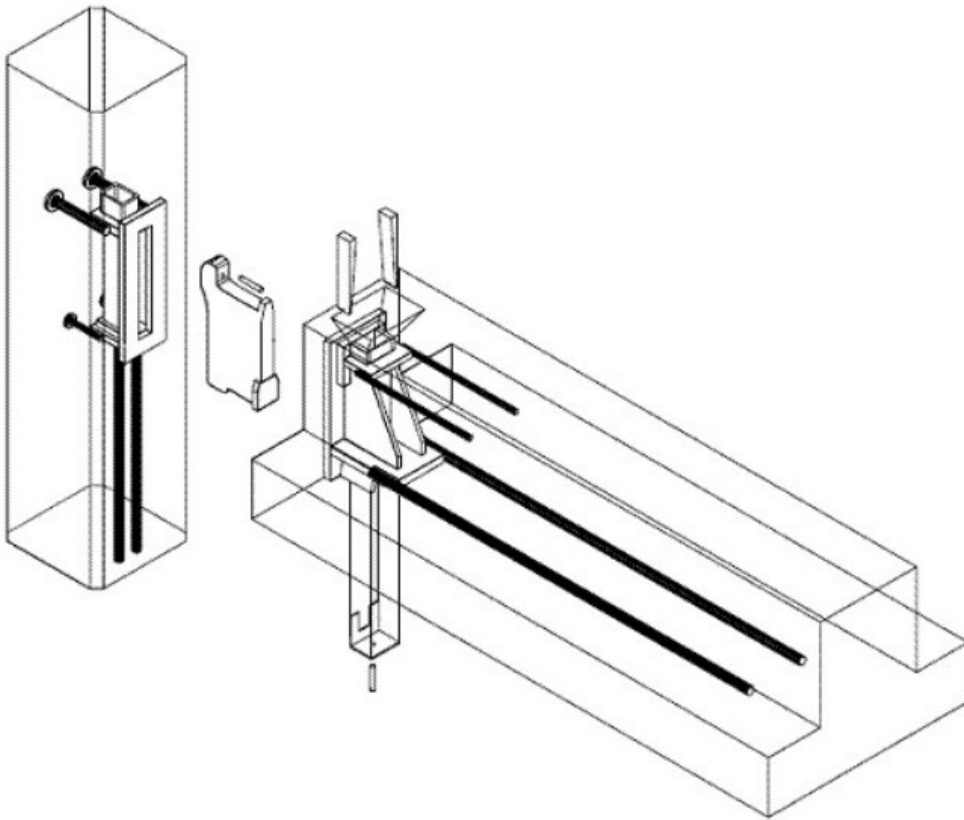
esimerkiksi neopreeni-kumia. Neopreeni ylläpitää liitoksen niveltoimintaa ja estää muodonmuutokset ja paikalliset murtumat. Kuviossa 2 nähdään esimerkki pilarikonsolin ja lovetun palkin pulttiliitoksesta.



SUUNNITTELUSSA JA ASENNUKSESSA ON ERITISESTI HUOMIOITAVAA:
 - PULTTIEI MITOITUS PALKIN TUKEAKTION MUKAAN
 - PULTTIREIKÄÄN EI JÄLKIVALLIA
 - NEOPREENIN KOKO

Kuvio 2. Pulttiliitoksen periaatekuva (Elementtisuunnittelu, 2023b).

Teräksisiä piilokonsoleja käytetään usein betonielementtipilareissa muottityön helpottamiseksi ja matalien palkkien kanssa, kun palkin pään loveaminen ei ole mahdollista (Elementtisuunnittelu, 2023a). Konsoli on suunniteltu niin, että sen osat eivät työnny valuvaiheessa muotista ulos. Ulkopuoliset osat kiinnitetään vasta muottien purun jälkeen. Näin muottipintaa ei tarvitse rikkoa. Palkkeihin asennetaan konsolin kanssa yhteensopiva teräsosa. Kuviossa 3 on Anstarin AEP-konsoli, joka on yksi hyvä esimerkki teräksisistä piilokonsoleista.



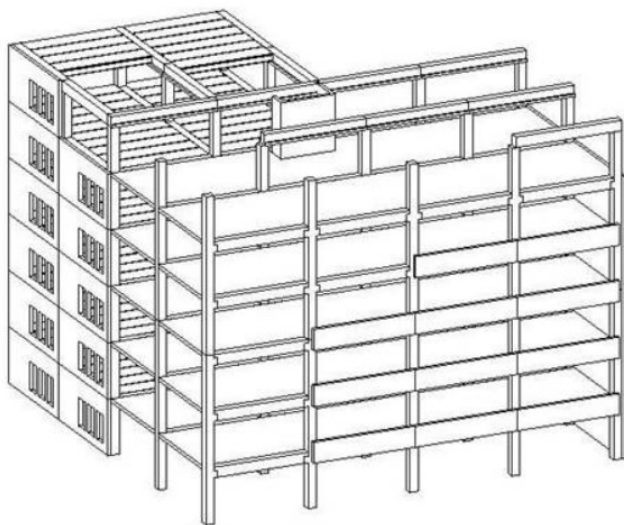
Kuvio 3. Anstar AEP-konsoli (Elementtisuunnittelu, 2023a).

3 MITOITUKSEN LÄHTÖTIEDOT

3.1 Liitoksen kuormat

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on esitellä betonikonsolin ja lovetun palkinpään mitoitusta eurokoodin ohjeiden mukaisesti. Opinnäytetyön laajuus huomioon ottaen, mitoitus tehdään yksinkertaisessa tilanteessa, jossa palkkia kuormittaa omapaino ja hyötykuorma, näin ollen tuulikuormaa ja lumikuormaa ei käsitellä. Myöskään onnettomuus tai palotilannetta ei käsitellä.

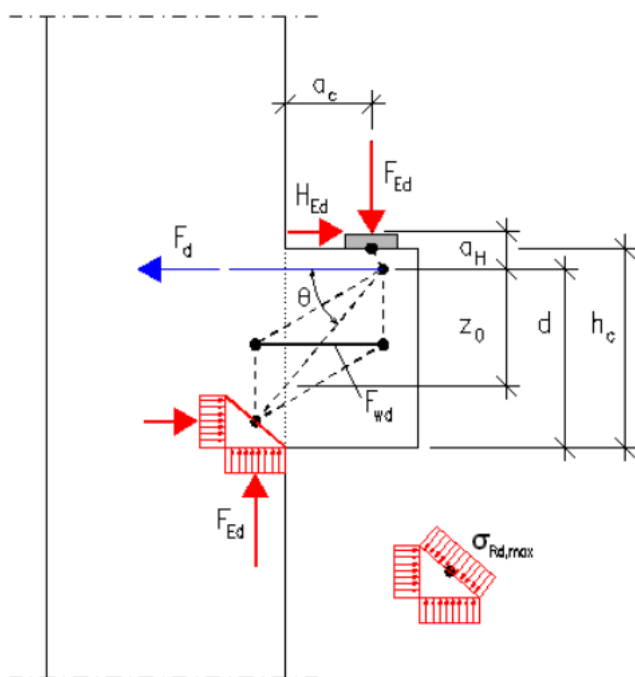
Pilari-palkki-laatta-runko on Suomessa yleisesti käytetty runkojärjestelmä (Nykyri, 2013, s. 78). Laatat tukeutuvat palkkeihin ja palkit pilareihin (kuvio 4). Pilarit siirtävät kuorman perustuksille ja siitä maahan. Rakennuksen jäykistys hoidetaan sydänmastojäykistyksellä, jossa välipohja toimii jäykistävänä vaakarakenteena ja esimerkiksi porrashuoneet jäykistävänä pystyrakenteena. Liitoksen kuormat koostuvat siis palkeille tulevasta kuormasta.



Kuvio 4. Pilari-palkkirunkoinen rakennus. Pilareissa betonikonsolit (Nykyri, 2013, s. 78).

Betonikonsolin ja lovetun palkin pään mitoituksessa käytetään ristikkomenetelmää, koska ne ovat epäjatkuvuuskohtia, eli niin kutsuttuja D-alueita (Leskelä, 2008a, s. 457). Tämän vuoksi kuormia tarkastellaan vain murtorajatilassa.

Liitokseen kohdistuvat kuormat ovat F_{Ed} ja H_{Ed} , jotka näkyvät kuviossa 5 (Leskelä, 2008a, s. 457). Vaikka vaakakuormaa ei olisikaan, kitkasta ja kiinnityksestä johtuvat voimat otetaan aina huomioon vähintään $H_{Ed} \geq 0,2 \cdot F_{Ed}$ ja $H_{Ed} \geq 30 \text{ kN}$ (Saarinen, 2000, s. 591). Vaakakuormat tuottavat pilarille voimasuureet M_{Ed} , N_{Ed} ja V_{Ed} (Leskelä, 2008a, s. 457). Nämä otetaan pilarin mitoituksessa huomioon.



Kuvio 5. Konsolin ristikkomalli, missä näkyy kuormat F_{Ed} ja H_{Ed} (Betoniteollisuus ry, 2010).

Kuormat jaotellaan niiden aikavaihtelun mukaan (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry (RIL), 2017, s. 31)

- pysyviin kuormiin (G), kuten rakenteiden ja kiinteiden laitteiden omapaino
- Muuttuviin kuormiin (Q), kuten lumi- ja hyötykuorma
- Onnettomuus kuormiin (A), kuten törmäykset ja räjähdykset.

3.1.1 Omapaino

Omapaino on kiinteä ja pysyvä kuorma (RIL, 2017, s. 63). Omapaino voi olla joissain tilanteissa myös liikkuvaa ja silloin se käsitellään lisähyötykuormana, esimerkiksi liikuteltavat väliseinät.

Omapaino lasketaan rakenteiden nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvojen mukaan (RIL, 2017, s. 67). Nimellismitat ovat piirustuksissa esiintyviä mittoja. Jos käytetään tehdasvalmisteisia rakennusosia ja laitteita, niiden tiedot saadaan valmistajalta. Omapainoon lasketaan mm. kantavat, ei-kantavat rakenteet ja kiinteät laitteet.

3.1.2 Hyötykuorma

Hyötykuorma on liikkuva kuorma, joka otetaan huomioon epäedullisimmassa paikassa (RIL, 2017, s. 68). Hyötykuorma aiheutuu tilojen käytöstä, kuten huonekaluista, ihmisistä ja ajoneuvoista. Kuorman määrittämistä varten väli- ja yläpohjat jaetaan luokkiin A–K (kuvio 6). Taulukosta valitaan tilanteeseen sopivin hyötykuorman arvo.

Luokka	Käyttötarkoitus	Pinta-ala-kuorma q_k (kN/m ²)	Pistekuorma Q_k (kN) (portaat suluissa)	Vaakakuormat ks. huom. 5 (kN/m)
A	Asunto- ja majoitustilat – esim. asuinrakennusten huoneet, sairaaloiden potilas- ja toimipidehuoneet, hotellien majoitustilat	väli-pohjat 2,0 portaat 2,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
B	Toimistotilat	väli-pohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	2,0 (2,0)	0,5
C	Kokoonnumistilat			
	C1: Tilat, joissa on pöytiä yms. esim. koulut, kahvilat, ravintolat, ruokasalit, lukusalit, vastaanottotilat	väli-pohjat 2,5 portaat 3,0 parvekkeet 2,5	3,0 (2,0)	1,0
	C2: Tilat, joissa on kiinteät istuimet, esim. kirkot, teatterit, elokuvateatterit, konferenssisalit, luentosalit, kokoussalit, odotussalit, asemien odotustilat	väli-pohjat 3,0 portaat 3,0 parvekkeet 3,0	3,0 (2,0)	1,0
	C3: Tilat, joissa ei ole liikkumista rajoittavia esteitä, esim. museo- ja näyttelytilat, julkisten rakennusten ja toimistorakennusten, hotellien ja sairaaloiden eteistilat, asemahallit	väli-pohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0 (2,0)	1,0
	C4: Liikuntatilat, esim. tanssisalit, voimistelusalit ja näyttämöt	väli-pohjat 5,0 portaat 3,0 parvekkeet 5,0	4,0 (2,0)	1,0
	C5: Tilat, joihin voi syntyä tungosta esim. yleisötapahtumien rakennuksissa; tällaisia ovat konserttisalit, urheiluhallit ml. katsomot, terrassit ja eteistilat sekä rautatielaiturit	väli-pohjat 6,0 portaat 6,0 parvekkeet 6,0	4,0 (2,0)	3,0

D	Myymälätilat			
	D1: Tavallisten vähittäiskauppojen tilat	väli-pohjat 4,0 portaat 3,0 parvekkeet 4,0	4,0 (2,0)	1,0
	D2: Tavaratalojen tilat	väli-pohjat 5,0 portaat 6,0 parvekkeet 5,0	7,0 (2,0)	1,0
E	Varasto- ja tuotantotilat			
	E1: Varastotilat. Tilat, joissa tavaraa säilytetään, mukaan luettuna tavaravastaa vastaanottotilat	väli-pohjat 7,5 portaat 3,0	7,0 (2,0)	1,0
	E2: Teollisuuskäyttö	ks. 6.3.2	ks. 6.3.2	1,0
F	Liikennöntialueet Kevyiden ajoneuvojen liikennönti- ja pysäköintialue. Kokonaispaino ≤ 30 kN ja enintään 8 paikkaa kuljettajan lisäksi	väli-pohjat 2,5 portaat 3,0	20 (2,0)	ks. liite B
G	Liikennöntialueet Keskiraskaiden ajoneuvojen liikennönti- ja paikoitusalueet. Ajoneuvokuormat, kun 30 kN < kok.paino ≤ 160 kN, 2 akselilla	väli-pohjat 5,0 portaat 3,0	90 (2,0)	ks. liite B
H	Vesikatot Vesikatot, joille on pääsy vain normaalia kunnossapittoa ja korjaamista varten	0,4	1,0	
I	Vesikatot Vesikatot, joille on pääsy luokkien A...G mukaisesti.	kuormat luokkien A...G mukaisesti		
K	Vesikatot Erityistoimintoja varten olevat vesikatot, kuten helikoptereiden laskeutumisalueet		ks. kohta 6.3.4	

Kuvio 6. Tilojen luokat ja niiden hyötykuormat (RIL, 2017, s. 71–72).

Huomioitavaa hyötykuorman pistekuormissa on, että ne voivat vaikuttaa missä tahansa alueella, joka on käytön kannalta mahdollista (RIL, 2017, s. 71). Pinta-alkuorma q_k ja pistekuorma Q_k eivät esiinny samanaikaisesti, vaan niistä valitaan mitoitustilanteessa

epäedullisempi. Q_k kuorma vaikuttaa 50 mm x 50 mm alalla, jos $Q_k \leq 2$ kN, muulloin 100 mm x 100 mm alalla.

Jos välipohja pystyy jakamaan kuormia poikittain, voidaan siirrettävien väliseinien paino laskea mukaan kuviossa 1 esitettäviin hyötykuorman arvoihin q_k (RIL, 2017, s. 74). Näin voidaan toimia kaikkien kevyiden väliseinien kohdalla, joita pystytään purkamaan ja pystyttämään toiseen paikkaan.

Siirrettävä väliseinä,

- jonka omapaino ≤ 1 kN/m, $q_k = 0,5$ kN/m²
- jonka omapaino > 1 kN/m ja ≤ 2 kN/m, $q_k = 0,8$ kN/m²
- jonka omapaino > 2 kN/m ja ≤ 3 kN/m, $q_k = 1,2$ kN/m².

Vain pysyväksi tarkoitetut ei-kantavat väliseinät ja raskaammat siirrettävät väliseinät kuuluvat omapainoon. Niiden kohdalla otetaan huomioon todellinen tilanne.

Pysty- ja vaakarakenteiden liitos mitoitetaan aina ilman pienennyskertoimia (RIL, 2017, s. 69).

3.1.3 Murtorajatila (MRT)

Murtorajatilassa tarkastellaan tilanteita, joissa rakenteen sortuminen tai vaurioituminen aiheuttaa vaaraa ihmisille ja omaisuudelle (Nykyri, 2013, s. 20–21). Mitoituksessa käytetään osavarmuusmenetelmää, jolla varmistetaan, että todennäköisyys rajatilan ylitykselle on todella pieni. Kuormia kasvatetaan kertomalla ne osavarmuusluvulla (Taulukko 2) ja materiaalin lujuutta pienennetään jakamalla ne materiaalin osavarmuusluvulla (Taulukko 1). Mitoitusehto muodostetaan näiden mitoitusarvojen välille. Kestävyyden mitoitusarvon täytyy olla suurempi kuin kuormien mitoitusarvon.

Taulukko 1. Materiaalien osavarmuusluvut (Nykyri, 2013, s. 25).

Materiaaliosavarmuuslukujen perusarvot	Betoni γ_c	1,50
	Raudoitus γ_s	1,15

Murtorajatilassa on useita rajatiloja, joista liitos tapauksessa valitaan kestävyysrajatila (STR) (RIL, 2017, s. 37). Tarkastelu tehdään, kun rakennusmateriaalin lujuus on määräävä ja tarkastellaan rakenteen tai rakenneosan sisäistä vaurioitumista tai liiallista siirtymää. Rajatilan valinta vaikuttaa kuormien osavarmuuslukuihin.

Taulukko 2. Kuormien yhdistely murtorajatilassa (Nykyri, 2013, s.27).

Kuormitusyhdistelmä	Kuormien kertoimet Pysyvä	muuttuva	Muut muuttuvat
STR 1	1,15 K_{FI} tai 0,90	1,5 K_{FI}	1,5 K_{FI} ψ_0
STR 2	1,35 K_{FI}	0	0

Kuormitustapauksissa yhdistetään sellaiset kuormat, jotka voivat esiintyä samanaikaisesti (Nykyri, 2013, s. 27). Vaikutuksia ei kuitenkaan lasketa yhteen täysimääräisinä, koska rakennukseen vaikuttavien kuormien yhtäaikainen esiintyminen täytenä on hyvin epätodennäköistä. Muuttuvia kuormia pienennetään kertoimilla Ψ_0 , Ψ_1 ja Ψ_2 (kuvio 7).

Kuorma	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (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 ≤ 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
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3 ^{*)} , kun			
$s_k < 2,75$ kN/m ²	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75$ kN/m ²	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset	1,0	1,0	1,0
Tukien painumat	1,0	1,0	1,0

^{*)} 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 ψ -arvoja, jotka antavat epäedullisimman vaikutuksen.

^{**) Ajoikäytävillä $\psi_2 = 0$.}

^{***)} Koskee huurtumisesta, jäätävästä sateesta ja räntäsateesta aiheutuvia jääkuormia.

Kuvio 7. Yhdistelykertoimien arvot rakennuksille (RIL, 2017, s. 38).

Osavarmuuslukujen lisäksi on perusteltua vaatia suurempaa varmuutta sellaisille rakennuksille, joissa rajatilan ylitys voi aiheuttaa ihmishenkien menetyksen (Nykyri, 2013 s. 23).

Tämä otetaan huomioon suunnittelussa osavarmuusluokilla (Taulukko 3). Mitoituksessa kuormat kerrotaan kuormakertoimella K_{FI} rakennuksen seuraamusluokan mukaan.

Taulukko 3. Seuraamusluokat ja kuormakertoimet.

Seuraamusluokka CC	Seuraamus	Kuormakerroin K_{FI}
CC3	Suuret seuraamukset ihmisten menetykset tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia.	1,1
CC2	Keskisuuret seuraamukset	1,0
CC1	Vähäiset seuraamukset	0,9

Rakenteen tai rakenneosien kestävyys määritetään siis kaavalla (1) (RIL, 2017, s. 40).

$$1,15 * K_{FI} * \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,5 * K_{FI} * Q_{k,1} + 1,5 * K_{FI} * \sum_{j \geq 1} \Psi_{0,j} * Q_{k,j} \quad (1)$$

Kuitenkin vähintään kaava (2)

$$1,35 * K_{FI} * \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \quad (2)$$

Missä

K_{FI} on kuormakerroin (taulukko 3)

$G_{k,j}$ on pysyvät kuormat

$Q_{k,1}$ on määräävä muuttuva kuorma

Ψ on yhdistelmäkerroin (kuvio 7)

$Q_{k,j}$ on muut muuttuvat kuormat.

3.2 Betonin valinta

Suomalaisen kansallisten vaatimusten mukaan betonirakenteille pitää tehdä käyttöikämitoitus (Punkki ym., 2024, s. 11). Betoninormi By 68 esittelee kaksi tyyliä betonin käyttöikäsuunnittelulle. Ensimmäinen tapa on yksinkertainen taulukkomitoitus, joka ei mahdollista betonin optimointia. Se sopii parhaiten, kun rakenteen puristuslujuus on lähellä betoninormin minimitasoa. Toinen mitoitusvaihtoehto on laskennallinen kerroinmenetelmään perustuva mitoitus. Tässä opinnäytetyössä keskitytään yksinkertaiseen taulukkomitoitukseen.

3.2.1 Käyttöikä

Tilaaaja määrittää rakennukselle tavoitekäyttöiän, jonka pohjalta suunnittelija määrittelee suunnittelukäyttöiän ja rakenteen rasisluokan (Punkki ym., 2024, s. 8–9). Suunniteltu käyttöikä arvioidaan 95 % varmuustasolle, jolloin suunniteltaessa esimerkiksi 50 vuoden käyttöiälle 5 % kyseisistä rakennuksista voi vaurioitua 50 ikävuoteen mennessä. Puolet rakennuksista kestävät n. 150 vuoden ikään. Suunniteltukäyttöikä on siis ajanjakso, jonka rakenne suurella todennäköisyydellä kestää ilman korjauksia. Rakennetta tulee kuitenkin huoltaa asianmukaisesti. Käyttöikää voidaan jatkaa suhteellisen paikallisilla korjaustoimenpiteillä esimerkiksi 100 vuoden ikään.

Rakennuksen eri osille valitaan omat käyttöikänsä, eivätkä ne ole juuri koskaan samat kuin rakennuksen käyttöikä (Punkki ym., 2024, s. 34). Mitä vaikeampi tai kalliimpi rakenne on korjata, sitä pitempi käyttöikä sille valitaan. Jos rakenne on helposti korjattavissa tai vaihdettavissa, voi sen käyttöikä olla rakennuksen käyttöikää lyhyempikin. Kuviossa 8 on suuntaa antavia suosituksia betoniosien käyttöiälle.

	Normaali asuin- tai toimisto- rakennus	Asuin- tai toimisto- rakennus, 100 v	Julkinen, erikois- rakennus ⁽¹⁾	Halli- tai teollisuus- rakennus	Pysäköinti- talo
RAKENNUS	50 v	100 v	200 v	50 v	50 v
Perustukset	100 v	100 v 200 v	200 v	100 v	100 v
Kantavat sisärakenteet ⁽²⁾	100 v 200 v	100 v 200 v	200 v	50 v 100 v	50 v 100 v
Kantavat ulkorakenteet	50 v 100 v	100 v	200 v 100 v	50 v	50 v 100 v
Ei-kantavat ulkorakenteet	50 v	100 v	200 v ⁽³⁾ 100 v	50 v	50 v 100 v
Vaakarakenteiden pintakerrokset					25 v ⁽⁴⁾ 50 v

¹⁾ Esimerkiksi museo tai jokin muu merkittävä julkinen rakennus.

²⁾ Sisärakenteissa betonilla ei ole vauriomekanismeja, joten käyttöikä voi olla 50...200 vuotta.

³⁾ Julkisivuissa 200 vuoden käyttöikää rajoittaa myös liittyvien rakenteiden (esim. eristeiden) käyttöiät. Siten rakenteet tulisi tehdä vaihdettaviksi.

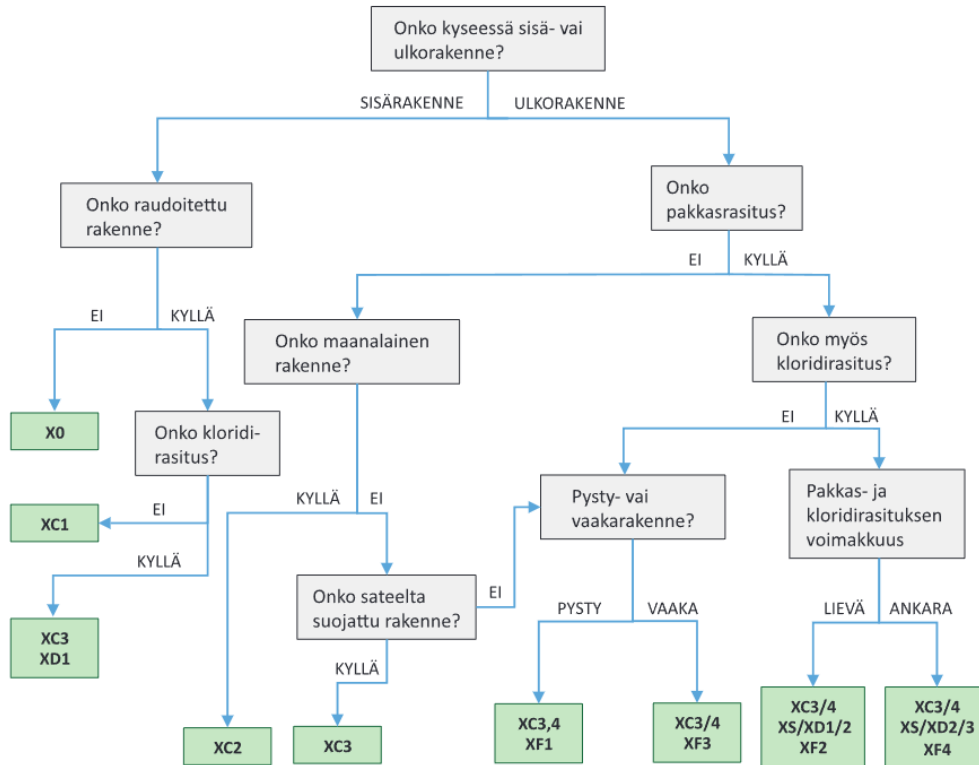
⁴⁾ Kulutukselle alttiina olevien pysäköintitasojen yläpintojen käyttöikä on rajallinen, ellei kulutuskestävyyttä paranneta esimerkiksi pintasiroteella tai kovabetonikerroksella (ks. myös luku 7.5).

Kuvio 8. Suosituksia betonirakenteiden ja rakennusten käyttöiän valintaan (Punkki ym., 2024, s. 34).

3.2.2 Rasitusluokka

Rasitusluokan tulisi vastata mahdollisimman todenmukaisesti ympäristön rasituksia ja olosuhteita (Punkki ym., 2024, s. 31). Ylimiöitus nostaa kustannuksia ja liian ankara rasitusluokka voi huonontaa rakenteen laatua. Sama koskee käyttöiän liioittelua. Molemmat voivat esimerkiksi kasvattaa betonipeitteen paksuutta turhaan, joka lisää halkeiluriskiä.

Rasitusluokat on jaoteltu vauriomekanismeittain, joita ovat muun muassa jäätymisrasitus, kloridien aiheuttama rasitus ja kemiallinen rasitus. (Punkki ym., 2024, s. 31). Mitoitukseen voidaan tarvita kaksi tai jopa kolme eri rasitusluokkaa, mutta yksikertaisissa tapauksissa rasituksena on vain karbonatisoituminen (luokka XC). Rasitusluokat eivät ole kovinkaan hienojakoisia. Kuvio 9 havainnollistaa rasitusluokkayhdistelmien valintaa yksinkertaistusti.



Kuvio 9. Rasitusluokkayhdistelmien valintakaavio (Punkki ym., 2024, s. 32).

3.2.3 Lujuusluokka

Standardin SFS-EN 206 kansallisen liitteen mukaisia vähimmäislujuusluokkia löytyy taulukosta 4 (Nykyri, 2013, s. 65). Betoniteollisuus taas suosittaa käytettäväksi ensi sijassa teräsbetonipaaluille ja -palkeille lujuuksia C30/37, C40/50 ja C50/60 (Elementtisuunnittelu, 2023c).

Taulukko 4. Betonin vähimmäislujuusluokat (Nykyri, 2013, s. 65).

Vähimmäislujuusluokka SFS EN 206 NA-FI	Rasitusluokka						
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4	XS1	XS2, XS3	XD1, XD2	XD3
	C12/15	C20/25	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45

Betoninormi by 68 antaa erilaisille rakennetyypeille ohjeellisia taulukkoja (Punkki ym., 2024, s. 66). Suositukset eivät ole suunnittelijaa sitovia, mutta niissä on pyritty ottamaan huomioon erilaiset vaatimukset. Taulukoita löytyy monista erityyppisistä rakenteista. Kuviossa 10 annetaan ohjeita asuinrakennuksen rungon ja kantavien rakenteiden lujuusluokista.

Rakennosa Rasitusluokkayhdistelmä	Suunnittelukäyttöikä	Rauditusrypy	Paikallavalurakenne		Elementtirakenne	
			Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (§all. mittapoikkeama: 10 mm)	Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (§all. mittapoikkeama: 10 mm)
2-1 X0	50 - 100 v ²⁾	br jr	C25/30 -	20 -	C30/37 C50/60	20 30
2-2 XC1	50 - 100 v ²⁾	br jr	C25/30 -	20 -	C30/37 -	20 -
2-3 XC3,4; XF1	50 v	br rst	C30/37 C30/37	35 20 ³⁾	C30/37 C30/37	35 20 ³⁾
	100 v	br rst	C30/37 C30/37	40 20 ³⁾	C30/37 C30/37	40 20 ³⁾
2-4 XC4; XF3	50 v	br	C35/45	30	C35/45	30
	100 v	br	C35/45	35	C35/45	35
2-5 XC3; XF1	50 v	br	C30/37	35	C35/45	30
	100 v	br	C30/37	45	C35/45	35

2) Rasitusluokissa X0 ja XC1 vaatimukset ovat identtiset 50 ja 100 vuoden käyttöiälle.

3) XC-rasitusluokissa ruostumattomia (B600KX) raudotteita käytettäessä betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään raudoitteen halkaisija.

Kuvio 10. Asuinrakennuksen rungon ja kantavien rakenteiden betonin ohjeellisia arvoja (Punkki ym., 2024, s. 71).

3.2.4 Betonipeite ja tankojen minimietäisyys

Betonipeite on betonipinnan ja pintaa lähimpänä olevan raudituksen etäisyys (Tikkanen, 2021, s. 50). Peitteen paksuudessa huomioidaan haat ja työteräkset. Mitoituksessa käytetään betonipeitteen nimellisarvoa c_{nom} , joka saadaan kaavasta (3).

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (3)$$

Missä

c_{min} on betonipeitteen vähimmäisarvo

Δc_{dev} on mittapoikkeama

Mittapoikkeama Δc_{dev} on paikalle valetuissa rakenteissa yleensä 10 mm (Tikkanen, 2021, s. 50). Elementtivalmistaja voi käyttää myös pienempää 5 mm poikkeamaa, jos se on tehtaan laadunhallintajärjestelmän mukaan perusteltua ja tehdas on ulkopuolisen laadunvarmistuksen piirissä.

Betonipeitteen vähimmäisarvon c_{min} on oltava niin suuri, että se takaa terästen tartuntavoimien siirtymisen, terästen säilyvyyden ja rakenteen riittävän palonkestävyyden (Tikkanen, 2021, s. 50–51). Betonipeitteen vähimmäisarvo ei saa olla pienempi kuin 10 mm. c_{min} saadaan kaavasta (4).

$$c_{min} = \max \begin{cases} c_{min,b} \\ c_{min,dur} \\ 10 \text{ mm} \end{cases} \quad (4)$$

Missä

$c_{min,b}$ on ankkuroitavan tangon halkaisija \emptyset tai tankonipun ekvivalenttihalkaisija \emptyset_n

$c_{min,dur}$ on vähimmäisarvo säilyvyyden suhteen (kuvio 11)

Jos betonin maksimiraekoko on yli 32 mm, betonipeitteen vähimmäisarvoa $c_{min,b}$ suurennetaan 5 mm (Tikkanen, 2021, s. 51). Kun poikkileikkauksessa on useaa eri tankokokoa, voidaan tartunnanmukainen vaatimus laskea yhtälöstä (5) (Nykyri, 2013, s. 74).

$$c_{min,b} = \max \begin{cases} \emptyset_{päätanko} - \emptyset_{haka} \\ \emptyset_{haka} \end{cases} \quad (5)$$

Rasitusluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle [mm]		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle [mm]	
	Betoniteräs	Jänneteräs	Betoniteräs	Jänneteräs
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

Kuvio 11. Betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{min,dur}$ eri rasitusluokissa (Punkki ym., 2024, s. 37).

Tartunnan vaatima vähimmäistankoväli määräytyy tankopaksuuden ja kiviaineen maksimiraekoon mukaan kaavasta (6) (Nykyri, 2013, s. 61).

$$a_{min} = maks \begin{cases} \emptyset \text{ tai } \emptyset_n \\ d_g + 3 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{cases} \quad (6)$$

Missä

\emptyset on päätankokokoko

\emptyset_n on tankonipun ekvivalentti halkaisija

d_g on runkoaineen maksimiraekoko

3.3 Terästen valinta

Betoniteräkset ovat raudoittamiseen tarkoitettuja terästankoja, joiden pinnassa on tartuntaa parantavia harjoja (Nykyri, 2013, s. 50). Harjateräksiä valmistetaan kylmämuokkamalla ja kuumavalssauksella. Suunnittelussa käytettävien terästen tulee olla standardit SFS-EN10080 /20/ mukaisia ja täyttää eurokoodin liitteessä C esitetyt vaatimukset.

Teräkset jaetaan myötölujuuden ominaisarvon f_{yk} mukaan luokkiin 400, 500, 600 ja 700 MPa (Nykyri, 2013, s. 51–55). Josta saadaan kaavalla (7) johdettua terästen mitoitusarvo f_{yd} .

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (7)$$

Missä

f_{yk} on myötölujuuden ominaisarvo

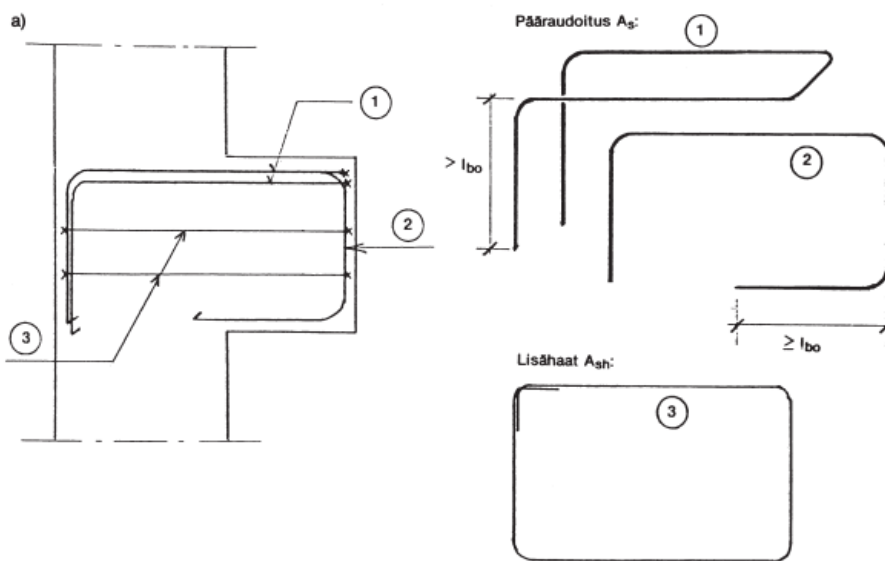
γ_s on materiaalin osavarmuusluku (taulukko 1)

Toinen tärkeä ominaisuus on teräksen sitkeys (Nykyri, 2013, s. 51–55). Teräkset jaetaan eurokoodissa murtolujuuden ja myötölujuuden välisen suhteen ja kokonaisvenymän mukaan sitkeysluokkiin A, B ja C, jossa C on kaikista sitkein. Nämä kaksi ominaisuutta näkyvät teräsluokan tunnuksessa esimerkiksi B500B on 500 MPa myötölujuuden omaava teräs sitkeysluokassa B. Suomessa käytetään eurokoodin tunnusten lisäksi myös vanhoja betoninormien mukaisia tunnuksia, joissa, numero kertoo myötölujuuden ja sen perässä tulevat kirjaimet esimerkiksi onko tanko kylmämuokattu vai kuumavalssattu, hitsattavissa tai ruostumaton (Leskelä, 2008a, s. 59–64). Yleisin käytetty teräs on A500HW, joka on sitkeydeltään eurokoodin luokkien B ja C välissä. Myötölujuus on kyseisessä teräksessä 500 MPa ja teräs on hitsattava kuumavalssattu harjateräs. B500B ja A500HW ovat suunnittelussa täysin vaihtokelpoisia, jos A500HW:lle sallittuja kaikkein pienimpiä taivutussäteitä ei käytetä (Hietanen, 2009). Piirustuksissa on suositeltavaa käyttää eurokoodin mukaisia tunnuksia tai merkata vaihtokelpoisuus.

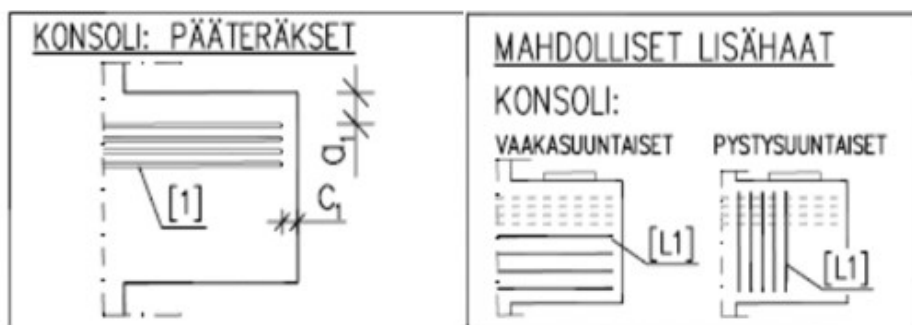
B500B ja A500HW sopivat ominaisuuksiltaan useimpiin mitoitus tapauksiin (Saarinen, 2000, s. 525). Plastisuusteorian mukaisissa analyyseissä on tärkeää, että teräs on tarpeeksi sitkeää tarkasteltavien mekanismien muodostumisen kannalta (Suomen Standardisoimisliitto (SFS), 2015, s. 61). Terästen olisi hyvä kuulu eurokoodin sitkeysluokkaan B tai C.

3.3.1 Konsolin teräkset

Konsolin teräkset koostuvat yläreunan pääraudoituksesta, joka ottaa vastaan vetoa ja hakaraudoituksesta, jotka ottavat vastaan halkaisuvoimaa (Leskelä, 2008a, s. 458–459). Konsolin pääraudoitus on tavallisimmissa tapauksissa halkaisijaltaan 12 mm harjaterästä ja hakaraudoitukset ovat halkaisijaltaan 8 mm (Betoniteollisuus ry, 2010). Kuvioissa 12 ja 13 nähdään rakentajainkalenterin ja SKOL ry:n laskentapohjan esimerkkejä raudoitusten asettelusta (Saarinen, 2000, s. 529; SKOL ry, 2011). Pää- ja hakaraudoituksen lisäksi voidaan tarvita myös työteräksiä.



Kuvio 12. Konsolin raudoitusten asettelu (Saarinen, 2000, s. 609).

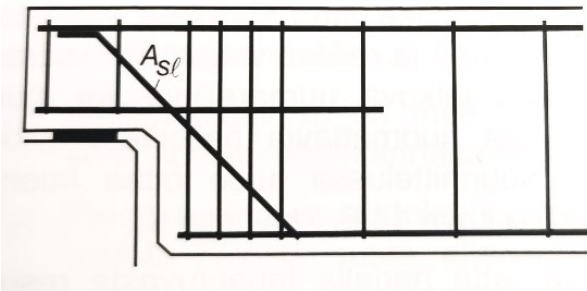


Kuvio 13. Konsolin teräkset (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

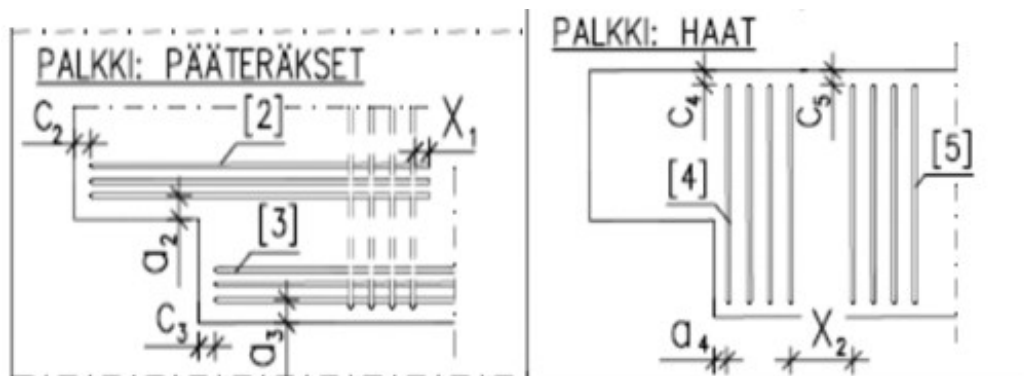
3.3.2 Palkin lovipään teräkset

Palkin lovipään pääteräkset koostuvat tuen päällä olevista vetoraudoista ja palkin alareunassa sijaitsevista pääraudoituksesta (Leskelä, 2008a, s.540–541). Paikallisen

murtumisen estämiseksi mitoitetaan myös pystyhaat, jotka ovat yleensä umpihakoja. Yleisimmät raudoitekoot ovat samoja palkkien yleisten raudoitekokojen kanssa (Nykyri, 2013, s. 56). Pääraudoitus on kokoa 12 mm – 32 mm ja haat kokoa 5 mm – 10 mm. Näiden lisäksi palkin yläreunassa käytetään asennustankoja raudoituksen sidonnan helpottamiseksi. Kuvioissa 14 ja 15 nähdään erilaisia lovipään raudoitus esimerkkejä (Leskelä, 2008a, s. 541; SKOL ry, 2011).



Kuvio 14. Palkin lovipään tyyppinen raudoitus (Leskelä, 2008a, s. 541).



Kuvio 15. Lovipääpalkin teräkset (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

3.3.3 Terästen ankkurointi

Pääraudoitus tulee ankkuroida niin, että tartuntavoimat siirtyvät luotettavasti betonille. (SFS, 2015, s. 131–133). Murtorajatilassa tartuntalujuuden täytyy siis olla riittävä estämään tartunnan pettämisestä aiheutuva murtuminen. Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd}$ saadaan kaavasta (8).

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad (8)$$

Missä

\emptyset on ankkuroitavien terästankojen halkaisija

σ_{sd} on vetojännitys ankkuroiduissa tangoissa (kaava 9)

f_{bd} on harjatangon tartuntalujuuden mitoitusarvo (kaava 10)

Vetojännitys σ_{sd} saadaan kaavasta (9) (SFS, 2015, s. 133).

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{td}}{A_s} \quad (9)$$

Missä

F_{td} on ankkuroitava vetovoima

A_s on ankkuroitavien tankojen pinta-ala

Harjatankojen tartuntalujuuden mitoitusarvo voidaan murtorajatilassa selvittää kaavalla (10) (SFS, 2015, s. 132).

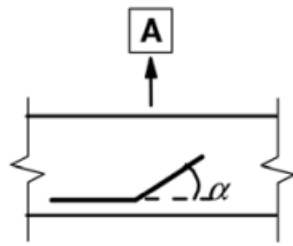
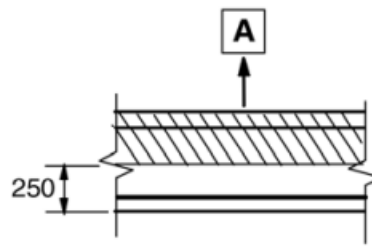
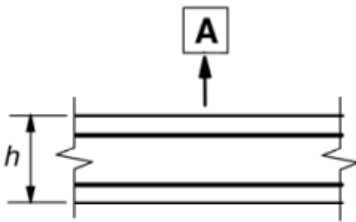
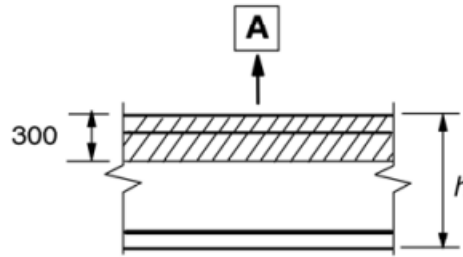
$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} \quad (10)$$

Missä

η_1 on tartuntaolosuhteiden laatuun ja tangon sijaintiin betonoinnin aikana liittyvä kerroin, kerroin on 1, jos olosuhteet ovat hyvät ja 0,7 muulloin (kuvio 16)

η_2 on kerroin, joka riippuu tangon halkaisijasta, se on 1,0 kun $\emptyset \leq 32$ mm ja $(132 - \emptyset) / 100$ kun $\emptyset > 32$ mm.

f_{ctd} on betonin vetolujuuden mitoitusarvo (kaava 11)

a) $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ c) $h > 250 \text{ mm}$ A Betonointisuuntab) $h \leq 250 \text{ mm}$ d) $h > 600 \text{ mm}$

Kuvio 16. Tartuntaolosuhteiden määrittäminen. a ja b hyvät tartuntaolosuhteet. c ja d viivoitetulla vyöhykkeellä huonot tartuntaolosuhteet. (Nykyri, 2013, s. 156).

Betonin vetolujuus saadaan kaavasta (11) (SFS, 2015, s. 35).

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot 0,21 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{\gamma_c} \quad (11)$$

Missä

α_{ct} on kerroin, jolla otetaan huomioon vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja

kuorman vaikuttamistavasta riippuvat epäedulliset tekijät, sen suositusarvo on 1

f_{ck} on betonin lujuusluokan mukainen lieriölujuuden ominaisarvo

γ_c on betonin osavarmuusluku 1,5 (taulukko 1)

Ankkurointipituuden minimiarvo vetovoimaa ankkuroitaessa saadaan kaavasta (12) (SFS, 2015, s. 134).

$$l_{b,min} = maks \begin{cases} 0,3 * l_{b,rqd} \\ 10 * \varnothing \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (12)$$

Missä

$l_{b,rqd}$ on ankkurointipituuden perusarvo (kaava 8)

\emptyset on ankkuroitavien tankojen halkaisija

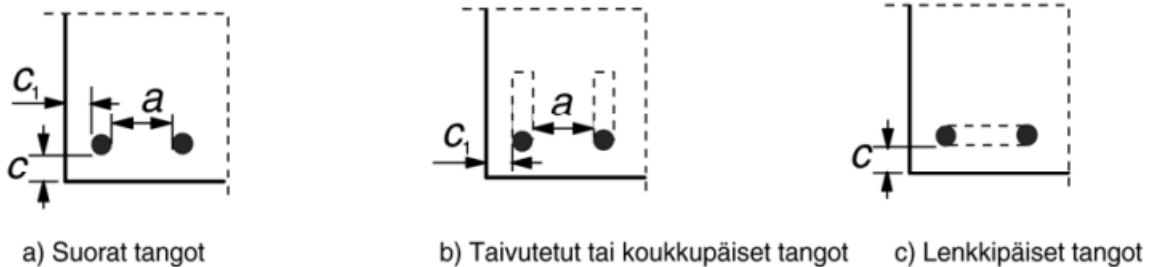
Jos pääteräkset taivutetaan tai tehdään lenkkeinä, voidaan ankkurointipituuden minimiarvo korvata ekvivalentilla ankkurointipituudella $l_{b,eq}$ (kuvio 18) (SFS, 2015, s. 134). Kuvion 18 tapauksissa a–d $l_{b,eq}$ saadaan kaavasta (13).

$$l_{b,eq} = \alpha_1 * l_{b,rqd} \quad (13)$$

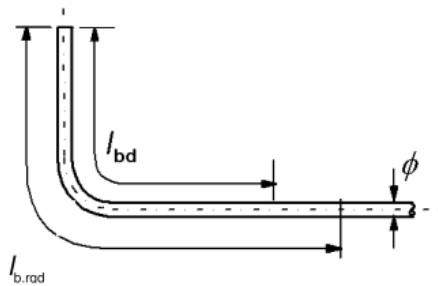
Missä

α_1 on tankojen muodosta riippuva kerroin (taulukko 5), kerroin on 0,7 jos $c_d > 3\emptyset$, muulloin 1,0 (kuvio 17)

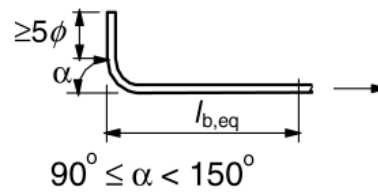
$l_{b,rqd}$ on ankkurointipituuden perusarvo (kaava 8)



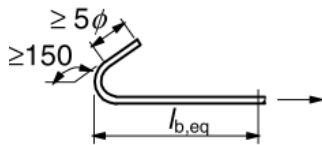
Kuvio 17. Mitan c_d arvo eri tilanteissa. $c_d = \min(c, c_1, a/2)$. Mitta a saadaan kaavasta (6). (Nykyri, 2013, s. 158).



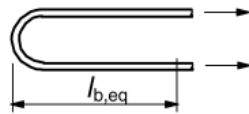
a) Muodosta riippumaton vetovoiman ankkuroinnin peruspituus $l_{b,rqd}$ mitattuna keskiviivaa pitkin



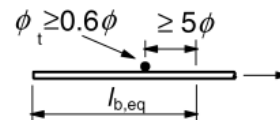
b) Vakiotaivutuksen ekvivalentti ankkurointipituus



c) Vakiokoukun ekvivalentti ankkurointipituus



d) Vakiolenkin ekvivalentti ankkurointipituus



e) Hitsatun poikittaistangon ekvivalentti ankkurointipituus

Kuvio 18. Suorasta tangosta poikkeavia ankkurointimuotoja (Nykyri, 2013, s. 161).

Ankkurointipituuden mitoitusarvo l_{bd} saadaan kertomalla ankkurointipituuden perusarvoa $l_{b,rqd}$ taulukon 5 kertoimilla (SFS, 2015, s. 134). Kertoimien α_2 , α_3 ja α_5 tulon täytyy silti olla suurempi kuin 0,7. Konsolissa ja lovetussa palkinpäissä ankkurointikohtaan vaikuttaa poikittainen puristus ja muut kertoimet ovat arvoltaan 1,0, jolloin lopullinen mitoitusarvo l_{bd} saadaan kaavasta (14) (SFS, 2015, s. 134)

$$l_{bd} = \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{b,min} \quad (14)$$

Missä

α_5 on kerroin, joka ottaa huomioon ankkurointipituudella vaikuttavan poikittaisen paineen, voidaan käyttää arvoa 0,7 (Leskelä, 2008a, s. 440)

$l_{b,rqd}$ on ankkurointipituuden perusarvo (kaava 8)

Taulukko 5. Kertoimien α_1 , α_2 , α_3 , α_4 ja α_5 arvot (Leskelä, 2008a, s. 466).

Vaikuttava tekijä	Ankkurointi muoto	vetoteräs	puristusteräs
Tangon muoto	Suora	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Muu kuin suora (kuvio 18 a, c ja d)	$\alpha_1 = 0,7$ jos $c_d > 3\emptyset$, muulloin 1,0	$\alpha_1 = 1,0$
Betonipeite	Suora	$\alpha_2 = 1 - 0,15 ((C_d - 3\emptyset) / \emptyset)$ $1,0 \geq \alpha_2 \geq 0,7$	$\alpha_2 = 1,0$
	Muu kuin suora (kuvio 18 a, c ja d)	$\alpha_2 = 1 - 0,15 ((C_d - 3\emptyset) / \emptyset)$ $1,0 \geq \alpha_2 \geq 0,7$	$\alpha_2 = 1,0$
Poikittaisen laajenemisen estoraudoitus (ei hitsattu)	Kaikki tyypit	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $1,0 \geq \alpha_3 \geq 0,7$	$\alpha_3 = 1,0$
Poikittainen laajenemisen estoraudoitus (hitsattu)	Kaikki tyypit. Sijainti ja koko kuviossa 18 e.	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Laajenemisen estävä poikittaispaine	Kaikki tyypit	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $1,0 \geq \alpha_5 \geq 0,7$	-

Missä

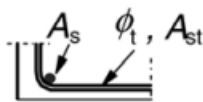
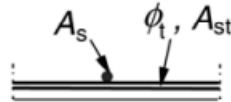
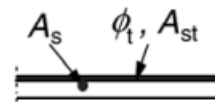
$$\lambda = (\sum A_{st} - \sum A_{st,min}) / A_s$$

$\sum A_{st}$ on ankkurointipituudella l_{bd} olevan poikittaisen raudoituksen kokonaisala.

$\sum A_{st,min}$ on poikittaisraudoituksen vähimmäisala. Palkeilla $0,25 \cdot A_s$ ja laatoilla 0.

A_s on yksittäisen halkaisijaltaan suurimman ankkuroidun tangon poikkileikkausala

K on poikittaisraudoituksen sijainnista riippuva kerroin.

 $K = 0,1$  $K = 0,05$  $K = 0$

p on murtorajatilassa ankkurointipituudella l_{bd} vaikuttava poikittaispaine [MPa]

C_d on mitta (kuvio 17)

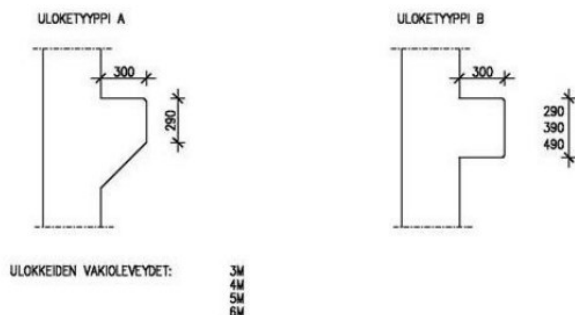
Tankoja taivutettaessa tulee huomioida, että käytettävä vähimmäishalkaisija on tarpeeksi suuri (Nykyri, 2013, s. 196–198). Näin vältetään tankojen taivutushalkeamilta ja betonin vahingoittumiselta. Taivutustelan minimi halkaisijat $\Phi_{m,min}$ löytyvät taulukosta 6.

Taulukko 6. Taivutustelan halkaisijat (Nykyri, 2013, s. 197–198).

Tankopaksuus	Taivutustelan halkaisija $\Phi_{m,min}$	Ehdot
$\emptyset \leq 16 \text{ mm}$	$4,5 \emptyset$	– Taivutuksen sisällä on poikittais- tanko, jonka paksuus $\geq \emptyset$ ja be- tonipeite taivutustasoa vastaan kohtisuorassa on $\geq 3\emptyset$ tai – Ankkurointiin riittää $5\emptyset$ taivutus- kohdan takana (kuvio 18)
$\emptyset > 16 \text{ mm}$	$9 \emptyset$	
Muussa tapauksessa		$\Phi_{m,min} = (F_{bt}/f_{cd}) * ((1/a_b) + (1/(2\emptyset)))$
Missä F_{bt} on taivutuskohdan alkuun kohdistuva voima a_b on pienempi kahdesta: taivutustason keskiöetäisyys betonin pinnasta tai puolet vierekkäisten tankojen keskiöetäisyydestä f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)		

3.4 Liitoksen mitat

Konsolin ja lovetun palkinpään suositusleveydet ovat samoja kuin pilarien suositus koot, eli M3, M4, M5 ja M6 (Elementtisuunnittelu, 2023a). Ulokkeen suosituspituus on 300 mm ja korkeus 290 mm, 390 mm ja 490 mm (kuvio 19).



Kuvio 19. Konsolin suosituskoot (Elementtisuunnittelu, 2023a).

Suositusmitoista voidaan poiketa, kunhan muistetaan että, ulokeosan on oltava konsolilla ja lovetulla palkinpäällä korkeuteensa nähden lyhyt. Betonisen puristussauvan kaltevuuden on täytettävä ehto $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$ ja mitta $a_c \leq z_0$ (kuvio 5) (SFS, 2015, s. 217). Tämän takia, jos ulokkeen pituutta kasvatetaan, on korkeuden kasvettava samassa suhteessa.

4 RISTIKKOMALLI

4.1 Yleisesti

Ristikkomalli (STM) on hyvä apuväline mitoitettaessa epäjatkuvusalueisiin kuuluvia rakenteita (Leskelä, 2008a, s. 159–161). Näitä ovat mm. kehänurkat, pilarikonsolit ja palkkien lovipäät. Malli perustuu plastisuusteoriaan ja sen alarajateoreemaan, eikä näin ollen sovellu käyttörajatilan tarkasteluun. Ristikkomallissa tarkastellaan staattista tasapainoa rakenteen sisällä. Rakenne jaetaan karkeasti puristettuihin sauvoihin, vedettyihin sauvoihin ja näiden solmukohtiin. Betoni toimii rakenteessa puristettuina sauvoina ja teräs vetosauvoina.

4.2 Puristussauvojen tarkastelu

Alueella, jolla vaikuttaa poikittainen puristusjännitys tai jolla ei vaikuta poikittaista jännitystä, voidaan betonisen puristussauvan mitoitusslujuus laskea kaavasta (15) (SFS, 2015, s. 105).

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (15)$$

Missä

f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitussarvo (kaava 16)

Puristuslujuuden mitoitussarvo saadaan kaavasta (16) (SFS, 2015, s. 35)

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (16)$$

Missä

α_{cc} on 0,85. Se ottaa huomioon puristuslujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät, sekä kuormituksen aiheuttamat epäedulliset tekijät.

γ_c on betonin osavarmuusluku 1,5 (taulukko 1)

f_{ck} on betonin lujuusluokan mukainen lieriölujuuden ominaisarvo

Betonin puristussauvojen mitoituslujuutta pienennetään halkeilleilla puristusalueilla ja se voidaan laskea kaavasta (17) (SFS, 2015, s. 106).

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6v'f_{cd} \quad (17)$$

Missä

v' on leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin v muokattuna (kaava 18)

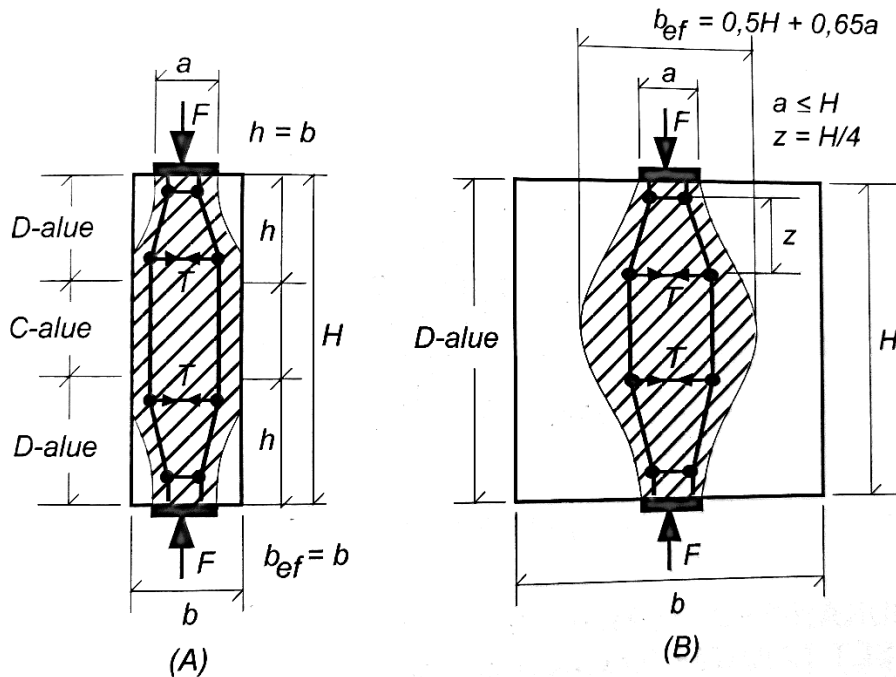
f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (18)$$

Missä

f_{ck} on betonin lujuusluokan mukainen lieriölujuuden ominaisarvo

4.3 Poikittaisten vetosauvojen tarkastelu



Kuvio 20. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristus kentässä, jota hallitaan jakaantuneella raudoituksella (Leskelä, 2008a, s. 163).

Puristussauvat voivat olla myös diagonaaleja, vaikka kuviossa 20 solmujärjestelmää esittää vertikaalisauvoissa (Leskelä, 2008a, s. 162). Ensimmäisessä sauvassa on kyse osittain muuttuvasta jännityskentästä. Muuttuvat kentät (alue D) ovat korkeudeltaan ja leveydeltään yhtä suuret. Kun alueen B korkeus menee nolleen, kyse on täydestä epäjatkuvuudesta ja ollaan oikeanpuoleisessa tilanteessa. Osittain muuttuvan jännityskentän kohdalla vetovoima T saadaan kaavasta (19) (SFS, 2015, s. 106).

$$T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F \quad (19)$$

Missä

F on puristussauvan suuntainen mitoitusvoima

b ja a ovat kuvion 20 a parametrejä

Täysin muuttuvassa jännityskentässä vetovoima T saadaan kaavasta (20) (SFS, 2015, s. 107).

$$T = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{H} \right) F \quad (20)$$

Missä

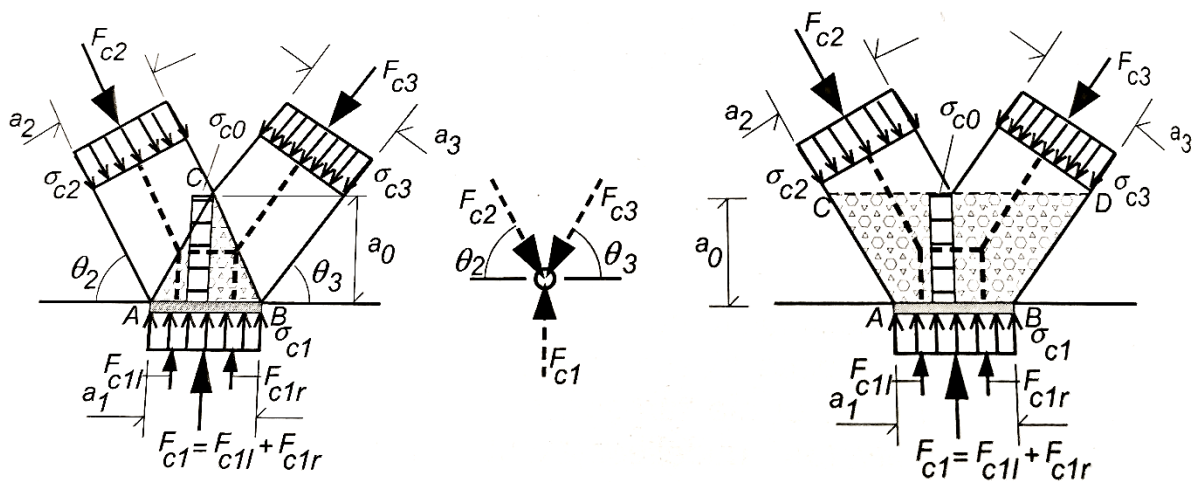
a ja H ovat kuvion 20 b parametrejä

F on puristussauvan suuntainen mitoitusvoima

Kun sauvan sisäisten solmujen pituudet ovat huomattavia sauvan suunnassa, tulee solmujen raudoitusten jakaantua koko epäjatkuvuusalueen pituudelle, ja vastattava vetovoimaa T (Leskelä, 2008a, s. 163).

4.4 Solmujen tarkastelu

Solmu on rakenteen kohta, missä eri suunnista tulevat voimien resultantit kohtaavat (Leskelä, 2008a, s. 437). Näiden voimien tulee olla tasapainossa. Solmuja voidaan ajatella ristikon nurkkina. Solmuihin vaikuttavat voimat ovat mm. betonisilta puristuskaistoilta tulevat voimat, raudoituksen veto- tai puristusvoimat ja ulkoiset voimat kuten pistemäiset kuormat tai tukireaktiot.



Kuvio 21. Solmu, johon liittyy useita puristussauvoja (Leskelä, 2008a, s. 438).

Kuviossa 21 on esitetty puristussolmu, johon ei ole ankkuroitu vetosauvoja (SFS, 2015, s. 107). Jännitys saadaan tässä tapauksessa kaavasta (21).

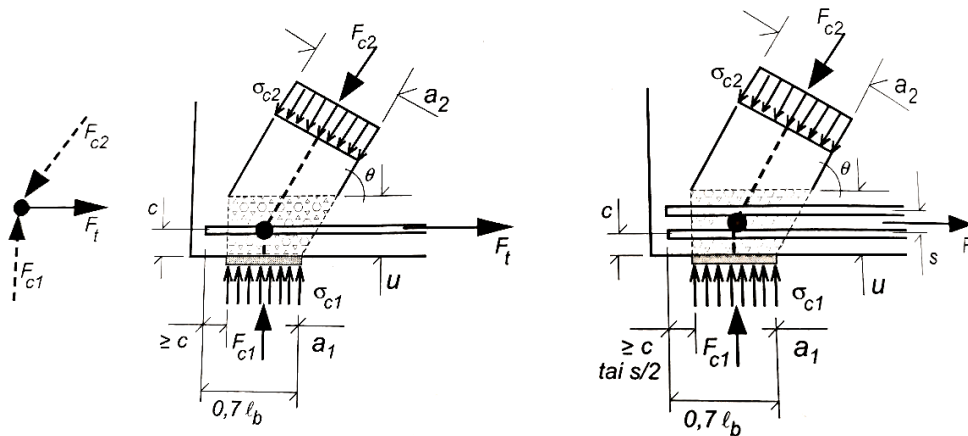
$$\sigma_{Rd,max} = k_1 v' f_{cd} \quad (21)$$

Missä

k_1 on kerroin 1,0

v' on leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerrointa v muokattuna (kaava 18)

f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)



Kuvio 22. Solmu, joka on puristettu ja vedetty ja johon liittyy yhden suunnan vetoraudoitus (Leskelä, 2008a, s. 440).

Kuvion 22 solmussa, johon liittyy puristussauvoja ja johon ankkuroituu vain yhdensuunnan vetosauvoja, jännitys lasketaan kaavalla (22) (SFS, 2015, s. 108).

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 v' f_{cd} \quad (22)$$

Missä

k_2 on kerroin 0,85

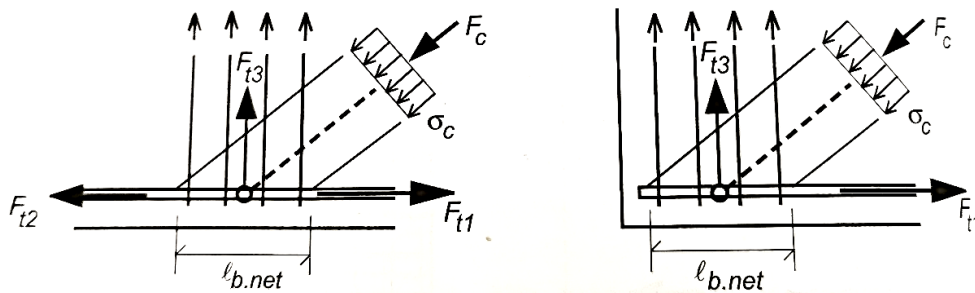
v' on leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerrointa v muokattuna (kaava 18)

f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)

Taulukko 7. Leveyden u arvot (Leskelä, 2008a, s. 439).

Leveys u	Ankkuroitumispituuden ehto
0	Raudoitus ei ankkuroidu solmun alueen taakse
2*c	Raudoitus yhdessä kerroksessa, raudoitus ankkuroituu vähintään mitan c
2*c+(n-1)*s	Raudoitus n kerroksessa, raudoitus ankkuroituu vähintään mitan $\max\left\{\frac{c}{2}, s\right\}$, missä s= tankoväli pystysuunnassa

Kuviossa 22 näkyvä vetosauvojen leveys u riippuu raudoituksen ankkuroinnista (taulukko 7) (Leskelä, 2008a, s. 439). Leskelän ohjeista poiketen eurokoodin mukaan raudoituksen tulee aina ankkuroitua vähintään mitta 2*c tuen taakse (SFS, 2015, s. 108). Todellisuudessa käy usein tilanne missä vetoraudoitusta ei voida ulottaa tuen yli tarvittavaa mitta. Pääraudoitus jaetaan silloin useaan kerrokseen ja ankkuroidaan U-haoilla (Leskelä, 2008a, s. 441).



Kuvio 23. Solmu, joka on puristettu ja vedetty ja johon liittyy kahden suunnan vetoraudoitus (Leskelä, 2008a, s. 442).

Kuvion 23 solmussa, johon liittyy puristussauva ja johon ankkuroituu vetosauvoja useamassa kuin yhdessä suunnassa, jännitys voidaan laskea kaavalla (23) (SFS, 2015, s. 109).

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 v' f_{cd} \quad (23)$$

Missä

k_3 on kerroin 0,75

v' on leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerrointa v muokattuna (kaava 18)

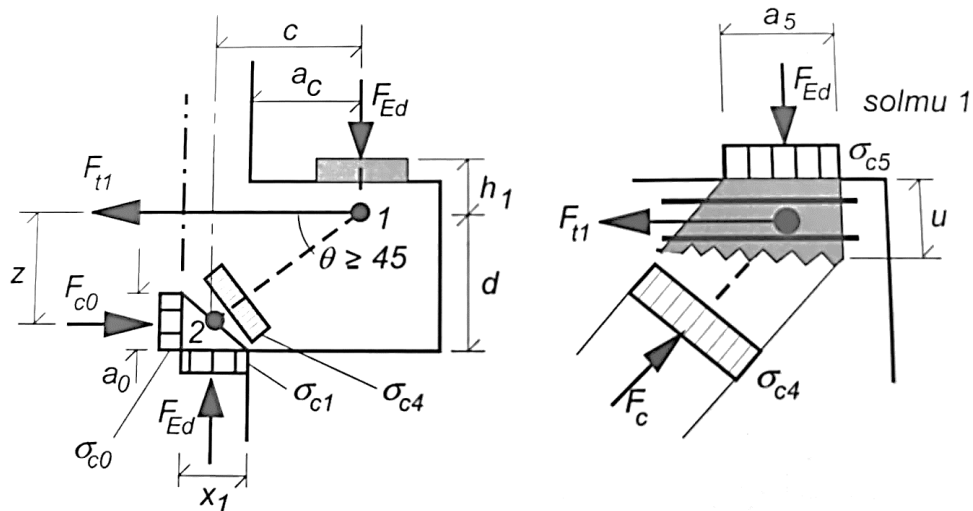
f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)

Jos seuraavista ehdoista vähintään yksi on voimassa, voidaan puristusjännityksen mitoitussarvoja solmuissa suurentaa enintään 10 % (SFS, 2015, s. 109).

- 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 hakarautoitus
- rautoitus on jaettu useampaan kerrokseen
- solmun laajeneminen on estetty luotettavasti laakerijärjestelyin tai kitkan avulla.

5 KONSOLIN MITOITUS

5.1 Ristikkomalli konsolissa



Kuvio 24. Konsolin ristikkomalli (Leskelä, 2008, s. 458).

Konsolin mitoitus lähtee liikkeelle kuormien F_{Ed} ja H_{Ed} selvittämisellä, jota käsitellään luvussa 3. Konsoleissa leikkausvoima on suuri verrattuna momenttiin (Leskelä, 2008a, s. 457–458). Leikkausvoima välittyy normaalivoimaksi pilarille puristussauvaa pitkin solmusta 1 solmuun 2, kuten kuviosta 24 nähdään. Ristikon tasapainoa pitää yllä puristava voima F_{Ed} solmussa 2 ja voima F_{t1} vetopaarteessa. Vetovoima on tavallisesti pieni ja sitä vastaa puristava voima F_{c0} solmussa 2.

5.2 Vetoraudoituksen mitoitus

Selvitetään aluksi konsoliin liittyviä mittoja. Solmun 2 vaakasuora mitta x_1 saadaan kaavalla (24) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$x_1 = \frac{F_{Ed}d}{bf_{cd1}} \quad (24)$$

Missä

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvo

b on puristuspuunnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

f_{cd1} on puristuslujuus (kaava 21), kun kyseessä on puhtaasti puristettu solmu

Kuorman F_{Ed} momenttivarsi c saadaan kaavasta (25) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$c = a_c + \frac{x_1}{2} \quad (25)$$

Missä

a_c on resultantin F_{Ed} mitta pilarin pinnasta (kuvio 24)

x_1 on solmun 2 vaakasuora mitta (kaava 24)

Mitta h_1 saadaan kaavalla (26) (Leskelä, 2008, s. 458).

$$h_1 = h + t - d \quad (26)$$

Missä

h on konsolin kokonaiskorkeus

t on kuormituslevyn korkeus

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta (kuvio 24)

Puristus- ja vetoresultanttien välisen momenttivarren z selvittämiseksi on ensin laskettava momentti M_d , joka saadaan kaavasta (27) (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde). Tämä momentti ei sisällä vaakakuorman vaikutusta, joka tarvitaan lopullisen raudoituksen mitoituksessa.

$$M_d = F_{Ed} * (a_c + x_1) \quad (27)$$

Missä

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvo

a_c on resultantin F_{Ed} mitta pilarin pinnasta (kuvio 24)

x_1 on solmun 2 vaakasuora mitta (kaava 24)

Momenttia M_d käyttäen saadaan laskettu suhteellinen momentti μ kaavalla (28) (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd1}} \quad (28)$$

Missä

M_d on kuorman F_{Ed} aiheuttama momentti solmussa 2 (kaava 27)

b on puristuspinnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta (kuvio 24)

f_{cd1} on puristuslujuus (kaava 21), kun kyseessä on puhtaasti puristettu solmu

Tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus β saadaan kaavasta (29) (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad (29)$$

Missä

μ on suhteellinen momentti (kaava 28)

Puristus- ja vetoresultanttien välinen momenttivarsi z saadaan kaavasta (30) (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (30)$$

Missä

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta (kuvio 24)

β on tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus (kaava 29)

Tarkistetaan vielä, että puristussauvan kaltevuus täyttää ehdon $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$ (SFS,2015, s. 217) kulma θ voidaan laskea esimerkiksi kaavalla (31).

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{z}{c} \right) \quad (31)$$

Missä

z on puristus- ja vetoresultanttien välinen momenttivarsi (kaava 30)

c on kuorman F_{Ed} momenttivarsi (kaava 25)

Konsoliin muodostuva mitoittava momentti lasketaan kaavasta (32) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} * c + H_{Ed} * h_1 \quad (32)$$

Missä

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvon resultantti

H_{Ed} on vaakakuormien murtorajatilan arvon resultantti

c on kuorman F_{Ed} momenttivarsi (kaava 25)

h_1 on mitta korkeussuunnassa vetoraudoituksen painopisteestä solmussa 1 kuormituslevyn yläpintaan (kaava 26)

puristusresultantin F_{c0} arvo lasketaan kaavasta (33) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$F_{c0} = \frac{M_{Ed,s}}{z} \quad (33)$$

Missä

$M_{Ed,s}$ on konsoliin muodostuva momentti (kaava 32)

z on puristus- ja vetoresultanttien välinen momenttivarsi (kaava 30)

Vetoraudoitus A_s mitoitetaan voimalle F_{t1} , joka saadaan kaavasta (34) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed} \quad (34)$$

Missä

F_{c0} on puristusresultantti (kaava 33)

H_{Ed} on vaakakuormien murtorajatilan arvon resultantti

Vetoraudoituksen tulee täyttää kaavan (35) ehto (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$A_s \geq \frac{F_{t1}}{f_{sd}} \quad (35)$$

Missä

F_{t1} on mitoittava vetovoima (kaava 34)

f_{sd} on raudituksen lujuuden mitoitusarvo (kaava 7)

5.3 Solmujen tarkastus

Tarkistetaan vielä solmujen alueella sijaitsevat puristusjännitykset. Solmun 1 jännitys σ_{c5} saadaan kaavasta (36) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$\sigma_{c5} = \frac{F_{Ed}}{b \cdot a_5} * \left(1 + \left(\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \right)^2 \right) \leq f_{cd3} \quad (36)$$

Missä

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvon resultantti

H_{Ed} on vaakakuormien murtorajatilan arvon resultantti

b on puristuspinnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

a_5 on kuorman leveys ulokkeen suunnassa, esimerkiksi neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveys ulokkeen suunnassa

f_{cd3} on mitoituslujuus betonille solmussa 1 (kaava 22), kun kyseessä on solmu, jossa puristusta ja yhdensuuntainen veto

Lisäksi vetovoiman F_{t1} ankkurointi solmuun 1 aiheuttaa vaakasuoran nimellispuristusjännityksen σ_{c6} (Leskelä, 2008a, s. 458). Tämän tulee myös olla pienempi kuin f_{cd3} . Kun jännitysten σ_{c5} ja σ_{c6} mitoitus ehdot toteutuvat jännitys σ_{c4} hyväksytään automaattisesti. σ_{c6} lasketaan kaavasta (37).

$$\sigma_{c6} = \frac{F_{t1}}{b \cdot u} \leq f_{cd3} \quad (37)$$

Missä

F_{t1} on mitoittava vetovoima

b on puristuspuoleisen levyn leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

u on solmuun 1 ankkuroituvan vetosauvan leveys (taulukko 7)

f_{cd3} on mitoituslujuus betonille solmussa 1 (kaava 22), kun kyseessä on solmu, jossa puristusta ja yhdensuuntainen veto

Solmun 2 korkeus saadaan kaavalla (38) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$a_0 = 2 * (d - z) \quad (38)$$

Missä

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta (kuvio 24)

z on puristus- ja vetoresultanttien välinen momenttivarsi (kaava 30)

Solmun 2 vaakasuora jännitys σ_{c0} saadaan kaavasta (39) (Leskelä, 2008a, s. 458). Jännityksen tulee olla pienempi kuin f_{cd1} .

$$\sigma_{c0} = \frac{F_{c0}}{b \cdot a_0} \leq f_{cd1} \quad (39)$$

Missä

F_{c0} on puristusresultantti (kaava 33)

b on puristuspuunnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

a_0 on solmun 2 korkeus (kaava 38)

f_{cd1} on puristuslujuus (kaava 21), kun kyseessä on puhtaasti puristettu solmu

5.4 Muiden raudoitteiden mitoitus

Diagonaalivoima F_c aiheuttaa halkaisuvoiman, jota vastaan mitoitetaan halkaisuraudoitus, joko hakoina tai vaakasuorana pintaraidoitteena (Leskelä, 2008a, s. 431, 458). Halkaisuvoima T voidaan mitoittaa tällä arvolla kaavan (20) mukaan. F_c saadaan kaavasta (40).

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin\theta} \quad (40)$$

Missä

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvon resultantti

θ on puristussauvan kaltevuus (kaava 31)

Jos mitta $a_c < 0,5 h$, konsoli varustetaan päävetoraidoituksen lisäksi vaakasuuntaisilla tai kaltevilla umpihaoilla (kuvio 25) (SFS,2015, s. 217). Hakojen tulee täyttää ehto (41).

$$A_{s,Ink} \geq k_1 * A_{s,main} \quad (41)$$

Missä

$A_{s,Ink}$ on hakaraidoituksen pinta-ala

k_1 on kerroin, suositusarvo 0,25

$A_{s,main}$ on päävetoraidoituksen pinta-ala

Jos mitta $a_c > 0,5 h$ ja $F_{Ed} > V_{Rd,c}$, konsoli varustetaan päävetoraidoituksen lisäksi pystysuuntaisilla umpihaoilla (kuvio 25) (SFS,2015, s. 217). Tällöin hakojen tulee täyttää ehto (42).

$$A_{s,lnk} \geq k_2 * \frac{F_{Ed}}{f_{sd}} \quad (42)$$

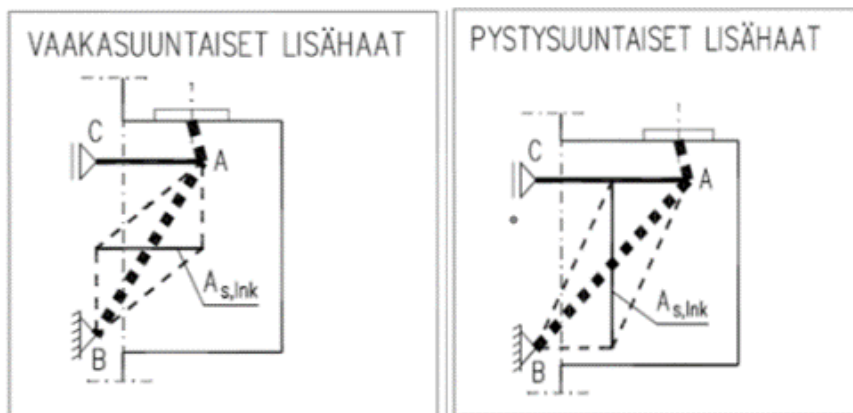
Missä

$A_{s,lnk}$ on hakaraidoituksen pinta-ala

k_2 on kerroin, suositusarvo 0,5

F_{Ed} on pystykuormien murtorajatilan arvon resultantti

f_{sd} on raudituksen lujuuden mitoitusarvo (kaava 7)



Kuvio 25. Konsolin hakaraidoituksen suunnittelu (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

Leikkauskestävyys $V_{Rd,c}$ saadaan kaavasta (43). Kaavoista saatava mitoitusarvon yksikkö on Newton [N] (SFS,2015, s. 84).

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (43)$$

Kuitenkin vähintään kaava (44)

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \quad (44)$$

Missä

$C_{Rd,c}$ on kansallisen liitteen arvo (kaava 45)

k on kaavan 46 arvo

ρ_l on kaavan 47 arvo

f_{ck} on betonin lieriölujuuden ominaisarvo

k_1 on kerroin 0,15

σ_{cp} on kaavan 48 arvo

b_w on poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta

v_{min} on kansallisen liitteen arvo (kaava 49)

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (45)$$

Missä

γ_c on betonin osavarmuusluku 1,5 (taulukko 1)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (46)$$

Missä

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02 \quad (47)$$

Missä

A_{sl} on tarkasteltavan poikkileikkauksen momentin itseisarvon pienenemissuuntaan

vähintään mitan ($l_{bd} + d$) verran ulottuvan vetoraudoituksen pinta-ala (kuvio 26)

b_w on poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

d on mitta konsolin pääraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 * f_{cd} [MPa] \quad (48)$$

Missä

N_{Ed} on kuormituksesta johtuva poikkileikkauksen normaalivoima

A_c on betonipoikkileikkauksen pinta-ala

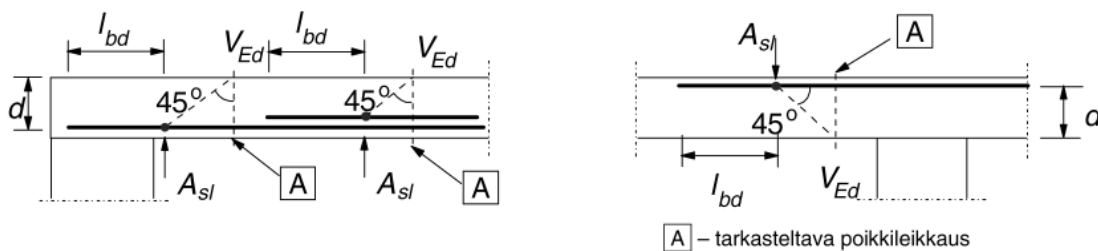
f_{cd} on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo (kaava 16)

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad (49)$$

Missä

k on kaavan 46 arvo

f_{ck} on betonin lieriölujuuden ominaisarvo



Kuvio 26. Kaavan 45 mukaisen vetoraidoituksen A_{sl} määrityskohta (Nykyri, 2013, s. 149).

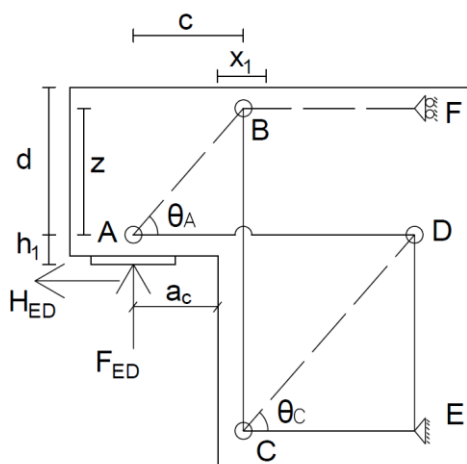
5.5 Raudoitusten ankkurointi

Konsoli päävetoraidoitus tulee ankkuroida molemmista päistään (SFS,2015, s. 117). Se ankkuroidaan tukena olevan rakenneosan esimerkiksi palkin vastakkaiselle puolelle. Ankkurointipituus mitataan etupuolella olevan pystyraudoituksen sijainnista. Raudoituksen toinen pää ankkuroidaan konsolin solmussa 1 ja ankkurointipituus mitataan konsolin tukilevyn sisäreunasta. Ankkuroinnin laskukaavat löytyvät luvusta 3.3.3.

6 PALKIN LOVIPÄÄN MITOITUS

6.1 Ristikkomalli palkin lovipäessä

Palkin lovipäää mitoitetaan ristikkomenetelmällä (SFS, 2015, s. 176). Eurokoodissa annetaan kaksi viitteellistä ristikkomallia, joita voidaan myös yhdistellä. Mitoituksen käsin laskennan helpottamiseksi tehdään useita lähteitä yhdistelemällä ristikkomalli, joka on lähellä SKOL ry:n mitoituspohjan ristikkomallia ja eurokoodin ristikkomallia (kuvio 27).



Kuvio 27. Lovetun palkinpään ristikkomalli (SFS, 2015, s. 176; SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde; Leskelä, 2008a, s. 541; Ruiz & Muttoni, 2007, s. 496; Chan & Mattock, 1979, s. 30–31; Saarinen, 2000, s. 591).

6.2 Pääraudoituksen mitoitus tuen päällä

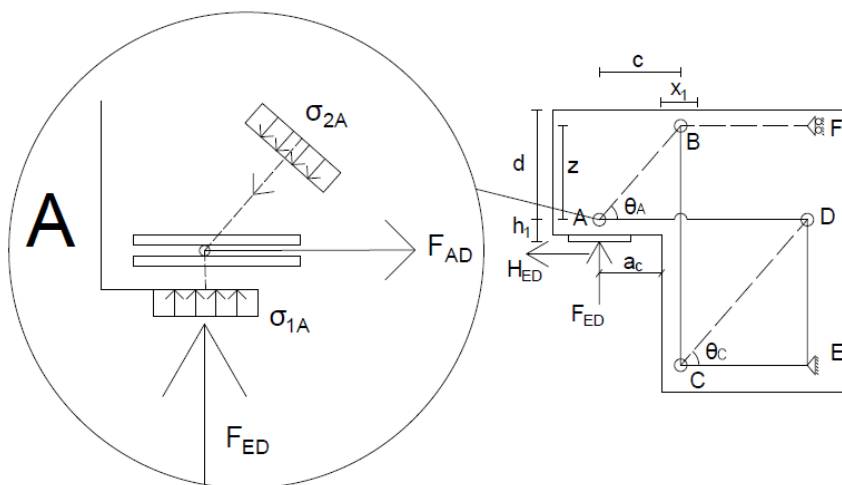
Lovipään solmujen A ja B alue on verrattavissa konsolin solmujen 1 ja 2 alueeseen (Chan & Mattock, 1979, s. 30). Mitoituksessa edetään aluksi kuten konsolin mitoituksessa. Aloite- taan selvittämällä lovipäähän liittyviä mittoja (kuvio 27). Toisin kuin konsolissa mitta x_1 on voimaa F_{CD} vastaava ankkurointimitta (Leskelä, 2008a, s. 540). Mitan tulee täyttää ehto $x_1 \leq 0,5 \cdot h$, missä h on loven uuman korkeus (Saarinen, 2000, s. 593). Loput mitat saadaan luvun 5.2 kaavojen (25–30) mukaisesti. Kaavassa (28) esiintyvä puristuslujuus f_{cd1} laske- taan lovipään tapauksessa kaavasta (22), koska solmuun B ankkuroituu puristussauvoja ja yhdestä suunnasta vetosauva.

Tarkistetaan että puristussauvan A-B kaltevuus täyttää ehdon $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$ (SFS,2015, s. 217). Kulma θ_A lasketaan kaavalla (31).

Puristusresultantin F_{BF} ($=F_{c0}$) saadaan kaavojen (32 ja 33) lopputuloksena. Tuen päälle sijaitseva vetoraudoitus lasketaan kaavasta (35), jossa mitoittava vetovoima F_{AD} ($=F_{t1}$) lasketaan kaavasta (34).

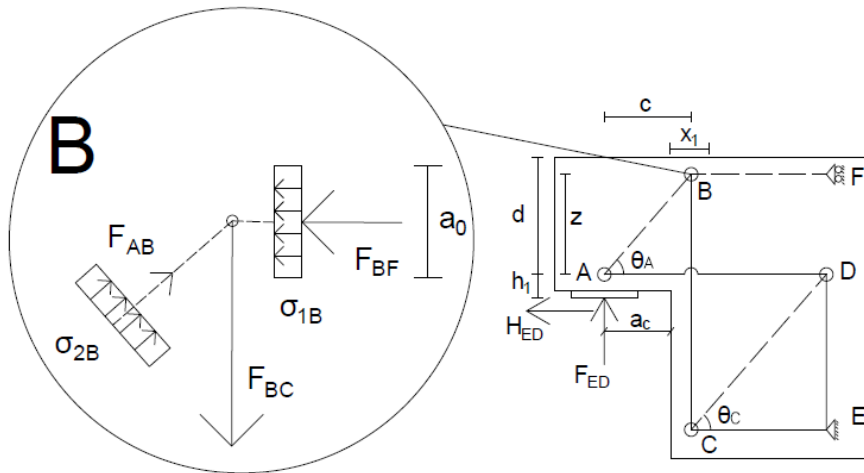
6.3 Solmujen tarkastelu

Solmu A on puristettu ja vedetty ja siihen liittyy yhden suunnan vetoraudoitus, eli samanlainen solmu kuin konsolin solmu 1 (kuvio 28). Sen alueella sijaitseva puristusjännitys σ_{1A} ($=\sigma_{c5}$) saadaan kaavasta (36). Lisäksi Solmujen A-D välisen vetovoiman F_{AD} ankkurointi solmuun A aiheuttaa vaakasuoran nimellipuristusjännityksen σ_{c6} , joka lasketaan kaavasta (37). Kun jännitysten σ_{1A} ja σ_{c6} mitoitus ehdot toteutuvat jännitys σ_{2A} ($=\sigma_{c4}$) hyväksytään automaattisesti (Leskelä, 2008a, s. 458).



Kuvio 28. Solmu A (SFS, 2015, s. 108; SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde; Leskelä, 2008a, s. 440, 458; Ruiz & Muttoni, 2007, s. 496–498; Chan & Mattock, 1979, s. 30–31; Saarinen, 2000, s. 591).

Solmuun B liittyy niin puristus kuin vetosauvoja (kuvio 29), joten sen puristuslujuus f_{cdB} lasketaan kaavasta (22), jota käytetään f_{cd1} tilalla B solmua koskevissa kaavoissa. Puristusjännitys σ_{1B} ($=\sigma_{c0}$) saadaan kaavasta (39). Solmun B korkeus a_0 lasketaan kaavasta (38) Solmujen B ja C välinen vetovoima F_{BC} on sama kuin kuorman F_{Ed} arvo (Saarinen, 2000, s. 591). A ja B solmujen välinen puristava voima F_{AB} saadaan kaavasta (40).



Kuvio 29. Solmu B (SFS, 2015, s. 108; SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde; Leskelä, 2008a, s. 440, 458; Ruiz & Mut-toni, 2007, s. 496–498; Chan & Mattock, 1979, s. 30–31; Saarinen, 2000, s. 591).

Solmuun C liittyy useasta suunnasta vetoraudoituksia (kuvio 30), joten sen alueella oleva puristuslujuus f_{cdC} saadaan kaavasta (23). Voimat F_{CD} ja F_{CE} voidaan selvittää käyttäen voimamonikulmioita ja trigonometriaa (Valtanen, 2019, s. 39, 160). Kulma θ_C lasketaan kaavalla (50). Kulman tulee täyttää ehto $\theta_C > 30^\circ$ (Leskelä, 2008a, s.432).

$$\theta_C = \tan^{-1} \left(\frac{F_{BC}}{F_{AD}} \right) \quad (50)$$

Missä

F_{BC} on solmujen B ja C välinen vetovoima, sama kuin arvo F_{ED}

F_{AD} on solmujen A ja D välinen vetovoima

Puristusvoima F_{CD} saadaan sen jälkeen kaavalla (51) (Valtanen, 2019, s. 39, 160).

$$F_{CD} = \frac{F_{BC}}{\sin(\theta_C)} \quad (51)$$

Missä

F_{BC} on solmujen B ja C välinen vetovoima, sama kuin arvo F_{ED}

θ_C on sauvojen C ja D välinen kulma (kaava 50)

Puristusjännitys σ_{1c} lasketaan kaavasta (52) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$\sigma_{1c} = \frac{F_{CD}}{a_{CD} * b} \leq f_{cdC} \quad (52)$$

Missä

F_{CD} on solmujen C ja D välinen puristusvoima (kaava 51)

a_{CD} on puristussauvan leveys (kaava 53)

b on puristuspinnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

f_{cdC} on puristuslujuus (kaava 23), kun kyseessä on solmu, johon liittyy puristussauva ja johon ankkuroituu vetosauvoja useammassa kuin yhdessä suunnassa

Puristussauvan leveys a_{CD} saadaan kaavasta (53) (Leskelä, 2008a, s. 458).

$$a_{CD} = \frac{F_{CD}}{b * f_{cdC}} \quad (53)$$

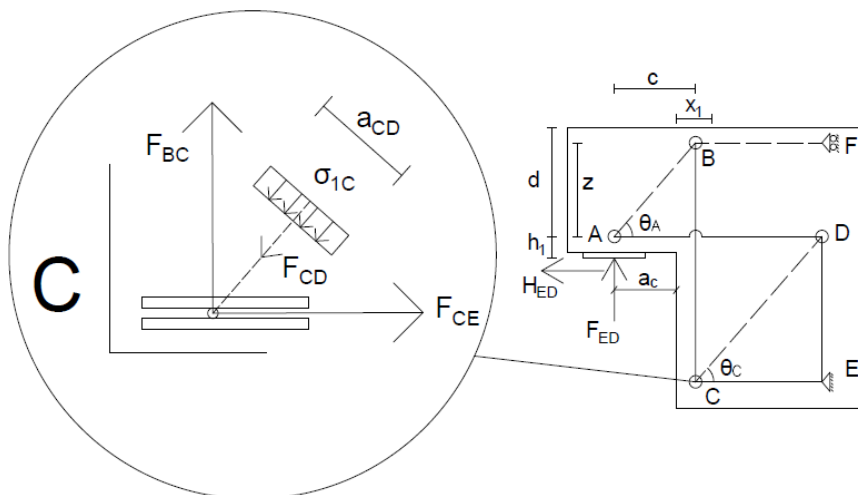
Missä

F_{CD} on solmujen C ja D välinen puristusvoima (kaava 51)

b on puristuspinnan leveys, voidaan käyttää neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveyttä

f_{cdC} on puristuslujuus (kaava 23), kun kyseessä on solmu, johon liittyy puristussauva ja johon ankkuroituu vetosauvoja useammassa kuin yhdessä suunnassa

Solmujen C ja E välinen vetovoima F_{CE} on arvoltaan sama kuin voima F_{AD} (Leskelä, 2008a, s. 540). Vetovoiman F_{CE} ankkurointi aiheuttaa solmun alueella nimellispuristusjännityksen σ_{2C} , joka lasketaan soveltaen kaavaa (37). Kaavassa (37) oleva puristuslujuus f_{cd3} on tässä tapauksessa f_{cdC} .



Kuvio 30. Solmu C (SFS, 2015, s. 109; SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde; Leskelä, 2008a, s. 442, 458; Ruiz & Mut-toni, 2007, s. 496–498; Chan & Mattock, 1979, s. 30–31; Saarinen, 2000, s. 591).

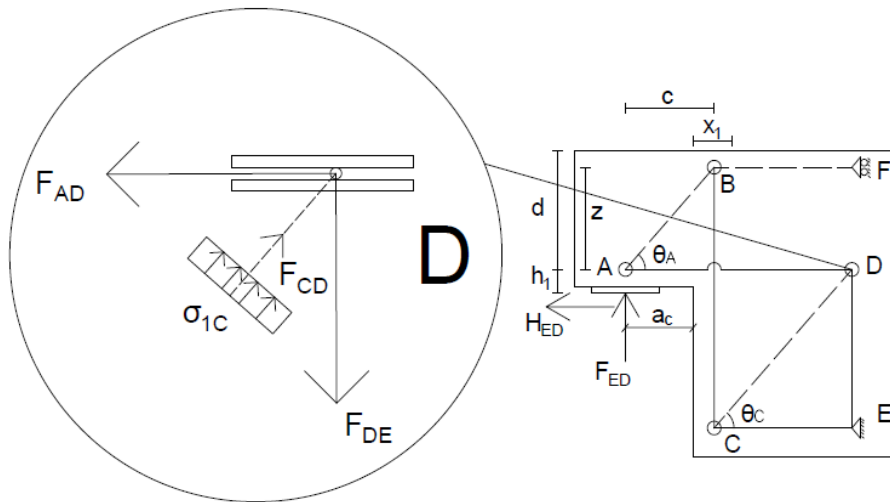
Myös solmuun D liittyy useasta suunnasta vetoraudoituksia (kuvio 31). Alueen puristuslujuus f_{cdD} saadaan kaavasta (23). Solmuun vaikuttava puristusjännitys σ_{1D} on sama kuin solmussa C oleva σ_{1C} (kaava 52). Vetovoima F_{DE} lasketaan trigonometrialla kaavasta (54) (Valtanen, 2019, s. 39, 160).

$$F_{DE} = F_{AD} * \tan(\theta_C) \quad (54)$$

Missä

F_{AD} on solmujen A ja D välinen vetovoima

θ_C on sauvojen C ja D välinen kulma (kaava 50)

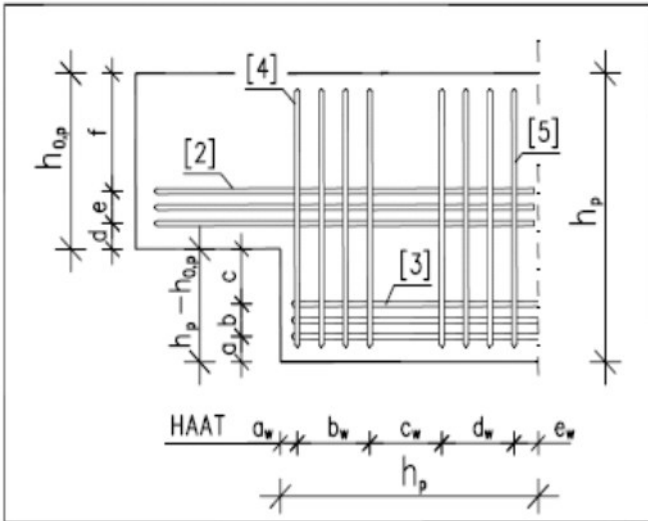


Kuvio 31. Solmu D (SFS, 2015, s. 109; SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde; Leskelä, 2008a, s. 442, 458; Ruiz & Mut-toni, 2007, s. 496–498; Chan & Mattock, 1979, s. 30–31; Saarinen, 2000, s. 591).

6.4 Muiden raudoitteiden mitoitus

Palkin alapinnassa oleva vetävä voima F_{CE} on saman arvoinen kuin voima F_{AD} , joten palkin alareunassa sijaitseva päävetoraudoitus saadaan kaavasta (35) (Leskelä, 2008a, s. 540, 458). Hakaraidotukset mitoitetetaan vetovoimia F_{BC} ja F_{DE} vastaan, johon voidaan myös soveltaa kaavaa (35).

Puristusvoimat F_{AB} ja F_{CD} aiheuttavat halkaisuvoimia, jota vastaan mitoitetetaan halkaisuraudoitus (Leskelä, 2008a, s. 431, 458). Halkaisuvoima T voidaan mitoittaa kaavan (20) mukaan. Vetovoimia varten mitoitettu umpihakaraidotus voi olla riittävä myös halkaisuvoimille. Raudoitteiden sijoittelua voidaan nähdä kuviossa 32.



Kuvio 32. Lovipään raudoituksen sijoittelu (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde).

6.5 Pääraudoituksen ankkurointi

Pääraudoitukset tuella ankkuroidaan, kuten konsolin solmussa 1 (SFS,2015, s. 117). Ankkurointipituus mitataan konsolin tukilevyn sisäreunasta. Tuen pääraudoituksen toinen pää ankkuroidaan solmun D taakse (SKOL ry, 2011, sisäinen tietolähde). Palkin alareunan pääraudoitus ankkuroidaan solmussa C. Ankkuroitumis pituus mitataan hakaraudoituksen reunasta. Ankkuroinnin laskukaavat löytyvät luvusta 3.3.3.

7 FRAMI A KONSOLI JA LOVIPALKKILIITOKSEN MITOITUS

7.1 Lähtötiedot

Laskenta lähtee liikkeelle lähtötietojen selvityksellä. Laskennan seuraamisen helpottamiseksi on opinnäytetyön liitteenä kaksi vuokaaviota (liite 1 ja 2). Frami A on 5 kerroksinen elementtirunkoinen koulurakennus. Rakennuksen runko on pilari palkki perusteinen (kuviot 4). Pilarijako on rakennuksessa 6 metriä ja ontelolaattojen jännevälit 12 m. Välipohjarakenne koostuu kantavista ontelolaatoista, pintavalusta ja pintamateriaaleista.

Betonin rasitusluokaksi saadaan kuvion 9 mukaisesti XC1, koska betoni on sisätiloissa ja siihen ei kohdistu kloridirasitusta. Piirustuksista päätellen rakenteessa on kuitenkin käytetty paremman rasitusluokan betonia, esimerkiksi XC2, koska c_{nom} annettu arvo on korkeampi kuin XC1 luokan kanssa. Rakennuksen oletettu käyttöikä on 50 vuotta, jolloin betonin lujuusluokaksi saadaan luvun 3.2.3 mukaisesti C30/37. Piirustusten mukaan todellisesti on käytetty kuitenkin K45-1 lujuusluokan betonia. Vertailun vuoksi käytetään laskuissa saman arvoista C35/45 lujuusluokan betonia. Syy luokaltaan ja lujuudeltaan paremman betonin käyttöön löytyy todennäköisesti elementtitehtaan muottikierron nopeuttamisesta. Puristuslujuuden mitoitusarvo saadaan kaavasta (16).

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 * \frac{35 \frac{N}{mm^2}}{1,5} = 19,833 \frac{N}{mm^2}$$

Teräksenä voidaan käyttää tavanomaista A500HW terästä tai korvaavaa B500B terästä. Teräksen mitoitusarvo saadaan kaavan (7) mukaisesti.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \frac{N}{mm^2}}{1,15} = 434,783 \frac{N}{mm^2}$$

Betonipeitteen vähimmäisarvo c_{min} saadaan kaavojen (4) ja (5) sekä kuvion 11 mukaisesti. Arvioidaan pääterästen maksimi koon olevan 12 mm ja hakojen minimikoon 8 mm.

$$c_{min} = maks \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} = \begin{cases} \Phi - \Phi_h = 12 \text{ mm} - 8 \text{ mm} = 4 \text{ mm} \\ \Phi_h = 8 \text{ mm} \end{cases} \\ c_{min,dur} = 20 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

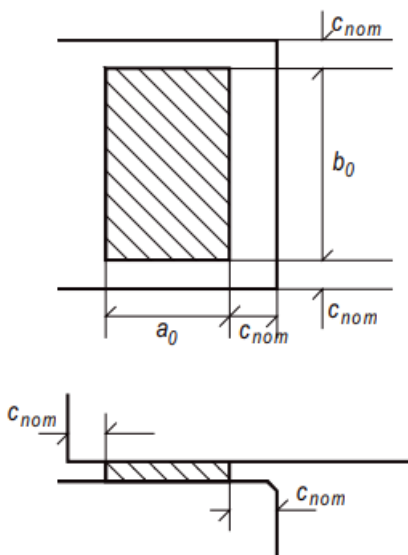
Betonipeitteen nimellisarvo c_{nom} saadaan kaavasta (3). Mittapoikkeaman Δc_{dev} arvona voidaan käyttää 5 mm koska kyseessä on elementtivalmisteinen rakenne.

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

Vähimmäistankoväli a_{min} arvona saadaan kaavasta (6). Arvona voidaan käyttää 20 mm, koska runkoaineen maksimikoko ei ole tiedossa ja päätankojen koko jää alle 20 mm.

Frami A piirustuksissa on määritelty neopreenin paksuus $t = 10 \text{ mm}$. Neopreenin leveys voi olla korkeintaan konsolin leveys (kuvio 33) vähennettynä mitta c_{nom} molemmilta reunoilta (Leskelä, 2008b, s.70).

$$b_0 = b - 2 * c_{nom} = 380 \text{ mm} - 2 * 25 \text{ mm} = 330 \text{ mm}$$



Kuvio 33. Neopreenin koko (Leskelä, 2008b, s. 70).

Neopreenin muodolle on asetettu ehto $5 \leq t/a_5 \leq 15$ (Leskelä, 2008b, s.68). Tämän ehdon perusteella neopreenin pituus a_5 voi olla välillä 50 mm–150 mm. Neopreenin pituutta voidaan joutua muokkaamaan sen mukaan, mille kohdalle kuorman F_{ED} resultantti sijoittuu. Neopreenin ja palkin reunan väliin tulee jäädä mitan c_{nom} verran tilaa. Tämän lisäksi

pääraudoitteiden tulee ulottua mitan $2 \cdot c$ neopreenin taakse (SFS, 2015, s. 108). Jos ankurointi tapahtuu u-raudoitteilla, voidaan pääraudoitus ulottaa mitan c neopreenin reunasta (Leskelä, 2008, s. 441). Oletetaan tässä vaiheessa resultantin F_{ED} täysin keskeiseksi.

$$a_5 = 250 \text{ mm} - \text{saumavalu} - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot 2 \cdot c = 250 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 2 \cdot 25 \text{ mm} - 2 \cdot 2 \cdot \left(25 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} \right) = 24 \text{ mm}$$

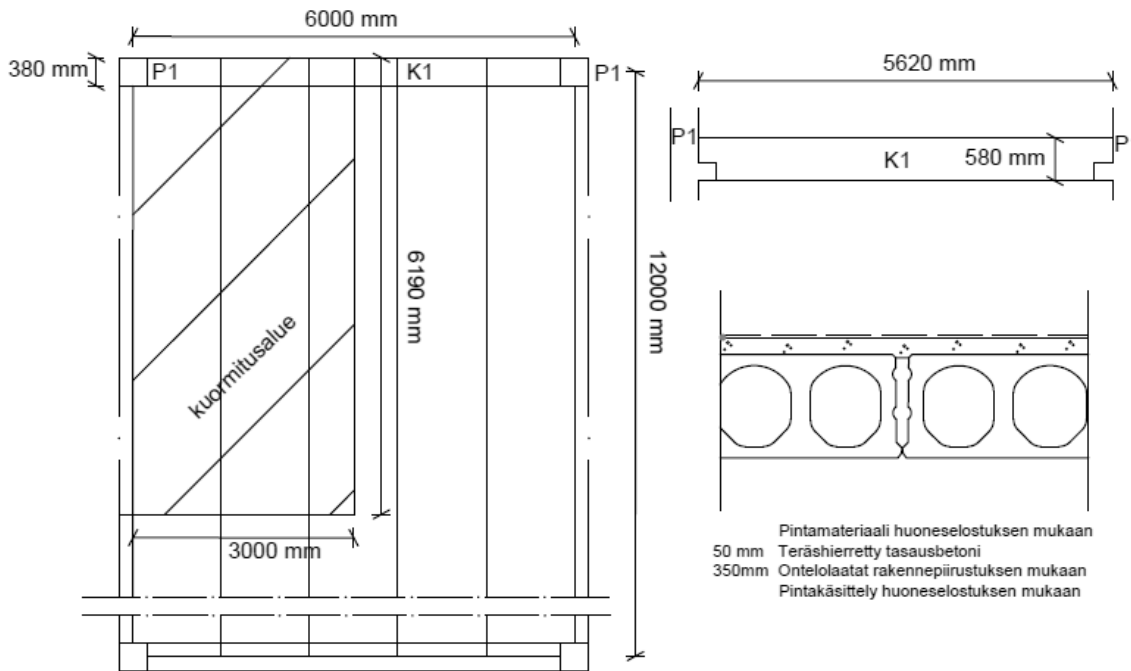
$$a_5 = 250 \text{ mm} - \text{saumavalu} - 2 \cdot c_{nom} - 2 \cdot c = 250 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 2 \cdot 25 \text{ mm} - 2 \cdot \left(25 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} \right) = 102 \text{ mm}$$

a_5 arvoon vaikuttaa vielä konsolin solmun 1 ja palkin solmun A puristusjännitykset. Mitan täytyy olla niin suuri, että puristusjännitykset täyttävät niille annetut ehdot. Tämän lisäksi neopreenin on oltava suurempi kuin liitoksessa olevalle pultille tehty asennusreikä. Reiän kooksi on merkattu piirustuksiin 100 mm * 60 mm. Käytetään siis a_5 arvona nyt 100 mm.

7.2 Kuormat

Frami A rakennusta voi ajatella toimistotilana, jolloin kuvion 6 mukaan hyötykuorman pinta-alkuormaksi saadaan $2,5 \text{ kN/m}^2$. Koska tilassa voi olla kevyitä väliseiniä, joiden omapaino on $\leq 1 \text{ kN/m}^2$, lisätään hyötykuormaan $0,5 \text{ kN/m}^2$.

$$q_k = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



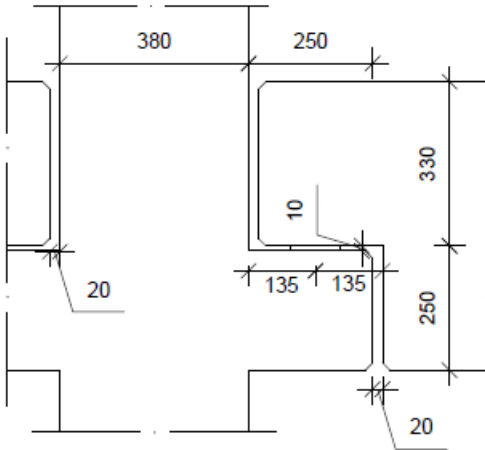
Kuvio 34. Kuormitusalue ja materiaalipaksuudet.

Välipohja koostuu 320 mm paksusta ontelolaatasta ja 50 mm pintavalusta (kuvio 34). Ontelolaatta painaa saumattuna $4,2 \text{ kN/m}^2$ (Elementtisuunnittelu, 2024). Betonille voidaan käyttää tilavuuspainoa 25 kN/m^3 (Betoniteollisuus ry, 2009, s.2). Näiden lisäksi piirustuksissa mainitaan $1,2 \text{ kN/m}^2$ pintarakenne paino, joka sisältää esimerkiksi ilmastointikanavien, äänieristelevyjen, lattiapinnoitteen ja muiden kattoon ripustettavien laitteiden painon.

$$g_{k,laatta} = 4,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,05 \text{ m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 6,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Myös palkin omapaino tulee ottaa huomioon. Kuvioissa 34 ja 35 nähdään palkin nimellimitat.

$$g_{k,palkki} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,38 \text{ m} * 0,58 \text{ m} = 5,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Kuvio 35. Liitoksen mitat.

Konsolille tuleva laatan kuormitusala on $3 \text{ m} * 6,19 \text{ m}$ (kuvio 34). Palkin kokonaispituus on $5,62 \text{ m}$ (kuvio 34). Rakennus on seuraamusluokassa CC2, joten kerroin K_{FI} on 1,0 (taulukko 3). Näitä tietoja ja kaavaa (1) hyödyntäen saadaan pystykuormien murtorajatilan arvo F_{ED} .

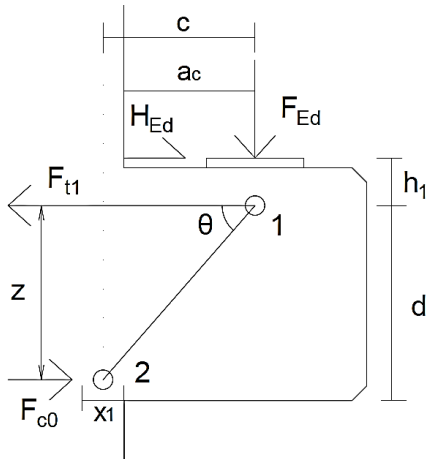
$$F_{ED} = 1,15 * K_{FI} * G_k + 1,5 * K_{FI} * Q_k = 1,15 * 1,0 * \left(6,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m} * 6,19 \text{ m} + 5,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * \frac{5,62 \text{ m}}{2} \right) + 1,5 * 1,0 * 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m} * 6,19 \text{ m} = 243,385 \text{ kN}$$

Vaikka ulkoisia vaakakuormia ei ole, otetaan kuitenkin kitkasta ja kiinnityksestä johtuvat voimat huomioon.

$$H_{ED} = 0,2 * F_{ED} = 0,2 * 236,261 \text{ kN} = 48,677 \text{ kN}$$

7.3 Konsolin laskenta

7.3.1 Pääraudoitus



Kuvio 36. Frami A konsolin ristikkomalli.

Lasketaan konsolin solmujen 1 ja 2 mitoituslujuudet f_{cd3} ja f_{cd1} (kuvio 36). Mitoituslujuus f_{cd3} saadaan kaavalla (22), koska solmu 1 on puristettu ja vedetty. Mitoituslujuus f_{cd1} saadaan kaavalla (21) koska kyseessä on täysin puristettu solmu. Ljujuuksia varten tarvitaan myös pienennyskerroin v' , joka saadaan kaavasta (18).

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{35}{250} = 0,86$$

$$f_{cd3} = k_2 * v' * f_{cd} = 0,85 * 0,86 * 19,833 \frac{N}{mm^2} = 14,498 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd1} = k_1 * v' * f_{cd} = 1,0 * 0,86 * 19,833 \frac{N}{mm^2} = 17,057 \frac{N}{mm^2}$$

Selvitetään kuviossa 24 ja 36 näkyviä mittoja. Solmun 2 vaakasuora mitta x_1 saadaan kaavan (24) avulla.

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{b * f_{cd1}} = \frac{243385N}{330 \text{ mm} * 17,057 \frac{N}{mm^2}} = 43,24 \text{ mm}$$

Momenttivarsi c saadaan kaavasta (25). Oletetaan tässä vaiheessa, että kuorman resultantti on keskeinen, jolloin mitta a_c on ulokeosien keskikohta pilarin pinnasta mitattuna (kuvio 35).

$$a_c = \frac{270 \text{ mm}}{2} = 135 \text{ mm}$$

$$c = a_c + \frac{x_1}{2} = 135 \text{ mm} + \frac{43,24 \text{ mm}}{2} = 156,62 \text{ mm}$$

Lasketaan pääraudoituksen painopiste d olettaen, että pääraudoitus tulee olemaan T12 ja 1 kerroksessa. Hakaraudoitus voidaan tässä kohtaa olettaa pystyhaoiksi, koska mitta a_c on suurempi kuin $0,5 \cdot h$. Mitta h nähdään kuviosta 35. d mittaa hyödyntäen saadaan selville mitta h_1 kaavasta (26).

$$d = h - c_{nom} - \phi_h - \frac{\phi}{2} = 240 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - \frac{12 \text{ mm}}{2} = 201 \text{ mm}$$

$$h_1 = h + t - d = 240 \text{ mm} + 10 \text{ mm} - 201 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$

Momentti M_d lasketaan kaavasta (27), jota hyödynnetään suhteellisen momentin μ laskennassa (kaava 28). Suhteellisen korkeuden β saadaan kaavasta (29), jota lopuksi käytetään puristus- ja vetoresultantin välisen momenttivarren z kaavassa (30).

$$M_d = F_{Ed} * (a_c + x_1) = 243385 \text{ N} * (135 \text{ mm} + 43,24 \text{ mm}) = 43,381 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd1}} = \frac{43,381 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{330 \text{ mm} \cdot (201 \text{ mm})^2 \cdot 17,057 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,191$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,191} = 0,214$$

$$z = d * \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 201 \text{ mm} * \left(1 - \frac{0,214}{2}\right) = 179,536 \text{ mm}$$

Tarkistetaan että puristussauvan kaltevuus on $\geq 45^\circ$, mutta $\leq 68^\circ$. Kulma saadaan kaavasta (31). Jos kulma ei täytä näitä kriteereitä täytyy esimerkiksi raudoituksen sijoittelua tai konsolin mittoja miettiä uudelleen.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{z}{c} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{179,536 \text{ mm}}{156,62 \text{ mm}} \right) = 48,9^\circ \geq 45^\circ \text{ ok!}$$

Konsolin momentti $M_{Ed,s}$ lasketaan kaavasta (32). Tätä hyödyntäen saadaan puristusresultantin F_{c0} arvo kaavasta (33). Vetoraudoituksissa vaikuttava voima F_{t1} lasketaan kaavasta (34) ja lopulta tätä vastaava raudoitemäärä kaavasta (35).

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} * c + H_{Ed} * h_1 = 243385 \text{ N} * 156,62 \text{ mm} + 48677 \text{ N} * 49 \text{ mm} = 40,504 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{c0} = \frac{M_{Ed,s}}{z} = \frac{40,504 * 10^6 \text{ Nmm}}{179,536 \text{ mm}} = 225604 \text{ N}$$

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed} = 225604 \text{ N} + 48677 \text{ N} = 274281 \text{ N}$$

$$A_s \geq \frac{F_{t1}}{f_{yd}} = \frac{274281 \text{ N}}{434,785 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 631 \text{ mm}^2$$

7.3.2 Ankkurointi

Lähdetään liikkeelle taivutustelan koon selvittämisellä. Taulukon 6 ehdoista vain toinen voi täytyä, koska raudoitukset ovat lähellä betonipeitteenpintaa. Oletetaan että ehto ankkurointipituudesta taivutuksen jälkeen tulee täyttymään. Näin taivutusteloista saadaan järkevän kokoisia, jos niitä verrataan muissa tapauksissa käytettävän kaavan antamiin telakoihin.

$$\Phi_{m,min} = 4,5 * \emptyset = 4,5 * 12 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$$

Ankkurointipituuden perusarvo $l_{b,rqd}$ lasketaan kaavasta (8). Valitaan alustavaksi raudoitemääräksi 6 kpl T12 ($A_s=678 \text{ mm}^2$). Perusarvon laskentaa varten tarvitaan tangoissa vaikuttava vetojännitys σ_{sd} (kaava 9) ja harjatankojen tartuntalujuuden mitoitusarvo f_{bd} (kaava 10). Betonin vetolujuuden mitoitusarvo f_{ctd} saadaan kaavasta (11). Elementin valusuunnan takia tartuntaolosuhteet ovat aina huonot (kuvio 16 ja kuva 1). Näin η_1 saa arvokseen 0,7.



Kuva 1. Esimerkki konsolin raudoituksesta muotissa. Valusuunta on konsolin sivusuunnassa. (A. Saariaho, henkilökohtainen tiedonanto, 3.12.2024)

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} * 0,21 * f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{\gamma_c} = \frac{1,0 * 0,21 * 35^{\frac{2}{3}}}{1,5} \frac{N}{mm^2} = 1,498 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} = 2,25 * 0,7 * 1,0 * 1,498 \frac{N}{mm^2} = 2,359 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{td}}{A_s} = \frac{274281 N}{678 mm^2} = 404,544 \frac{N}{mm^2}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{12 mm}{4} * \frac{404,544 \frac{N}{mm^2}}{2,359 \frac{N}{mm^2}} = 514,4 mm$$

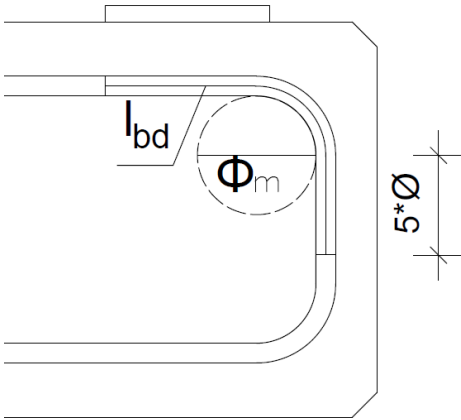
Lopullinen mitoitusarvo l_{bd} saadaan kaavasta (14) ja ankkurointipituuden minimiarvo $l_{b,min}$ kaavasta (12).

$$l_{bd} = \alpha_5 * l_{b,rqd} = 0,7 * 514,4 mm = 360,1 mm$$

$$l_{b,min} = maks \begin{cases} 0,3 * l_{b,rqd} = 0,3 * 514,4 mm = 154,32 mm \\ 10 * \emptyset = 10 * 12 mm = 120 mm \\ 100 mm \end{cases}$$

Mitataan todellinen ankkurointipituus Autocadissa raudoituksen keskilinjaa pitkin neopreenin sisäreunasta taivutustelan puolestavälistä mitan $5 * \emptyset$ verran taivutuksen puolelle (kuvi 37). Todelliseksi mitaksi saadaan 212 mm, joten raudoitemäärää joudutaan nostamaan.

$$l_{bd} = 0,7 * \frac{12 \text{ mm}}{4} * \frac{274281 \text{ N}/A_s}{2,359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 212 \text{ mm} \rightarrow A_s = 1152 \text{ mm}^2$$

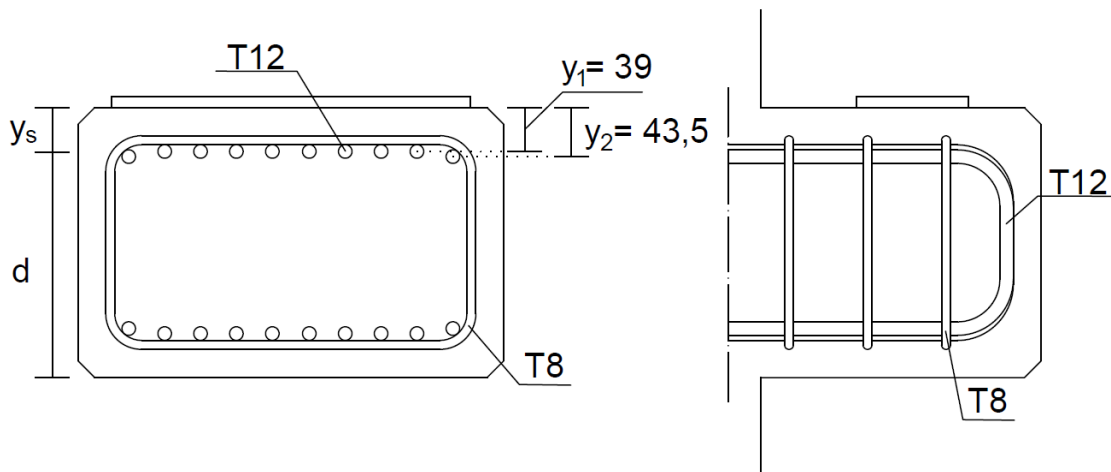


Kuvio 37. Raudoituksen ankkurointipituus.

Raudoitemääräksi saadaan siis 11 kpl T12 ($A_s = 1243 \text{ mm}^2$). 11 raudoitetta ei mahdu yhteen kerrokseen. Ankkurointipituutta saadaan pidennettyä suurentamalla taivutustelaa esimerkiksi kokoon 76 mm, jolloin todellinen ankkurointipituus on Autocadista mitattuna 219 mm.

$$l_{bd} = 0,7 * \frac{12 \text{ mm}}{4} * \frac{274281 \text{ N}/A_s}{2,359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 219 \text{ mm} \rightarrow A_s = 1115 \text{ mm}^2$$

Näin lopulliseksi raudoitemääräksi saadaan 10 kpl T 12 ($A_s = 1130 \text{ mm}^2$). Raudoitteet eivät mahdu täysin yhteen kerrokseen, vaan reunimmaisat raudoitteet joudutaan nostamaan ha-karadoituksen taivutusosalla ylemmäs, jotta mitta $a = 20 \text{ mm}$ raudoitteiden välillä toteutuu (kuvio 38). Raudoitteiden painopiste muuttuu, joten mitta d lasketaan uudelleen. Myös momentin vaatima raudoitemäärä muuttuu. Raudoitteiden painopisteen y_s mitat saadaan kuvio 38.



Kuvio 38. Konsolin raudoitteiden lopullinen sijoittelu.

$$y_s = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = \frac{904 \text{ mm}^2 \cdot 39 \text{ mm} + 226 \text{ mm}^2 \cdot 43,5 \text{ mm}}{904 \text{ mm}^2 + 226 \text{ mm}^2} = 39,9 \text{ mm}$$

$$d = h - y_s = 240 \text{ mm} - 39,9 \text{ mm} = 200,1 \text{ mm}$$

$$h_1 = h + t - d = 240 \text{ mm} + 10 \text{ mm} - 200,1 \text{ mm} = 49,9 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd1}} = \frac{43,381 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{330 \text{ mm} \cdot (200,1 \text{ mm})^2 \cdot 17,057 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,192$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,192} = 0,216$$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 197,4 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{0,216}{2}\right) = 178,513 \text{ mm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{z}{c}\right) = \tan^{-1} \left(\frac{178,513 \text{ mm}}{156,62 \text{ mm}}\right) = 48,738^\circ \geq 45^\circ \text{ ok!}$$

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} \cdot c + H_{Ed} \cdot h_1 = 243385 \text{ N} \cdot 156,62 \text{ mm} + 48677 \text{ N} \cdot 49,9 \text{ mm} = 40,548 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{c0} = \frac{M_{Ed,s}}{z} = \frac{40,548 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{175,434 \text{ mm}} = 227142 \text{ N}$$

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed} = 227142 \text{ N} + 48677 \text{ N} = 275819 \text{ N}$$

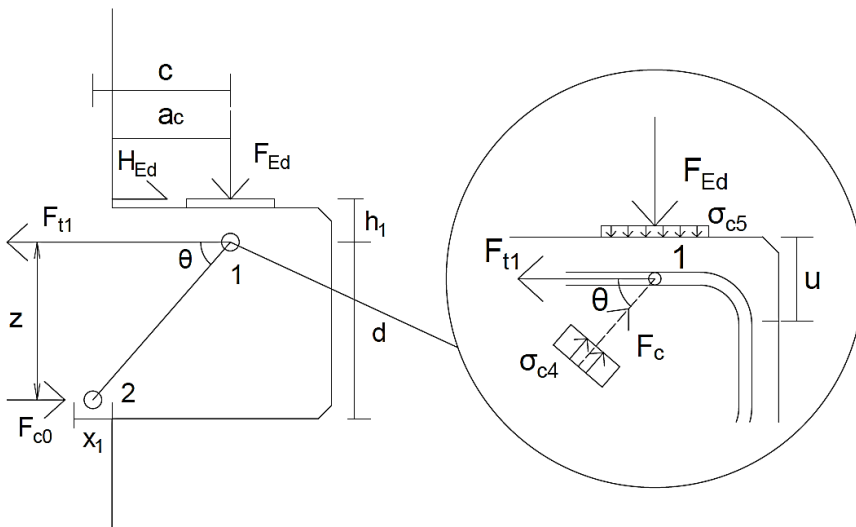
$$A_s \geq \frac{F_{t1}}{f_{yd}} = \frac{275819 \text{ N}}{434,785 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 635 \text{ mm}^2$$

Tarkistetaan vielä, että todellinen ankkurointipituus riittää (kuvio 37).

$$l_{bd} = 0,7 * \frac{12 \text{ mm}}{4} * \frac{275819 \text{ N}/A_s}{2,359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 219 \text{ mm} \rightarrow A_s = 1122 \text{ mm}^2 \leq 1130 \text{ mm}^2 \text{ ok!}$$

7.3.3 Solmujen tarkastus

Tarkistetaan kuviossa 39 olevan solmun 1 puristusjännitykset σ_{c5} ja σ_{c6} , jotka saadaan kaavoista (36) ja (37). Ne eivät saa ylittää arvoa f_{cd3} . Vetosauvan leveydelle u löytyy selitystä kuviosta 22 ja taulukosta 7. Nyt on kysymys yhdessä kerroksessa olevasta raudoituksesta, joka ankkuroituu vähintään mitan c solmualueen taakse.



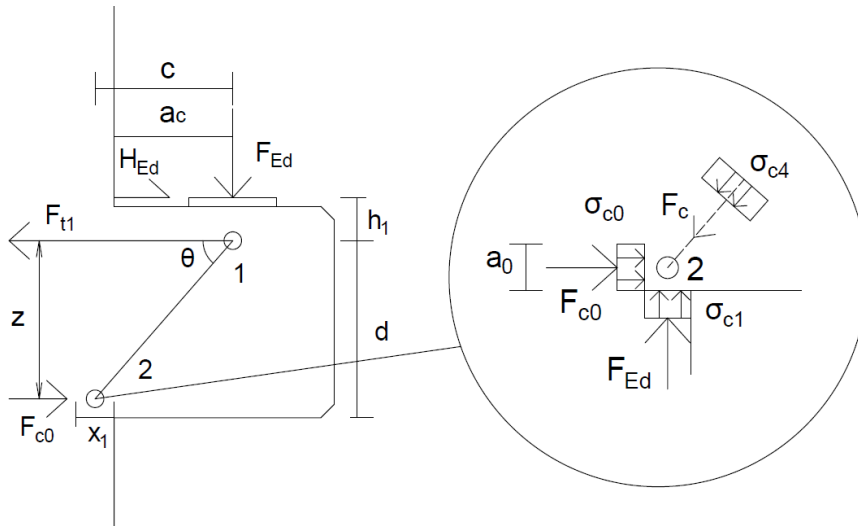
Kuvio 39. Konsolin solmu 1.

$$u = 2 * c = 2 * \left(c_{nom} + \frac{\phi}{2} + \phi_h \right) = 2 * \left(25 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} \right) = 78 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c5} = \frac{F_{Ed}}{b * a_5} * \left(1 + \left(\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \right)^2 \right) = \frac{243385 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 100 \text{ mm}} * \left(1 + \left(\frac{48677 \text{ N}}{243385 \text{ N}} \right)^2 \right) = 7,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cd3} = 14,498 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ok!}$$

$$\sigma_{c6} = \frac{F_{t1}}{b * u} = \frac{275819 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 78 \text{ mm}} = 10,716 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cd3} \text{ ok!}$$

Tarkistetaan myös solmun 2 puristusjännitys σ_{c0} (kaava 39 ja kuvio 40). Solmun korkeus a_0 lasketaan kaavasta (38). Jos solmun 1 tai 2 jännitysten ehdot eivät toteudu joudutaan muuttamaan esimerkiksi raudituksen sijoittelua useampaan kerrokseen.

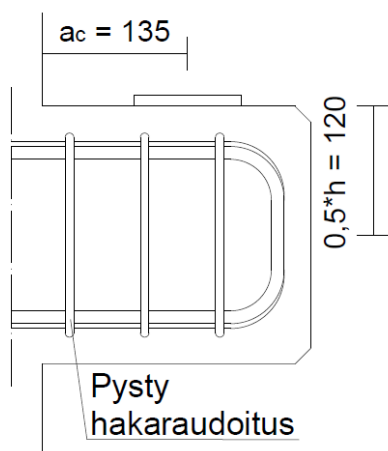


Kuvio 40. Konsolin solmu 2.

$$a_0 = 2 * (d - z) = 2 * (200,1 \text{ mm} - 178,513 \text{ mm}) = 43,174 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c0} = \frac{F_{c0}}{b * a_0} = \frac{227142 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 43,174 \text{ mm}} = 15,943 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cd1} = 17,057 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ok!}$$

7.3.4 Hakarauditus



Kuvio 41. Hakarauditus.

Hakaraudoitukset tulevat olemaan pystyhakoja, koska mitta $a_c > 0,5 \cdot h$ ja jos $F_{Ed} > V_{Rd,c}$ (kuvio 41). Selvitetään ensin leikkauskestävyyden $V_{Rd,c}$ kaavoihin (43) ja (44) liittyviä arvoja kaavojen (45), (46), (47), (48) ja (49) mukaisesti ja sitten itse leikkauskestävyys.

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

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

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 = \frac{1130 \text{ mm}^2}{380 \text{ mm} \cdot 200,1 \text{ mm}} = 0,015$$

$$A_c = h \cdot b_w - A_s = 240 \text{ mm} \cdot 380 \text{ mm} - 1130 \text{ mm}^2 = 90070 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd} = \frac{48677 \text{ N}}{90070 \text{ mm}^2} < 0,2 \cdot 19,833 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 0,54 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 3,967 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 2^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,586$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d = [0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,015 \cdot 35)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,54] \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 380 \text{ mm} \cdot 200,1 \text{ mm} = 67050 \text{ N}$$

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = (0,586 + 0,15 \cdot 0,54) \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 380 \text{ mm} \cdot 200,1 \text{ mm} = 50688 \text{ N}$$

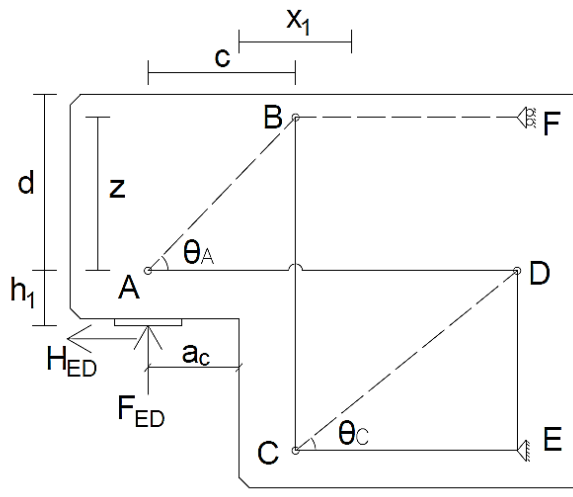
F_{Ed} on suurempi kuin leikkauskestävyyden arvo, joten hakaraudoituksen pinta-ala $A_{s,lnk}$ saadaan kaavasta (42).

$$A_{s,lnk} \geq k_2 \cdot \frac{F_{Ed}}{f_{sd}} = 0,5 \cdot \frac{243385 \text{ N}}{434,783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 280 \text{ mm}^2$$

Valitaan hakaraudoitukseksi 3 kpl T8 2 leikkeisiä umpihakoja ($A_{s,lnk} = 302 \text{ mm}^2$).

7.4 Lovetun palkinpään laskenta

7.4.1 Pääraudoitukset



Kuvio 42. Frami A lovetun palkinpään ristikkomalli.

Lovipään ristikkomalli mukalee todellista raudoitetta. Tämän takia ristikkomalli on aina tapauskohtainen (kuvio 42). Aloitetaan mitan x_1 selvittämisellä. Käytetään alustavasti samaa ankkuroitumismittaa kuin konsolissa tukilevyn reunasta raudoituksen ulkopintaan ja lisätään tähän betonin suojaetäisyys.

$$x_1 \leq 0,5 * h = 140 \text{ mm} + 25 \text{ mm} = 165 \text{ mm} \leq 0,5 * 330 \text{ mm} = 165 \text{ mm}$$

Selvitetään lovipään loput mitat kuten konsolissa kaavojen (25–26) avulla (kuvio 27 ja 42). Valitaan pääraudoitteiksi alustavasti T12 teräs 2 kerrokseen.

$$c = a_c + \frac{x_1}{2} = 135 \text{ mm} + \frac{165 \text{ mm}}{2} = 217,5 \text{ mm}$$

$$d = h - c_{nom} - \phi_h - \phi - \frac{a}{2} = 330 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - 8 \text{ mm} - 12 \text{ mm} - \frac{20 \text{ mm}}{2} = 275 \text{ mm}$$

$$h_1 = h + t - d = 330 \text{ mm} + 10 \text{ mm} - 275 \text{ mm} = 65 \text{ mm}$$

Jatketaan momenttivarren z selvittämällä kaavoista (27–30). Kaavassa (28) esiintyvä puristuslujuus f_{cdB} saadaan kaavasta (22), koska solmuun B ankkuroituu yhdestä suunnasta vetoraudoitus (kuvio 29).

$$f_{cdB} = k_2 \nu' f_{cd} = 0,85 * 0,86 * 19,833 \frac{N}{mm^2} = 14,498 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_d = F_{Ed} * (a_c + x_1) = 243385 N * (135 mm + 165 mm) = 73,015 * 10^6 Nmm$$

$$\mu = \frac{M_d}{b * d^2 * f_{cdB}} = \frac{73,015 * 10^6 Nmm}{330 mm * (275 mm)^2 * 14,498 \frac{N}{mm^2}} = 0,202$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,202} = 0,228$$

$$z = d * \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 275 mm * \left(1 - \frac{0,228}{2}\right) = 243,687 mm$$

Lasketaan voimasuureet ja pääraudoitus kaavoista (31–35). Kulman θ_A tulee täyttää ehto $1,0 \leq \tan\theta \leq 2,5$.

$$\theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{z}{c}\right) = \tan^{-1} \left(\frac{243,687 mm}{217,5 mm}\right) = 48,25^\circ$$

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} * c + H_{Ed} * h_1 = 243385 N * 217,5 mm + 48677 N * 65 mm = 51,1 * 10^6 Nmm$$

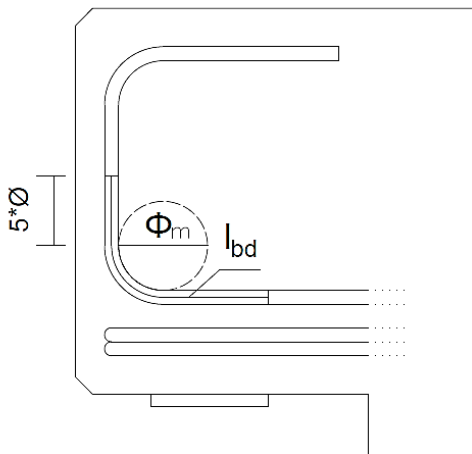
$$F_{BF} = \frac{M_{Ed,s}}{z} = \frac{51,1 * 10^6 Nmm}{243,687 mm} = 230214 N$$

$$F_{AD} = F_{BF} + H_{Ed} = 230214 N + 48677 N = 278891 N$$

$$A_{sAD} \geq \frac{F_{AD}}{f_{sd}} = \frac{278891 N}{434,783 \frac{N}{mm^2}} = 642 mm^2$$

Tässä työssä käytetyn ristikkomallin vuoksi $F_{AD} = F_{CE}$, joten myös $A_{sAD} = A_{sCE}$.

7.4.2 Ankkurointi

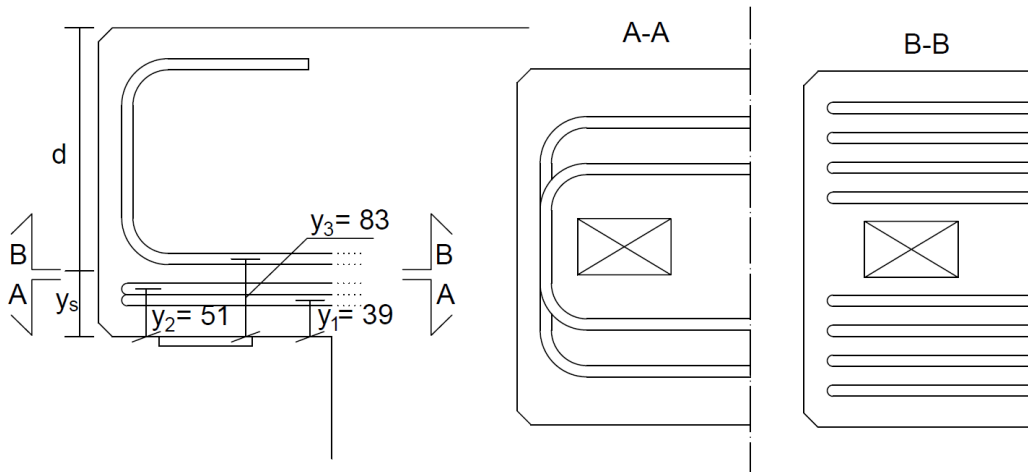


Kuvio 43. Ankkurointipituus lovetun palkinpään tuella.

Tutkitaan seuraavaksi ankkurointia tuella (kuvio 43). Konsolin mitoituksesta tiedetään, että jos päätuella valitaan taivutustelan kooksi 76 mm tulee todelliseksi ankkurointipituudeksi 219 mm, josta pystytään selvittämään ankkurointiin tarvittava raudoitemäärä.

$$l_{bd} = 0,7 * \frac{12 \text{ mm}}{4} * \frac{278891 \text{ N}/A_s}{2,359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 219 \text{ mm} \rightarrow A_s = 1134 \text{ mm}^2$$

Tuen päälle saadaan raudoitteeksi 11 kpl T12 ($A_s = 1243 \text{ mm}^2$). Raudoitteet eivät mahdu poikkileikkaukseen, jos raudoitukset taivutettaisiin palkin puristuspuolelle kuten konsolissa (kuvio 38). Palkin ulokeosassa on myös pultin asennusreikä, millä kohden raudoitteet eivät voi kulkea. Jaetaan raudoitteet nyt kahteen kerrokseen mutta toteutetaan ensimmäinen kerros 2 u-haalla (kuvio 44). Symmetrian vuoksi raudoitteita tulisi 12 kpl. Raudoitteiden painopiste muuttuu ja mitta d joudutaan laskemaan uudelleen, joka muuttaa edellä lasketujen kaavojen arvoja. Raudoitteiden painopisteen y_s mitat saadaan kuviosta 44.



Kuvio 44. Raudoitus tuen päällä.

$$y_s = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{226 \text{ mm}^2 \cdot 39 \text{ mm} + 226 \text{ mm}^2 \cdot 51 \text{ mm} + 904 \text{ mm}^2 \cdot 83 \text{ mm}}{226 \text{ mm}^2 + 226 \text{ mm}^2 + 904 \text{ mm}^2} = 70,333 \text{ mm}$$

$$d = h - y_s = 330 \text{ mm} - 70,333 \text{ mm} = 259,667 \text{ mm}$$

$$h_1 = h + t - d = 330 \text{ mm} + 10 \text{ mm} - 259,667 \text{ mm} = 80,333 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cdB}} = \frac{73,015 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{330 \text{ mm} \cdot (259,667 \text{ mm})^2 \cdot 14,498 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,226$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,226} = 0,260$$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 259,667 \text{ mm} \cdot \left(1 - \frac{0,260}{2}\right) = 225,886 \text{ mm}$$

$$\theta_A = \tan^{-1} \left(\frac{z}{c}\right) = \tan^{-1} \left(\frac{225,886 \text{ mm}}{217,5 \text{ mm}}\right) = 46,084^\circ \geq 45^\circ \text{ ok!}$$

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} \cdot c + H_{Ed} \cdot h_1 = 243385 \text{ N} \cdot 217,5 \text{ mm} + 48677 \text{ N} \cdot 80,333 \text{ mm} = 56,847 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$F_{BF} = \frac{M_{Ed,s}}{z} = \frac{56,847 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{225,886 \text{ mm}} = 251660 \text{ N}$$

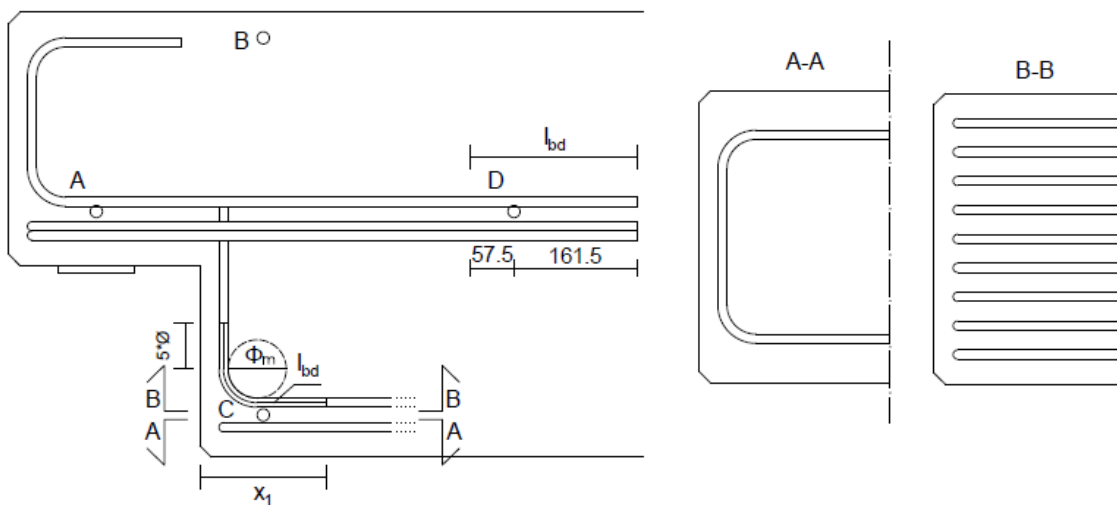
$$F_{AD} = F_{BF} + H_{Ed} = 251660 \text{ N} + 48677 \text{ N} = 300337 \text{ N}$$

$$A_{sAD} \geq \frac{F_{AD}}{f_{sd}} = \frac{300337 \text{ N}}{434,783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 691 \text{ mm}^2$$

Tarkistetaan vielä, että ankkurointipituudesta saatava raudoitemäärä ei ylitä valittua raudoitetta 12 kpl T12 ($A_s = 1356 \text{ mm}^2$).

$$l_{bd} = 0,7 * \frac{12 \text{ mm}}{4} * \frac{300337 \text{ N}/A_s}{2,359 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 217 \text{ mm} \rightarrow A_s = 1233 \text{ mm}^2 \leq 1356 \text{ mm}^2 \text{ ok!}$$

Palkin alareunassa olevien raudoitteiden ankkurointipituus mitataan C–B välin hakaraidoitusalueen reunasta, toisaalta siis mitan x_1 reunasta (kuvio 45). Käyttäen samaa 76 mm taivutustelaa saadaan todelliseksi ankkurointipituudeksi myös 219 mm, jolloin raudoitemääräksi välillä C–E tulee 11 kpl T12 ($A_s = 1243 \text{ mm}^2$). Alareunan raudoitteet voidaan toteuttaa yhdellä u-haalla ja ylöspäin taivutetuilla raudoitteilla (9 kpl) (kuvio 45).

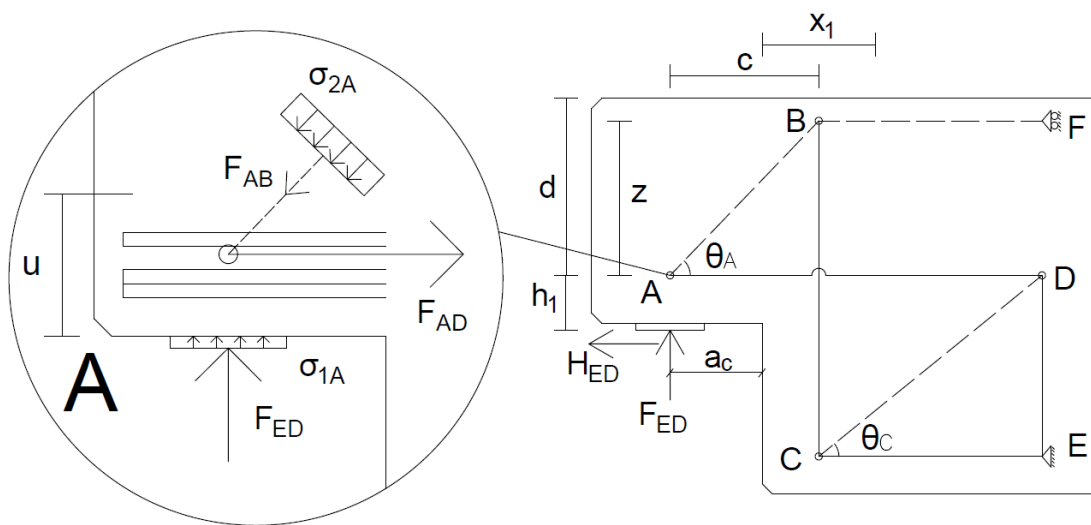


Kuvio 45. Alareunan raudoitus.

Tuen päällä olevan raudoitteen tulee myös ankkuroitua solmussa D (kuvio 45). Tämä onnistuu jatkamalla raudoitetta solmun ohi riittävästi, että 219 mm ankkurointipituus toteutuu. Ankkurointipituus mitataan solmussa D olevien hakaraidojen etureunasta. Palkin alareunan raudoitteen tulee myös limittyä riittävästi palkin pääraudoituksen kanssa, mutta tätä ei käsitellä tämän opinnäytetyön puitteissa.

7.4.3 Solmujen tarkastus

Edetään luvun 6.3 mukaisesti solmu kerrallaan. Samalla saadaan selville loput palkin lovipäässä vaikuttavista voimasuureista. Solmussa A (kuvio 28) vaikuttavat puristusjännitykset σ_{1A} ja σ_{c6} lasketaan kaavasta (36) ja (37), jos nämä toteutuvat hyväksytään kolmas jännitys σ_{2A} automaattisesti. Jännityksiä vastaava lujuus f_{cdA} on sama kuin solmussa B. Mitta a_5 on neopreenin pituus. Mitta u saadaan soveltamalla taulukkoa 7. Raudoitus on useammassa kerroksessa, mutta alin kerros on useampi hakainen (kuvio 46).



Kuvio 46. Solmu A.

$$u = 2 * c + (n - 1) * s = 2 * \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} + \emptyset_h \right) + (2 - 1) * (a + \emptyset) + \emptyset = 2 * \left(25 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} \right) + 1 * (20 \text{ mm} + 12 \text{ mm}) + 12 \text{ mm} = 122 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1A} = \frac{F_{Ed}}{b * a_5} * \left(1 + \left(\frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \right)^2 \right) = \frac{243385 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 100 \text{ mm}} * \left(1 + \left(\frac{48677 \text{ N}}{243385 \text{ N}} \right)^2 \right) = 7,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cdA} = 14,498 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ok!}$$

$$\sigma_{c6} = \frac{F_{AD}}{b * u} = \frac{300337 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 122 \text{ mm}} = 7,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cdA} \text{ ok!}$$

Solmun B puristusjännitys lasketaan kaavasta (39) ja solmun korkeus kaavasta (38) (kuvio 29). Käytetyn ristikkomuodon takia $F_{BC} = F_{Ed}$.

$$a_0 = 2 * (d - z) = 2 * (259,667 \text{ mm} - 225,886 \text{ mm}) = 67,561 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c0} = \frac{F_{BF}}{b * a_0} = \frac{251660 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 67,561 \text{ mm}} = 11,288 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cdB} = 14,498 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ok!}$$

Solmussa C puristuslujuus f_{cdC} saadaan kaavasta (23) (kuvio 30). Alueella vaikuttaa kaksi puristusjännitystä σ_{1C} ja σ_{2C} , jotka saadaan selville kaavasta (52) ja (37). Puristussauvan leveys a_{CD} ei ole tiedossa, mutta kaavasta (53) voidaan selvittää kaistan leveys, jos kaistassa olisi maksimi puristus. Tuloksesta pystytään arvioimaan, onko tällaisen puristuskaistan mahdollista muodostua. Kaavoihin tarvittava voimasuure F_{CD} lasketaan kaavoista (50) ja (51). Kulman tulee täyttää ehto $\theta_C > 30^\circ$. Koska alareunan teräkset ovat eri lailla aseteltu kuin tuen päällä lasketaan C solmuun myös oma u mitta taulukon 7 mukaan (kuvio 45).

$$f_{cdC} = k_3 v' f_{cd} = 0,75 * 0,86 * 19,833 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 12,793 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\theta_C = \tan^{-1} \left(\frac{F_{BC}}{F_{AD}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{243385 \text{ N}}{300337 \text{ N}} \right) = 39,02^\circ$$

$$F_{CD} = \frac{F_{BC}}{\sin(\theta_C)} = \frac{243385 \text{ N}}{\sin(39,02^\circ)} = 386573 \text{ N}$$

$$a_{CD} = \frac{F_{CD}}{b * f_{cdC}} = \frac{386573 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 12,793 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 91,572 \text{ mm}$$

$$\sigma_{1C} \leq f_{cdC} \text{ ok!}$$

$$u_2 = 2 * c + (n - 1) * s = 2 * \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} + \emptyset_h \right) + (2 - 1) * (a + \emptyset) = 2 * \left(25 \text{ mm} + \frac{12 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} \right) + 1 * (20 \text{ mm} + 12 \text{ mm}) = 110 \text{ mm}$$

$$\sigma_{2C} = \frac{F_{CE}}{b * u_2} = \frac{278891 \text{ N}}{330 \text{ mm} * 110 \text{ mm}} = 8,274 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq f_{cdC} \text{ ok!}$$

Solmuun D liittyy myös useasta suunnasta vetoraudoitus, joten puristuslujuus $f_{cdD} = f_{cdC}$ (kuvio 31). Solmussa on vain yksi puristusjännitys σ_{1D} , joka on sama kuin solmun C jännitys σ_{1C} . Vetovoima F_{DE} voidaan laskea kaavasta (54). Tämän ristikkomallin tapauksessa se on toisaalta $F_{DE} = F_{BC} = F_{Ed}$.

7.4.4 Haka raudoitukset

Voimia F_{BC} ja F_{DE} vastaan mitoitetaan hakaraidoitukset kaavasta (35).

$$A_{sBC} = A_{sDE} \geq \frac{F_{BC}}{f_{sd}} = \frac{243385 \text{ N}}{434,783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 560 \text{ mm}^2$$

B ja D välinen raudoitus jaetaan mitalle x_1 . D ja E välinen raudoitus voidaan jakaa suuremmalle alalle, kunhan raudoituksen painopiste pysyy solmussa D. Valitaan nyt raudoitemääräksi 2 hakaisia umpihakoja 6kpl T8 ($A_s = 603,6 \text{ mm}^2$) (kuvio 47).

Puristusvoimat F_{AB} ja F_{CD} vaativat halkaisuvoimia vastaan raudoituksen. Voima F_{AB} saadaan kaavasta (40). Halkaisuvoima T saadaan laskettua kaavasta (20). Kaavassa esiintyvä mitta H voidaan mitata esimerkiksi Autocadissa muodostamalla todellinen ristikkomalli tai laskemalla trigonometriaa ja tiedossa olevia mittoja hyödyntäen. Lopulliset raudoitukset saadaan kaavasta (35).

$$F_{AB} = \frac{F_{Ed}}{\sin(\theta_A)} = \frac{243385 \text{ N}}{\sin(46,084^\circ)} = 337869 \text{ N}$$

$$H_{AB} = \frac{z}{\sin(\theta_A)} = \frac{225,886 \text{ mm}}{\sin(46,084^\circ)} = 313,577 \text{ mm}$$

$$H_{CD} = \frac{h_k - d - \frac{u_2}{2}}{\sin(\theta_C)} = \frac{580 \text{ mm} - 259,667 \text{ mm} - \frac{110 \text{ mm}}{2}}{\sin(39,02^\circ)} = 421,434 \text{ mm}$$

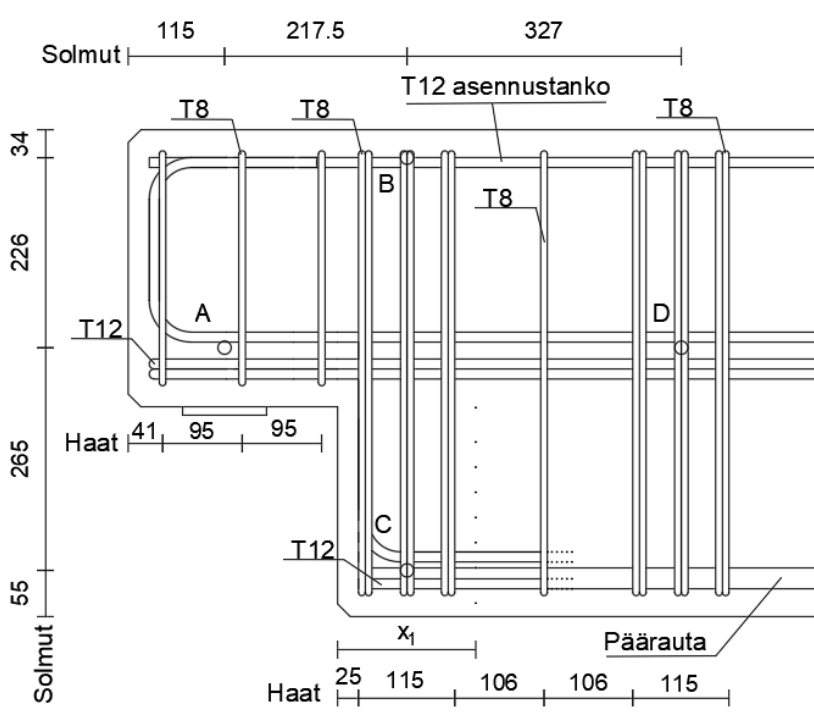
$$T_{AB} = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{H_{AB}} \right) F_{AB} = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{330 \text{ mm}}{313,577 \text{ mm}} \right) * 337869 \text{ N} = 22244 \text{ N}$$

$$T_{CD} = \frac{1}{4} \left(1 - 0,7 \frac{a}{H_{CD}} \right) F_{CD} = \frac{1}{4} * \left(1 - 0,7 * \frac{330 \text{ mm}}{421,434 \text{ mm}} \right) * 386573 \text{ N} = 43670 \text{ N}$$

$$A_{sAB} \geq \frac{T_{AB}}{f_{sd}} = \frac{22244 \text{ N}}{434,783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 52 \text{ mm}^2$$

$$A_{sCD} \geq \frac{T_{CD}}{f_{sd}} = \frac{43670 \text{ N}}{434,783 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 101 \text{ mm}^2$$

Lovipään ulokeosalle riittäisi halkaisuvoimien puolesta hakaraidoitteeksi 1 kpl kaksileikkeistä T8 umpihakaa, mutta asennuksen kannalta jaotellaan ulokkeeseen 3 kpl kaksileikkeisiä T8 umpihakoa ($A_s = 301,8 \text{ mm}^2$) (kuvio 47). Lisätään Solmujen C ja D välialueelle 1 kpl kaksileikkeistä T8 umpihakaa ($A_s = 101 \text{ mm}^2$) (kuvio 47). Näin varmistetaan puristuskaistan C-D kestävyys.



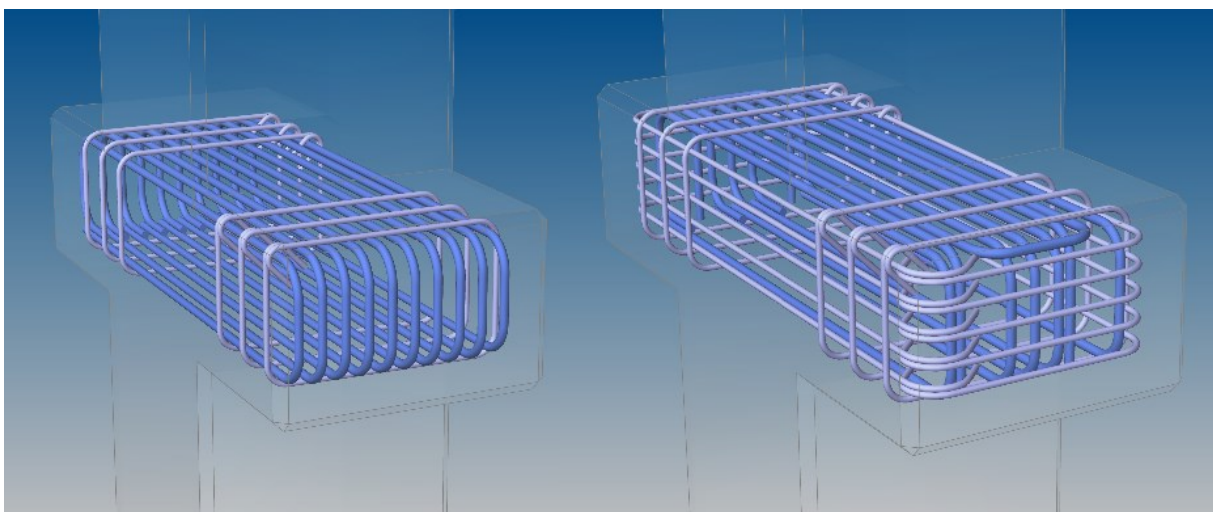
Kuvio 47. Raudoitusten asettelu.

8 RAUDOITTEIDEN VERTAILU

8.1 Konsolin vertailu

Konsolin raudoitteissa edellä oleva laskenta ja SKOL ry:n laskentapohja pääsivät raudoitemäärällisesti saamaan lopputulokseen 10 kpl T12 (liite 3). Laskentapohja käyttää lähes samaa ristikkomallia konsolin laskentaa, joten lopputulos ei ole yllättävä. Myös laskentapohja laskelmissa raudoitteen ankkurointi tuli määrääväksi tekijäksi.

Laskentapohjan oletuksena on, että raudoitteet toteutetaan useampileikkeisinä u-hakoina. Frami A rakennuksen konsolin raudoitemäärän vuoksi tämä ei ole mahdollista. Laskentapohja antaa kuitenkin määritellä raudoitteiden sijainnin lähtötiedoissa siten, että raudoitukset voidaan ajatella yhteen kerrokseen ja taivutettavaksi puristuspuolelle. Kuten aikaisemmin todettiin 10 kpl T12 raudoitteita ei mahdu yhteen kerrokseen. Laskentapohjassa raudoitteita ei voi sijoitella epätasaista määrää useamman kerroksen välillä, joten käsin laskenta esimerkin tapaa ei voida hyödyntää. Raudoitteita ei voida jakaa myöskään tasaisesti useampaan kerrokseen, koska laskentapohja rajoittaa raudoitteiden sijoittelun $\frac{1}{4}$ osaan konsolin korkeudesta. Konsolin mittatietoja jouduttaisiin siis muuttamaan, esimerkiksi konsolia voitaisiin hieman leventää. Laskentapohjan laskelmat löytyvät liitteestä 3.



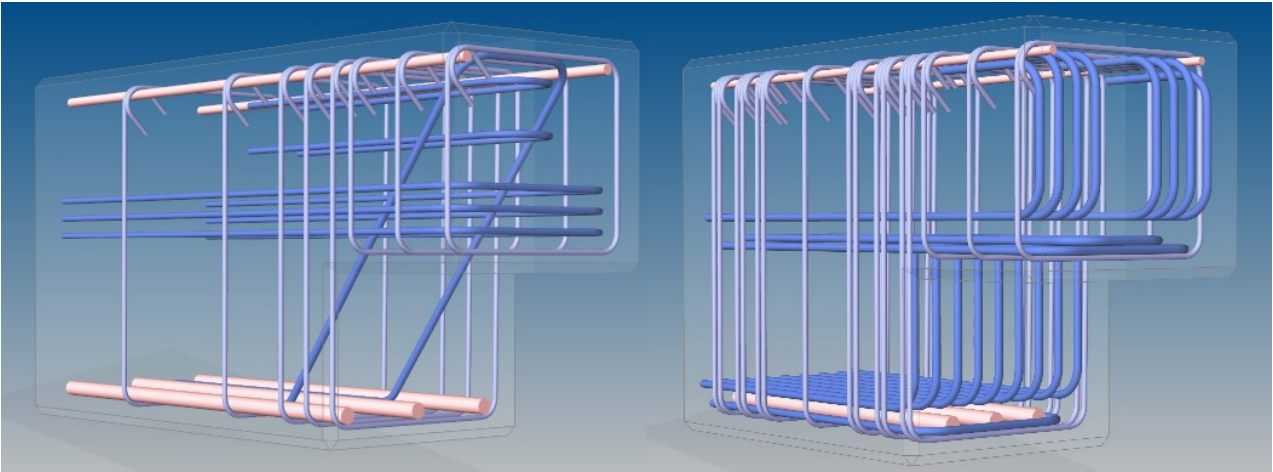
Kuvio 48. Esimerkilaskelman (vasen) ja todellisen raudoitteen (oikea) 3D kuva. Pääteräket sinisellä ja hakaraidoitus vaaleanlilalla.

Konsolin todellisen raudoitteen ja laskennan välille saatiin suurempi ero. Konsolissa on todellisuudessa 7 kpl T12 raudoitteita, kun taas eurokoodi laskennalla saadaan 10 kpl T12 raudoitteita (kuvio 48). Frami A on suunniteltu 2002 silloisen rakentamismääräyskokoelman B4 mukaisesti. Laskelmissa on ollut suuremmat varmuuskertoimet, joka on antanut momentin vaatimaksi raudoitukseksi noin 20 % enemmän kuin nykypäivän eurokoodi laskenta. Tämän lisäksi raudoitteiden ankkurointipituuden laskennassa on eroa. Rakentamismääräyskokoelman mukaisessa laskennassa ankkurointipituus ei tule määrääväksi raudoittemäärän kannalta. Todellisten raudoitteiden asettelu on rakentajainkalenteri (kuvio 12) tyylinen. Hakaraudoitus on toteutettu verkkona, jolla on todennäköisesti vähennetty konsolin pintahalkeilua (kuvio 48).

8.2 Lovetun palkinpään vertailu

Palkin kohdalla laskentapohja ja edellä oleva laskenta eroavat huomattavasti toisistaan. Laskentapohja vaatii 16 kpl T12 raudoitteita, kun taas esimerkkilaskelmassa saatiin 12 kpl T12 raudoitetta. Suurimmat selittävät tekijät ovat eroavaisuudet ristikkomallissa ja laskentapohjan tyyli laskea ankkuroitumista (liite 3). Pohja vertaa raudoitteissa olevaa maksimi-jännitystä ankkuroitumispituuden suoranosan jännityksen ja taivutuksen alussa olevan jännityksen summaan, eikä näin ota huomioon taivutuksen jälkeistä osuutta. Tämä laskentatapa tuottaa varmemmalla puolella olevan tuloksen.

Laskentapohjassa on useita rajoitteita, minkä vuoksi se ei sovellu täysin Frami A palkin mitoitukseen. Laskentapohja olettaa, että raudoitteet ovat aina jaettu symmetrisesti kerrokseen. Laskentapohjalla ei siis pysty laskemaan epätasaisesti aseteltuja raudoitteita, kuten edellä olevassa käsin laskennassa tehtiin. Tämän lisäksi laskentapohja rajoittaa raudoitteiden sijainnin $\frac{1}{4}$ konsolin korkeudesta, joten raudoitteita ei voida jakaa vielä useampaan kerrokseen. Lopputuloksena SKOL ry:n laskentapohjalla saadut raudoitteet eivät mahdu Frami A:n palkin sisälle, vaan tämän pohjan laskennalla palkin mittoja jouduttaisiin kasvattamaan. Liitteessä 3 oleva lopputulos täyttää siis laskentapohjan antamat reunaehdot, mutta ei ole toteutettavissa.



Kuvio 49. Todellisten raudoitteiden (vasen) ja esimerkkilaskelman (oikea) 3D kuva. Pääteräket sinisellä, hakaraudoitteet vaaleanlilalla ja työteräket/palkin pääteräket vaalean punaisella.

Ero todellisen raudoituksen ja edellä olevan laskennan välillä on suuri. Todellisten raudoitteiden laskennassa on todennäköisesti hyödynnetty rakentajainkalenterista löytyvää laskentamalli, missä osa voimista siirtyy vinohakaa pitkin palkin pääraudoitukselle (kuvio 49, liite 4). Näin tuen päällä oleva raudoitemäärä vähenee. Kyseisessä laskentamallissa ei myöskään mitoiteta palkin alareunaan erillisiä raudoitteita, vaan voimat siirtyvät suoraan palkin pääraudoitukselle. Tätä vinohakamallia voidaan eurokoodin mukaan hyödyntää nykyäänkin. Suurimman eron laskennan ja todellisten raudoitteiden välille tuo raudoituksen ankkuroitumisen laskenta vanhassa rakentamismääräyskokoelmassa B4 verrattuna eurokoodin laskentaan. Rakentamismääräyskokoelman tavalla ankkuroituminen ei ole tullut määrääväksi raudoitemäärän kannalta.

9 TULOKSET, YHTEENVETO JA POHDINTAA

9.1 Tulokset

Esimerkki laskelman, SKOL ry:n laskentapohjan ja oikean raudoituksen vertailulla saatiin hyvä käsitys lyhyiden ulokkeiden toimintaperiaatteesta. Frami A rakennuksen konsoliliitos ei ollut mitoitettavana kohteena suoraviivaisin, mikä toi esiin raudoitteiden yksityiskohtien suunnittelun tärkeyden. Vaikka tutkimus tehtiin tapaustutkimuksena, voidaan tuloksia myös yleistää saman tyyppisiin konsoleihin.

Konsoliliitoksen mitoitus on moniosainen prosessi, minkä helpottamiseksi suunnittelijat käyttävät SKOL ry:n laskentapohjan kaltaisia mitoitusohjelmia. Vertailun tuloksena huomattiin, että mitoitusohjilla on omat rajoitteensa, jotka saattavat suurentaa raudoitemääriä ja rakenteen mittoja. Toisaalta ymmärrys konsoliliitoksen toiminnasta auttaa myös laskentapohjan toiminnan ja rajoitteiden ymmärtämisessä ja laskentapohjan hyödyntämisessä. Laskentapohjaa voi olla vaikea käyttää, jos ei ole riittävä ymmärrystä teoriasta, johon se pohjautuu. SKOL ry:n laskentapohja ei esimerkiksi osaa ottaa huomioon liitokseen liittyviä yksityiskohtia, kuten liitoksessa olevan pultin vaatimaa tilaa tai raudoitteiden mahtumista poikkileikkaukseen, vaan tämä jää käyttäjän vastuulle.

Vertailusta kävi myös ilmi, että nykyinen eurokoodiin pohjautuva laskenta antaa suurempia raudoitemääriä kuin vanhaan rakentamismääräyskokoelmaan B4 pohjautuva laskenta (kuvio 48). Frami A tapauksessa syynä on ohjeitten erilainen tapa laskea ankkuroitumispi-tuutta. Tämä olisi hyvä muistaa vanhempien rakennusten kohdalla, kun tehdään esimerkiksi käyttötarkoituksen muutosta tai laajennus suunnittelua.

Lovetun palkinpään kohdalla vertailu todellisten raudoitusten ja käsin laskennan välillä kertoi enemmän erilaisten ristikkomallien eroista, kuin mitoitusohjeiden eroista (kuvio 49). Käsin laskenta olisikin mielenkiintoista suorittaa myös eurokoodin antamalla toisella ristikkomalli vaihtoehdolla. Todennäköistä on, että tämä malli soveltuu paremmin Frami A rakennuksen lovipään mitoitukseen, kuin esimerkissä käytetty malli. Työn tavoitteena oli kuitenkin selkeyttää oppilaille SKOL ry:n laskentapohjan käyttöä, joten esimerkin ristikkomalliksi valikoitui saman tyyppinen malli mitä laskentapohja käyttää.

9.2 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli koota yhteen alan kirjallisuudesta selkeä ohjeistus konsolin ja lovetun palkinpään mitoituksesta. Työn sisältöä voidaan tulevaisuudessa käyttää Seinäjoen ammattikorkeakoulun opetuksen tukena, jotta oppilaat ymmärtäisivät lyhyiden ulokkeiden teoriaa ja pystyisivät hyödyntämään SKOL ry:n laskentapohjaa paremmin. Tutkimusosassa mitoitettiin esimerkkinä Frami A rakennuksessa sijaitseva konsoliliitos, jota vertailtiin laskentapohjan tuloksiin ja todellisiin raudoitteisiin. Esimerkkilaskelman tueksi tehtiin myös vuokaaviot (liite 1 ja 2).

Frami A tapaus osoittautui ajateltua haastavammaksi mitoittaa, joka toisaalta toi hyvin esiin konsoliliitoksen yksityiskohtien suunnittelua ja syyn laskentapohjien käytölle suunnittelutoimistoissa. Esimerkkilaskelmassa hyödynnettiin edellä koottua ohjeistusta. Laskelman läpikäyminen kootun materiaalin kanssa syventää lukijan ymmärrystä liitoksen teoriasta huomattavasti.

Vertailussa saatiin selkeitä eroja käsin laskennan, laskentapohjan ja vanhojen raudoittekuvien välille. Lopputuloksena voidaan lyhyesti todeta, että eurokoodi pohjainen mitoitus antaa liitokseen enemmän raudoitusta kuin vanha rakentamismääräyskokoelmaan B4 pohjautuva laskenta. Tämän lisäksi huomattiin, että laskentapohjassa on tiettyjä rajoitteita raudoitteiden asettelun suunnittelun kannalta, joka Frami A tapauksessa vaatisi liitoksen päämittojen suurentamista.

Lovetussa palkinpäässä oli vanhoissa raudoittekuissa käytetty eri ristikkomallia kuin laskentapohjassa ja käsin laskennassa (liite 4). Tämän tyylinen ristikkomalli on edelleen eurokoodissa vaihtoehtona. Olisi mielenkiintoista vertailla vielä raudoittemääriä tämän ristikkomallin ja nyt esimerkissä käytetyn mallin välillä. Todennäköistä on, että vanhoissa raudoittekuissa käytetty malli sopii Frami A tapauksen mitoittamiseen paremmin.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry. (3.3.2009). *Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan: Osa 2 Betonirakenteiden suunnitteluperusteet*. https://www.eurocodes.fi/wp-content/uploads/1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperuste.pdf
- Betoniteollisuus ry. (20.3.2010). *Teräsbetonikonsolit*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22756/Ter%c3%a4sbetonikonsolit.pdf>
- Chan, T., & Mattock, A. (1979). *Design and Behaviour of Dapped-End Beams*. University of Washington. https://www.pci.org/PCI_Docs/Publications/PCI%20Journal/1979/November-1979/Design%20and%20Behavior%20of%20Dapped-End%20Beams.pdf
- Elementtisuunnittelu. (2023a). *Konsolit*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/pilarit/konsolit>
- Elementtisuunnittelu. (2023b). *Liitostyyppit*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/liitokset/liitosten-toiminta/liitostyyppit>
- Elementtisuunnittelu. (2023c). *Betonilujuudet*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/betonilujuudet>
- Elementtisuunnittelu. (29.2.2024). *Ontelolaatat*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>
- Hietanen, T. (18.5.2009). *Betoniteräkset: A500HW:lle vaihtokelpoinen hitsattava harjateräslaatu B500B*. Betonikeskus ry. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23566/Betonikeskus%20ry%20TIEDOTE%20B500B%5B1%5D.pdf>
- Leskelä, M. V. (2008a). *Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008: by 210* (2. p.). Suomen Betonitieto Oy.
- Leskelä, M. V. (2008b). Tekninen nurkka: kumilevylaakerien mitoittaminen RTL 0105 - mukaan. *Betoni*, 78(4), 68–71. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0804_s_68-71.pdf
- Nykyri, P. (2013). *Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013: Osa 1 by 211*. Suomen Betoniyhdistys ry.

- Punkki, J., Laaksonen, A., Lahdensivu, J., Paukku, E., Valjus, J., Tikkanen, J., Mattila, J., & Mantila, A. (2024). *Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu: opas suunnittelijoille 2024: by 68 (2.p.)*. Suomen Betoniyhdistys ry.
- Ruiz, M., & Muttoni, A. (1.7.2007). On Development of Suitable Stress Fields for Structural Concrete. *ACI Structural Journal*, 104(4), 495–502.
[https://www.researchgate.net/publication/37452056_On_Development_of_Suitable Stress Fields for Structural Concrete](https://www.researchgate.net/publication/37452056_On_Development_of_Suitable_Stress_Fields_for_Structural_Concrete)
- Saarinen, E. (2000). *Betonirakenteiden suunnittelu*. Teoksessa *Rakentajain kalenteri* (s. 518–639). Rakennustieto Oy.
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu (SeAMK). (i.a.). *SeAMKin toiminta*.
<https://www.seamk.fi/tietoa-seamkista/organisaatio/seamkin-toiminta/>
- SKOL ry. (28.1.2011). *B13 Konsolin ja palkin lovipään mitoitus 1.5*.
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto (RIL). (2017). *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat*. (RIL 201-1-2017). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- Suomen Standardisoimisliitto (SFS). (19.01.2015). *Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt (2. p.)*; *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings* (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC).
- Tikkanen, J. (2021). *Betoninormit 2021: by 65*. Suomen Betoniyhdistys ry.
- Valtanen, E. (2019). *Tekniikan taulukkokirja (22. p.)*. Genesis-kirjat Oy.

LIITTEET

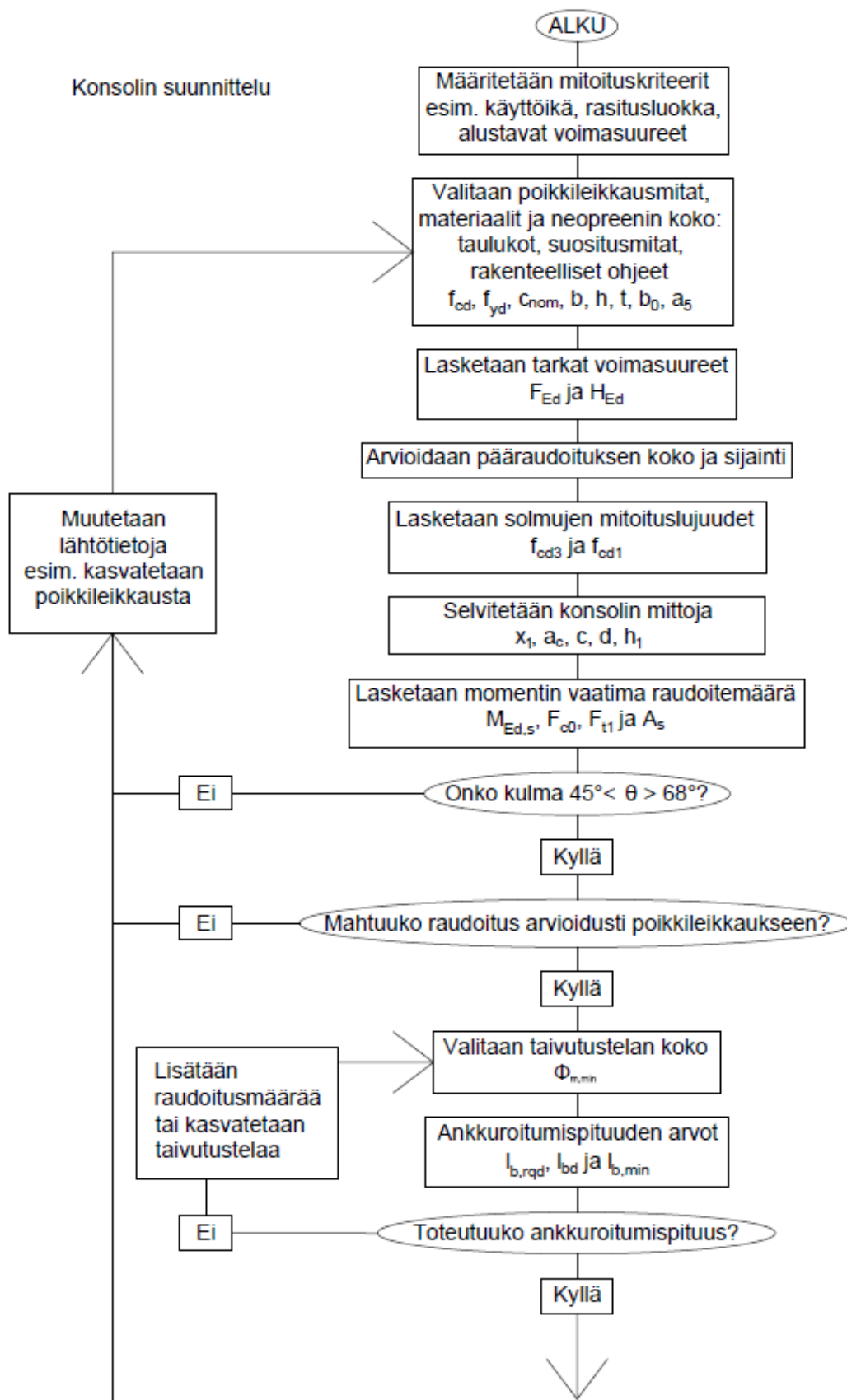
Liite 1. Konsolin suunnitteluvuokaavio

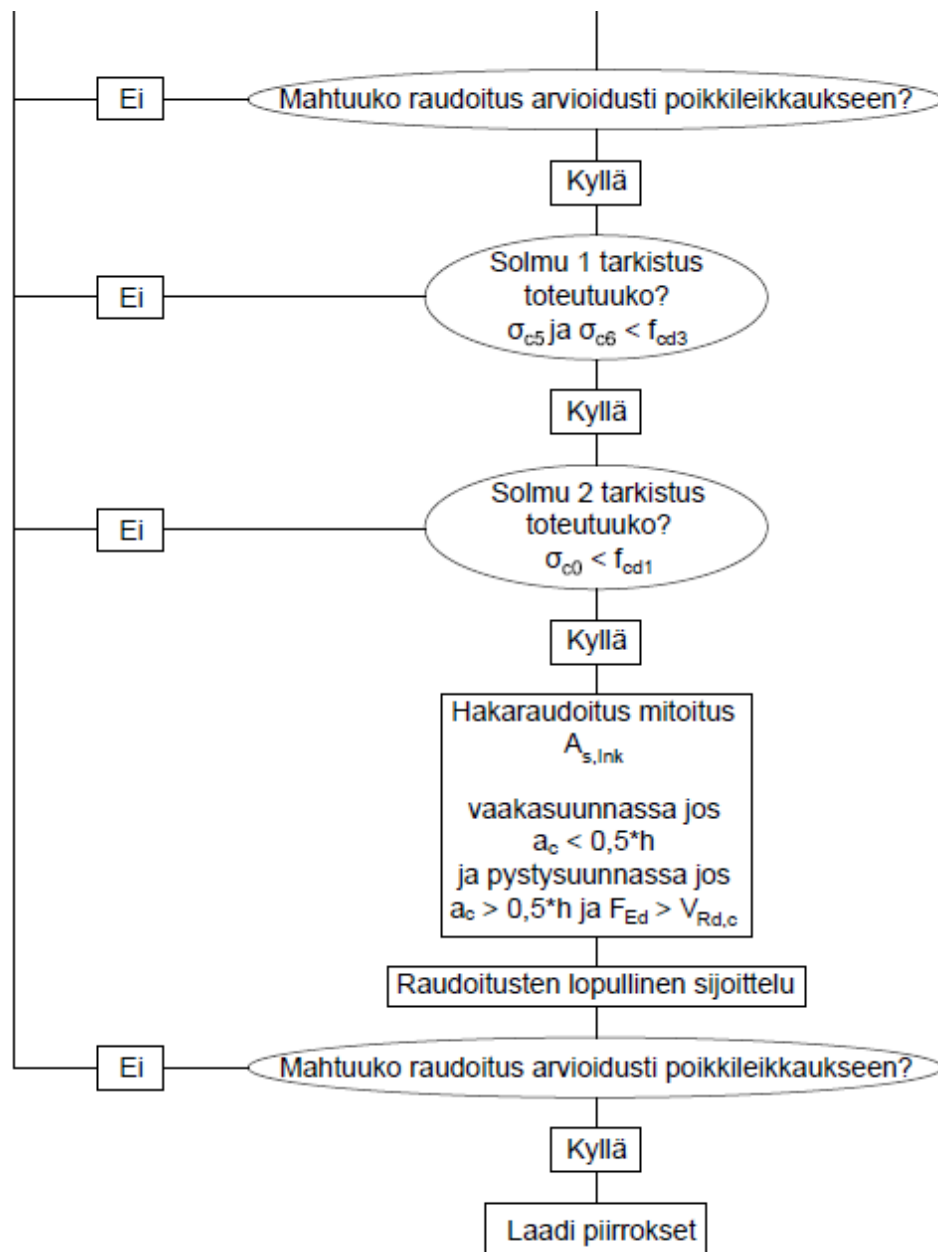
Liite 2. Lovetun palkinpään suunnitteluvuokaavio

Liite 3. Frami A laskelmat SKOL ry laskentapohjalla

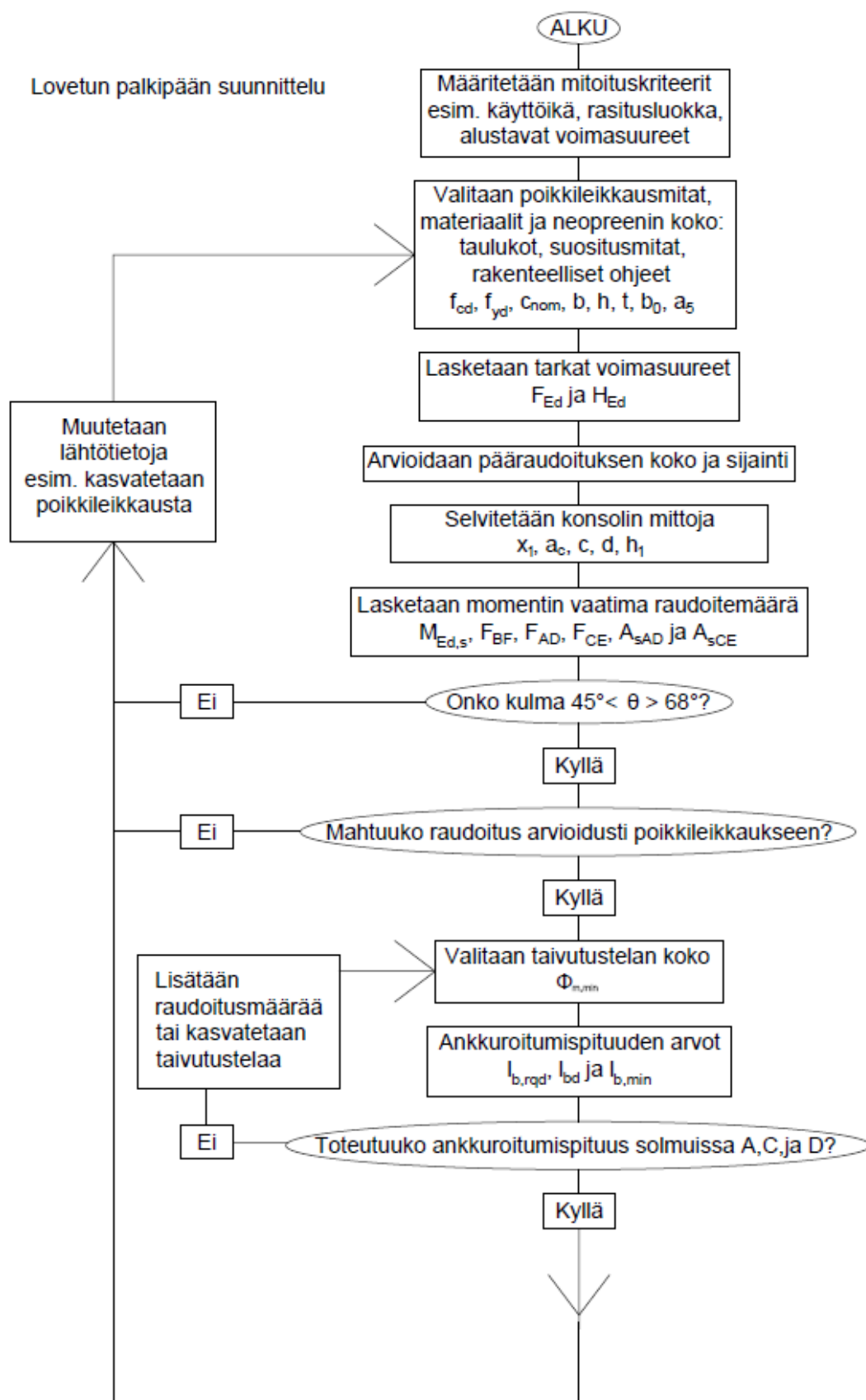
Liite 4. Lovetun palkinpään raudoitekuva

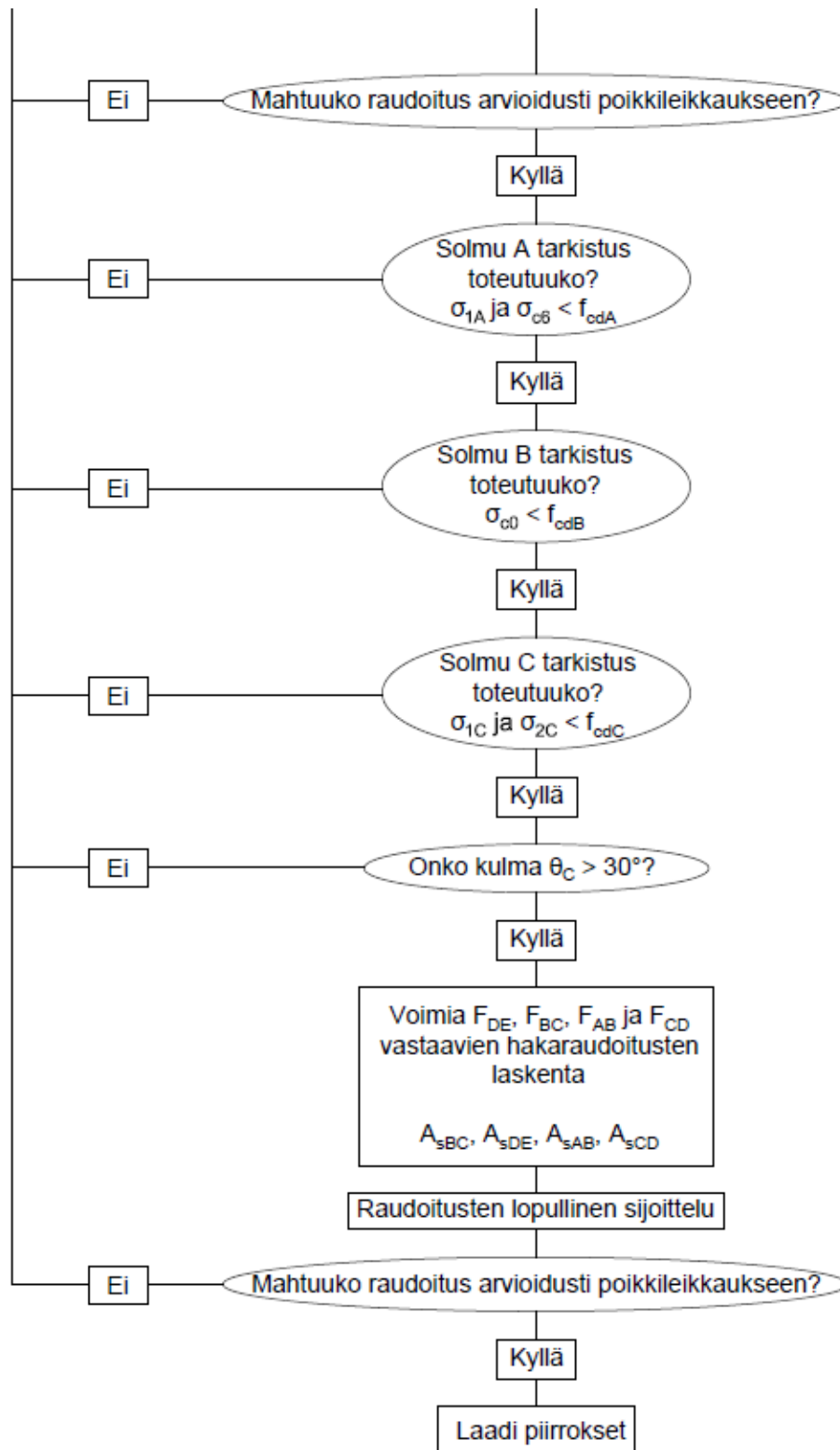
Liite 1. Konsolin suunnitteluvuokaavio





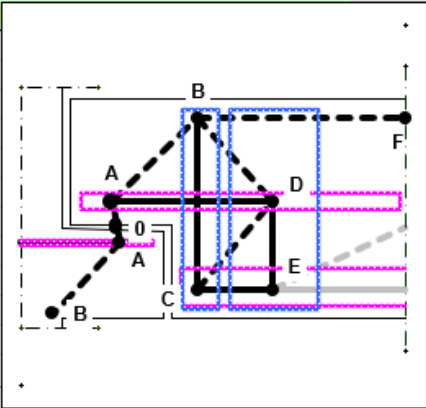
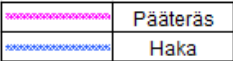
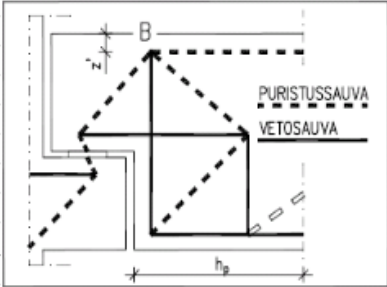


Liite 2. Lovetun palkinpään suunnitteluvuokaavio

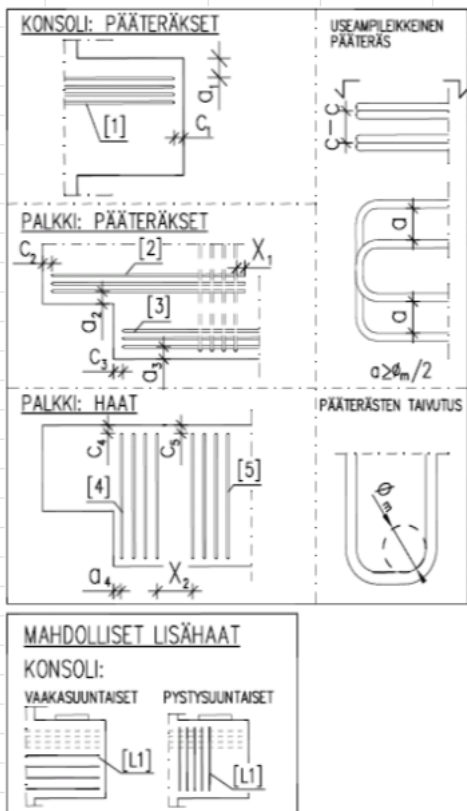




Liite 3. Frami A laskelmat SKOL ry laskentapohjalla

		Rakennelaskelma, lähtötiedot	
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 1 (1)
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus			Versio 1.5
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
Materiaalit		Rakenneosan mitat	
Konsoli:		Konsoli	
Betoni = C35/45 (K45) ...		$h_{0,k} = 240$ mm	
Teräs = A500HW ... Pääteräkset		$b_k = 480$ mm	
Teräs = A500HW ... Haat		$l_k = 250$ mm	
Rak.IK = 2-Luokka ...			
Palkki:		Palkki	
Betoni = C25/30 (K30) ...		$h_{0,p} = 330$ mm	
Teräs = A500HW ... Pääteräkset		$h_p = 580$ mm	
Teräs = A500HW ... Haat		$b_p = 480$ mm	
Rak.IK = 2-Luokka ...		$l_p = 250$ mm	
		$L_p = 5620$ mm	
		Tukipinta	
		$a_k = 135$ mm	
		$a_p = 135$ mm	
		$b' = 330$ mm	
		$l' = 100$ mm	
		Solmun B etäisyys palkin yläreunasta: $z' = 50$ mm	
			

Raudoitus:



Konsoli:

Pos. [1]

Määrä=	1 kpl	$c_1=$	25 mm	Leikkeitä/kpl=	10 ...
$T_1=$	12 mm	$\varnothing_m=$	76 mm		
$a_1=$	39 mm	c-c=	1 mm		

Palkki:

Pos. [2]

Määrä=	2 kpl	$c_2=$	25 mm	Leikkeitä/kpl=	8 ...
$T_2=$	12 mm	$\varnothing_m=$	76 mm	$X_1=$	200 mm
$a_2=$	39 mm	c-c=	32 mm		

Pos. [3]

Määrä=	2 kpl	$c_3=$	25 mm	Leikkeitä/kpl=	4 ...
$T_3=$	16 mm	$\varnothing_m=$	76 mm		
$a_3=$	44 mm	c-c=	80 mm		

Pos. [4]

Määrä=	3 kpl	$a_4=$	31 mm	c-c=	40 mm
$T_4=$	10 mm	$c_4=$	25 mm	Leikkeitä/kpl=	4 ...

Pos. [5]

Määrä=	3 kpl	$X_2=$	40 mm	c-c=	105 mm
$T_5=$	8 mm	$c_5=$	25 mm	Leikkeitä/kpl=	4 ...

Pos. [L1]

$T_6=$	8 mm	Leikkeitä/kpl=	3 ...
--------	------	----------------	-------

Tarkistukset ja Tulokset:

Konsoli:

Max käyttöaste=	1,00	OK
Betoni=	1,00	Solmu B
Raudoitus=	0,81	Sauva A-C ankkurimurto

Reunaehdot:

Ristikon sauvojen väliset kulmat=	OK
Lisähaat=	282 mm ² Pystysuuntaiset umpihaat

Palkki:

Max käyttöaste=	0,94	OK
Betoni=	0,84	Sauva D-C
Raudoitus=	0,94	Sauva A-D ankkurimurto

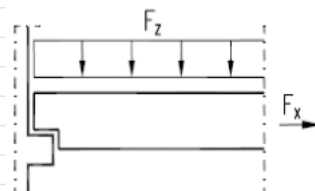
Reunaehdot:

Ristikon sauvojen väliset kulmat=	OK
Ristikkomallin soveltuvuus=	OK

Ominaiskuormat:

Seuraamusluokka = CC2 ... → $K_{F1} = 1$ Keskisuuret seuraamukset

		F_z [kN/m]	F_x [kN]
Palkin omapaino	G_{k0}	6,96	3,306
Pysyvä kuorma 1	G_{k1}	43,95	24,7
Pysyvä kuorma 2	G_{k2}		
Pysyvä kuorma 3	G_{k3}		
Pysyvä kuorma 4	G_{k4}		
Muuttuva kuorma 1	Q_{k1}	19,06	11,142
Muuttuva kuorma 2	Q_{k2}		
Muuttuva kuorma 3	Q_{k3}		
Muuttuva kuorma 4	Q_{k4}		



	ψ_0	
	1	
Muuttuva kuorma 2	0,7	Asuintila
Muuttuva kuorma 3	0,7	Kokoontumistila
Muuttuva kuorma 4	1	Varastotila

B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus	Versio 1.5
---	------------

Teräs

Osavarmuusluku, $\gamma_y =$		1,15	
Pääteräkset:		Haat	
	f_{yd}		f_{yd}
Tunnus	MN/m ²	Tunnus	MN/m ²
A500HW	435	A500HW	435

Betoni

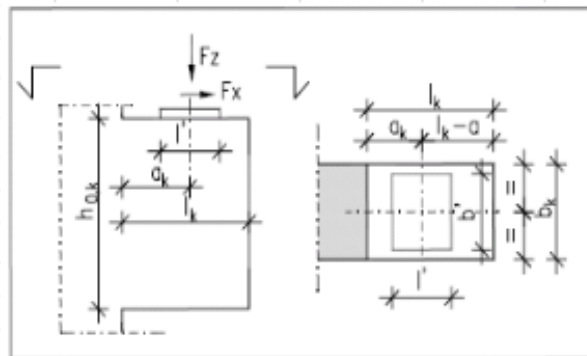
Osavarmuusluku, $\gamma_c =$		1,5		
	f_{ctd}	f_{ctd}	f_{ck}	$f_{ctk, 0,05}$
Tunnus	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²
C35/45 (K45)	19,83	1,50	35,00	2,25

Rakennosan mitat:**Konsolin mitat**

$h_{0,k} =$	240 mm
$b_k =$	480 mm
$l_k =$	250 mm

Tukialueen mitat

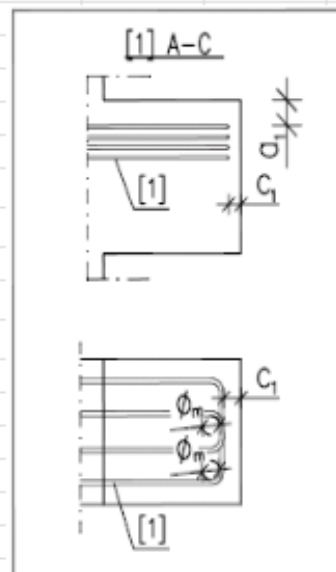
$a_k =$	135 mm
$b' =$	330 mm
$l' =$	100 mm

**Raudituksen mitat ja sijainti:****Pos [1]**

A-C		
Määrä=	1	kpl
T=	12	mm
$a_1 =$	39	mm
$c_1 =$	25	mm
Leikkeitä=	10	kpl/haka
$A_{s, tot} =$	1131	mm ²
$\phi_m =$	76	mm
c-c=	1	mm

Pos [L1]

T=	8	mm
Leikkeitä=	2	kpl/haka



Laskentakuormatyhdistelmät:

	F_{dx} [kN]	F_{dz} [kN]
ULS =	48,9199	244,854
SLS =	39,148	196,616

Laskenta ja mitoitus alka tästä:

Mitoitus:

Mitoituslaskennan lyhyt selitysteksti

Reunaehdot:		
$1 \leq \tan \Theta \leq 2,5$	1,19	OK
$a_x / z_0 =$	0,79	OK

Lisähaat:	
Pos. [L1]	Pystysuuntaiset umpihaat
Määrä=	3 kpl
T=	8 mm
Leikkeitä=	2

Sauvojen käyttöasteet		
A-B	0,86	OK
A-C	0,81	OK

Solmujen käyttöasteet		
A	0,48	OK
B	1,00	OK

Lasketaan tehollinen korkeus

d'	39 mm
d	201 mm

Lasketaan solmun A etäisyys pilarin reunasta

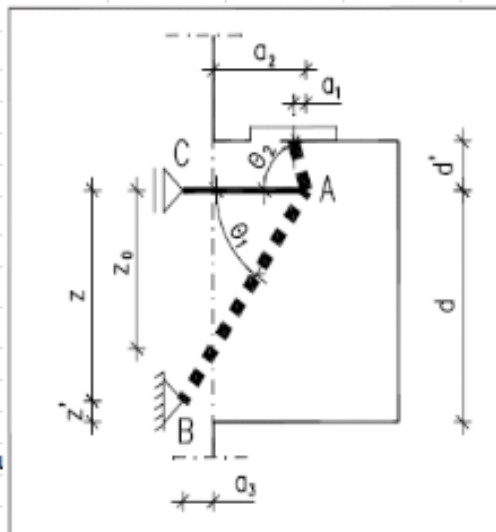
a_1	8 mm
a_2	143 mm

Lasketaan solmun B sijainti

a_3	15 mm
M_d	39 kNm
μ	0,1168
β	0,1245
z'	13 mm
z	188 mm

Lasketaan A-B:n ja A-C välinen k

$\tan \Theta_1 =$	1,19
$\Theta_1 =$	50,07 °
$\tan \Theta_2 =$	5,01
$\Theta_2 =$	78,70 °



$$a_2 = \frac{F_{dx}}{F_{d0}} \cdot d'$$

$$a_3 = a_1 + a_2$$

Tarkistetaan että solmu A on pääterästen sisäpuolella

$$(lk-a_2)-(c_1+T_{11})= 70 \text{ mm OK}$$

Lasketaan z_0

$$z_0 = 171 \text{ mm}$$

Lasketaan voimat ristikon sauvoissa

$$\text{A-C} = -254 \text{ kN}$$

$$\text{A-B} = 319 \text{ kN}$$

$$\text{A-0} = 250 \text{ kN}$$

Solmujen perusgeometria

	Leveys	Korkeus
A	100 mm	28 mm
B	30 mm	25 mm

Solmuihin liittyvien sauvojen mitat

	1	2
Solmu	mm	mm
A	95	104
B	39	

Puristusjännitykset solmujen A ja B reunoilla

	$\sigma_{Rd,1}$	$\sigma_{Rd,2}$	$\sigma_{Rd,3}$
A	7 MPa	5 MPa	
B	17 MPa	17 MPa	17 MPa

Vetojännitykset

$$\text{A-C} = -224 \text{ MPa}$$

Lasketaan suurimmat sallitut jännitykset

$$\nu = 0,86 \quad (6.57 [N])$$

Betoninen puristuskaista jossa ei esiinny poikittaista vetoa:

$$\sigma_{Rd,max} = 20 \text{ MPa} \quad (6.55)$$

Puristettu solmu:

$$\sigma_{Rd,max} = 17 \text{ MPa} \quad (6.60)$$

$$k_1 = 1$$

$$a_2 = F_{Rd} / (b \cdot \sigma_{Rd,max})$$

$$M_d = F_{Rd} \cdot (a + a_2)$$

$$\mu = \frac{M_d}{d^2 \cdot \sigma_{Rd,max} \cdot b}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$$

$$z' = d \cdot \beta / 2$$

$$z = d - z'$$

$$\tan \theta = \frac{z}{a_2 + a_1}$$

$$z_0 = z - \tan \theta \cdot a_1$$

Puristettu solmu:	
$\sigma_{Rd,max}$	17 MPa (6.60)
k_1	1

Puristettu ja vedetty solmu:	
$\sigma_{Rd,max}$	14 MPa (6.61)
k_2	0,85

Vaakasuuntaiset umpihaat

Ei hakoja

$A_{s,lnk}$	
k_1	0,25

Pystysuuntaiset umpihaat

Lisätään haat

$A_{s,lnk}$	282 mm ²
k_2	0,5

$V_{rd,c}$	0,072 MN (6.2a)
------------	-----------------

$V_{rd,c}$	0,049 MN (6.2b)
------------	-----------------

$V_{rd,c}$	72 kN
------------	-------

V_{min}	0,585 MN
-----------	----------

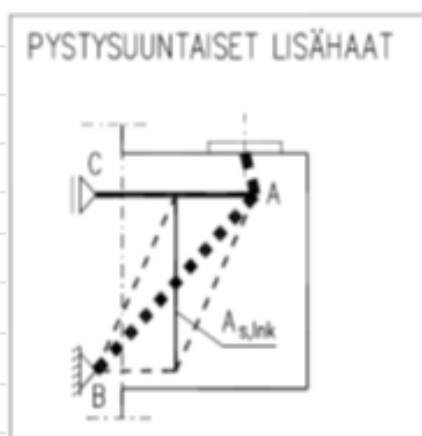
k	2,0
-----	-----

$C_{Rd,c}$	0,12
------------	------

ρ_l	0,0117
----------	--------

σ_{cp}	-507 kPa
---------------	----------

k_1	0,15
-------	------



Valitaan lisähaat:

Pystysuuntaiset umpihaat

Määrä	3 kpl
-------	-------

T	8 mm
---	------

Leikkeitä/kpl	2
---------------	---

Terästen ankkurointi

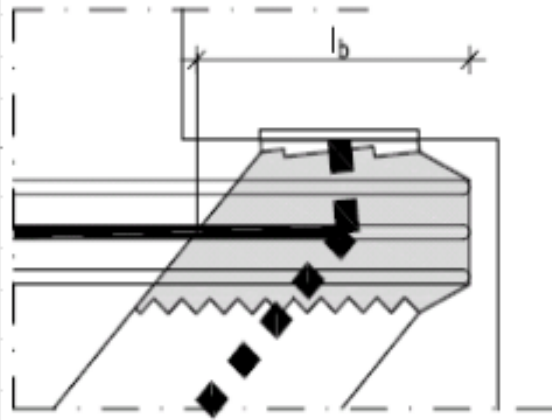
Sauva A-C Solmuun A

Voima taivutuksen alkaessa

$a_b =$	39 mm
$F_{bt} =$	22 kN
$\sigma_{bt} =$	198 MPa

Suora osa

$l_b =$	102 mm
$\eta_1 =$	0,7
$\eta_2 =$	1
$f_{bd} =$	2 MPa
$\alpha_1 =$	1
$\alpha_2 =$	1
$\alpha_3 =$	1
$\alpha_4 =$	1
$\alpha_5 =$	1
$\sigma_{sd} =$	80 MPa



Suurin sallittu jännitys

$\sigma_{max} =$	278 MPa
------------------	---------

B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus

Versio 1.5

Teräs

Osavarmuusluku, $\gamma_{M2} = 1,15$

Pääteräkset:

Haat:

	f_{yd}		f_{yd}
Tunnus	MN/m ²	Tunnus	MN/m ²
A500HW	435	A500HW	435

Betoni

Osavarmuusluku, $\gamma_{M1} = 1,5$

	f_{cd}	f_{ctd}	f_{ck}	$f_{ct,0.05}$
Tunnus	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²	MN/m ²
C25/30 (K30)	14,17	1,20	25,00	1,80

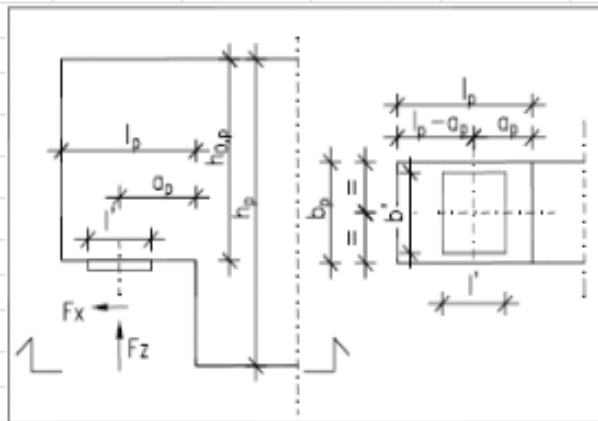
Rakennosan mitat:

Palkin mitat

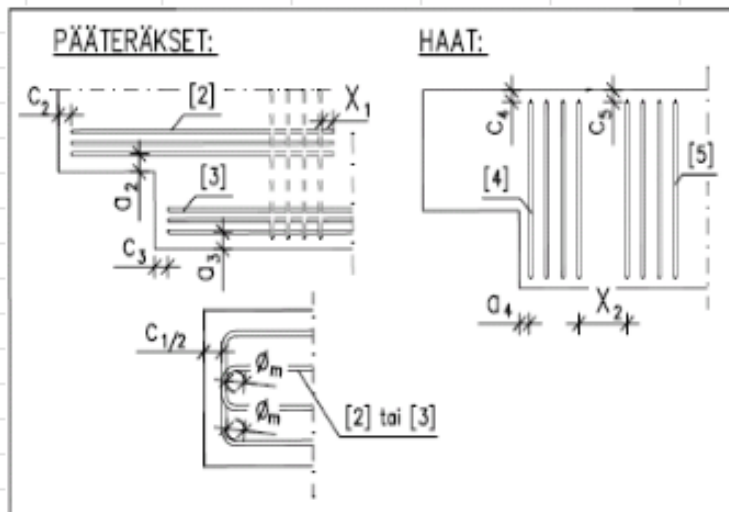
$h_{op} =$	330 mm
$h_p =$	580 mm
$b_p =$	480 mm
$l_p =$	250 mm

Tukialueen mitat

$a_p =$	135 mm
$b' =$	330 mm
$l' =$	100 mm



Raudituksen mitat ja sijainti:



Pos. [2]	A-D		Pos. [3]	C-E	
Määrä	2	kpl	Määrä	2	kpl
T ₂	12	mm	T ₃	16	mm
a ₂	39	mm	a ₃	36	mm
c ₂	25	mm	c ₃	25	mm
As.leike	113	mm ²	As.leike	201	mm ²
Leikkeitä	8	kpl	Leikkeitä	4	kpl
As.haka	905	mm ²	As.haka	804	mm ²
As.tot	1810	mm ²	As.tot	1608	mm ²
φ _m	76	mm	φ _m	76	mm
c-c	32	mm	c-c	80	mm
X ₁	200	(Pituus solmun D päättymisen jälkeen)			
Pos. [4]	B-C		Pos. [5]	D-E	
T ₄	10	mm	T ₅	8	mm
c-c	40	mm	c-c	105	mm
Leikkeitä	4	kpl/haka	Leikkeitä	4	kpl/haka
Määrä	3	kpl	c ₅	25	mm
a ₄	26	mm	Määrä	3	kpl
c ₄	25	mm	As.haka	201	mm ²
As.haka	314	mm ²	X ₂	40	mm
As.tot	942	mm ²	As.tot	603	mm ²
Laskentakuormatyhdistelmät:					
		F _{dx} [kN]	F _{dx} [kN]		
	ULS =	48,9199	244,854		
	SLS =	39,148	196,616		

Laskenta ja mitoitus alka tästä:

Mitoitus:

Käyttöasteet ja reunaehdot

Sauvat		Vetosauvat		Solmut		Sauvojen väliset kulmat	
A-B	0,51 OK	A-D	0,94 OK	A	0,54 OK	$\theta_1 =$	45,77 ok
B-F	0,56 OK	B-C	0,74 OK	B	0,73 OK	$\theta_2 =$	51,79 OK
D-C	0,84 OK	C-E	0,70 OK	C	0,67 OK	$\theta_3 =$	49,81 OK
D-B	0,20 OK	D-E	0,93 OK	D	0,38 OK	$\theta_4 =$	78,70 OK
				E	OK		
				F	0,62 OK		

Lasketaan tehollinen korkeus

Sauva A-D

d'	61 mm
d	269 mm
$A_s \text{ tot}$	1810 mm ²

Sauva C-E

d'	76 mm
d	504 mm
$A_s \text{ tot}$	1810 mm ²

a_1	12 mm
-------	-------

a_2	147 mm	A:n etäisyys reunasta
-------	--------	-----------------------

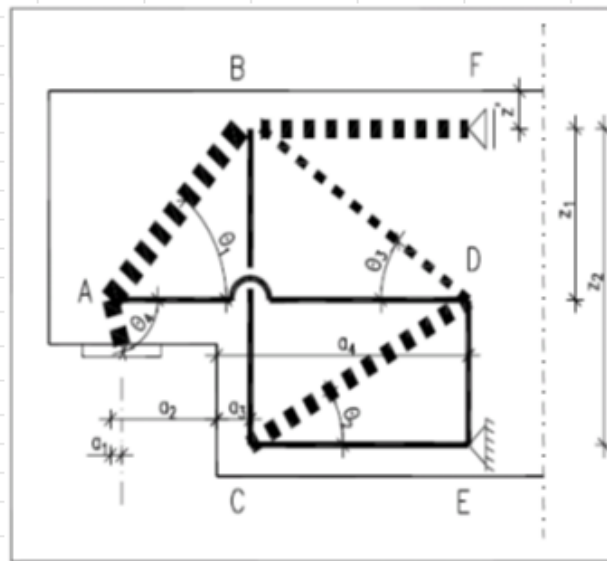
a_3	66 mm	B-C:n etäisyys reunasta
-------	-------	-------------------------

a_4	251 mm	D-E:n etäisyys reunasta
-------	--------	-------------------------

$z' =$	50 mm
--------	-------

$z_1 =$	219 mm
---------	--------

$z_2 =$	454 mm
---------	--------



Lasketaan sauvavoimat					
-Negatiivinen vetoa, positiivinen puristusta					
Voiman Fx aiheuttamat voimat sauvoihin			Voiman Fz aiheuttamat voimat sauvoihin		
A-B			A-B	342 kN	
A-D	-48,92 kN		A-D	-238 kN	
B-F	-25,32 kN		B-F	215 kN	
C-E	-23,60 kN		C-E	-215 kN	
D-C	38,15 kN		D-C	347 kN	
D-B	39,24 kN		D-B	37 kN	
B-C	-29,98 kN		B-C	-273 kN	
D-E			D-E	-245 kN	
SAUVOJEN VOIMAT					
A-B	342 kN	ok			
A-D	-287 kN	ok			
B-F	189 kN	ok			
C-E	-238 kN	ok			
D-C	385 kN	ok			
D-B	76 kN	ok			
B-C	-303 kN	ok			
D-E	-245 kN	ok			
A-0	250 kN	ok			
OK					
Lasketaan sauvojen väliset kulmat ja tarkistetaan että ne täyttävät annetut vaatimukset (fib bulleting 3)					
Sauvojen väliset kulmat					
D-A	A-B	$\tan \theta_1 =$	1,03	$\theta_1 =$	45,77 °
E-C	C-D	$\tan \theta_2 =$	1,27	$\theta_2 =$	51,79 °
A-D	D-B	$\tan \theta_3 =$	1,18	$\theta_3 =$	49,81 °
0-A	A-D	$\tan \theta_4 =$	5,01	$\theta_4 =$	78,70 °

Lasketaan jännitykset sauvoissa ja solmuissa

Solmujen perusgeometria

	Leveys	Korkeus
A	100 mm	71 mm
B	90 mm	50 mm
C	82 mm	97 mm
D	218 mm	82 mm
E	218 mm	-
F	-	50 mm

Solmuihin liittyvien sauvojen mitat

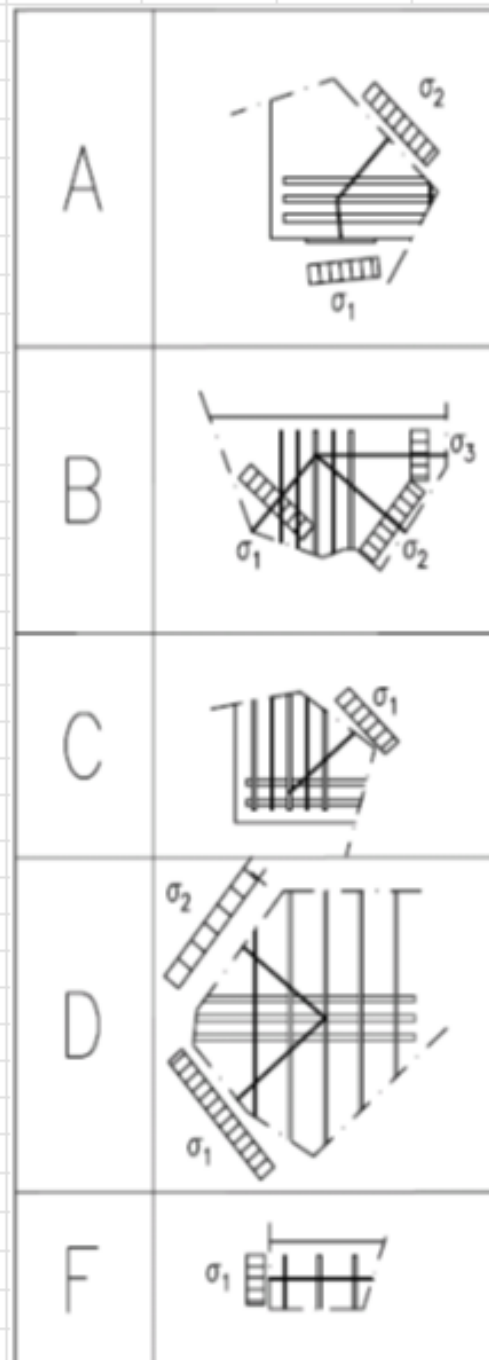
Solmu	1	2	3
A	112 mm	121 mm	-
B	99 mm	101 mm	50 mm
C	124 mm	-	-
D	219 mm	222 mm	-
E	-	-	-
F	50 mm	-	-

Puristusjännitykset solmujen reunoilla

Solmu	σ_{Rd1}	σ_{Rd2}	σ_{Rd3}
A	5 MPa	6 MPa	-
B	7 MPa	2 MPa	8 MPa
C	6 MPa	-	-
D	4 MPa	1 MPa	-
E	-	-	-
F	8 MPa	-	-

Vetojännitykset

A-D	-159 MPa
B-C	-321 MPa
C-E	-148 MPa
D-E	-406 MPa



Lasketaan suurimmat sallitut jännitykset

$V=$	0,9	(6.57 [N])
------	-----	------------

Betoninen puristuskaista jossa ei esiinny poikittaista vetoa:

$\sigma_{Rd,max}=$	14 MPa	(6.55)
--------------------	--------	--------

Betoninen puristuskaista jossa voi esiintyä poikittaista vetoa:

$\sigma_{Rd,max}=$	8 MPa	(6.56)
--------------------	-------	--------

Puristettu solmu:

$\sigma_{Rd,max}=$	13 MPa	(6.60)
--------------------	--------	--------

$k_1=$	1
--------	---

Puristettu ja vedetty solmu:

$\sigma_{Rd,max}=$	11 MPa	(6.61)
--------------------	--------	--------

$k_2=$	0,85
--------	------

Puristettu ja vedetty solmu, johon liittyy kahden suunnan vetoraudoitus:

$\sigma_{Rd,max}=$	10 MPa	(6.62)
--------------------	--------	--------

$k_3=$	0,75
--------	------

Lasketaan tukireaktiot ja tarkistetaan että kuormien ja tukireaktioiden summa on nolla.

Tukireaktiot			Kuormien ja tukireaktioiden summa		
Solmu	Fx	Fz	$\Sigma=$	Fx	Fz
E	-238 kN	-245 kN			
F	189 kN				

Tarkistetaan terästen ankkurointi

Sauva A-D

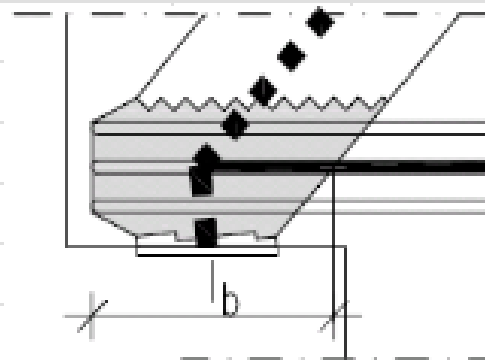
Solmuun A

Voima taivutuksen alkaessa

$a_b =$	16 mm
$F_{bt} =$	10 kN
$\sigma_{bt} =$	91 MPa

Suora osa

$l_b =$	125 mm
$\eta_1 =$	0,7
$\eta_2 =$	1
$f_{bd} =$	2 MPa
$\alpha_1 =$	1
$\alpha_2 =$	1
$\alpha_3 =$	1
$\alpha_4 =$	1
$\alpha_5 =$	1
$\sigma_{sd} =$	78 MPa



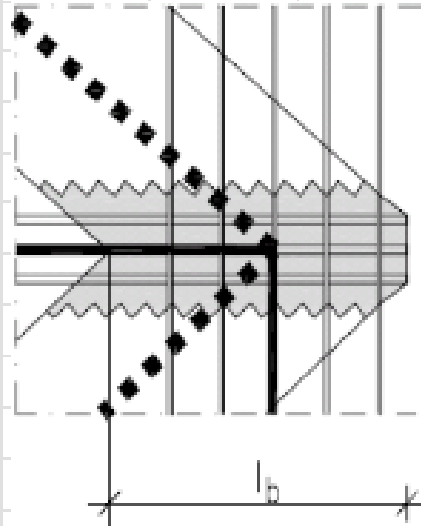
Suurin sallittu jännitys

$\sigma_{max} =$	170 MPa
------------------	---------

Sauva A-D
Solmuun D

Suora osa

$l_b =$	450 mm
$\eta_1 =$	0,7
$\eta_2 =$	1
$f_{bd} =$	2 MPa
$\alpha_1 =$	1
$\alpha_2 =$	1
$\alpha_3 =$	1
$\alpha_4 =$	1
$\alpha_5 =$	1
$\sigma_{sd} =$	283 MPa



Suurin sallittu jännitys

$\sigma_{max} =$	283 MPa
------------------	---------

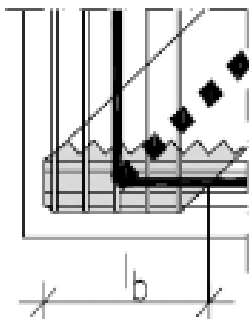
Sauva C-E
Solmuun C

Voima taivutuksen alkaessa

$a_b =$	36 mm
$F_{bt} =$	18 kN
$\sigma_{bt} =$	161 MPa



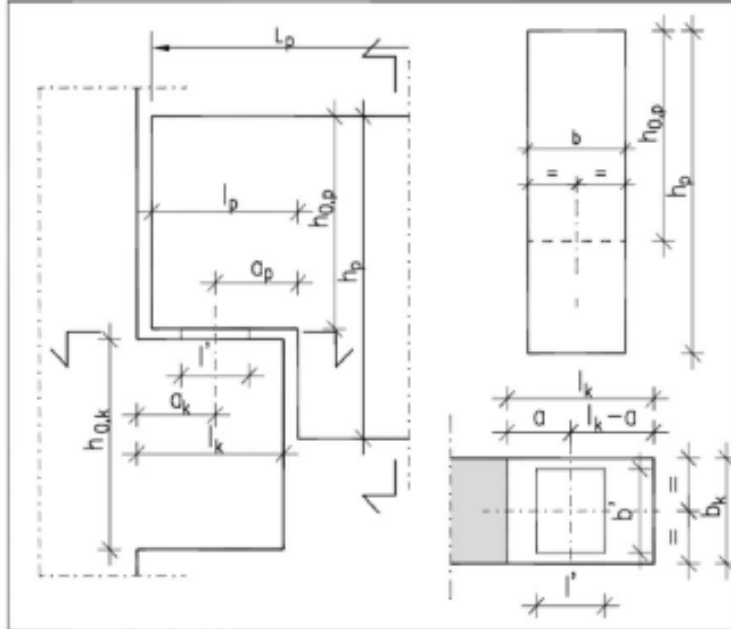
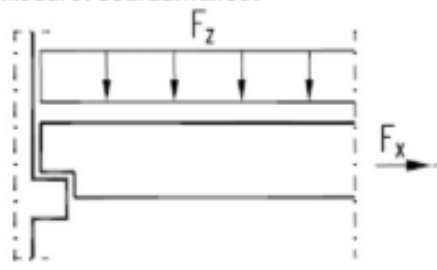
Suora osa


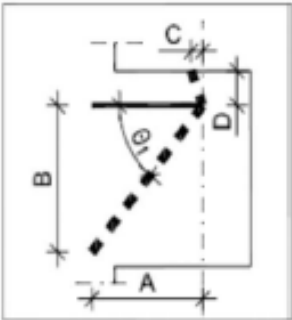
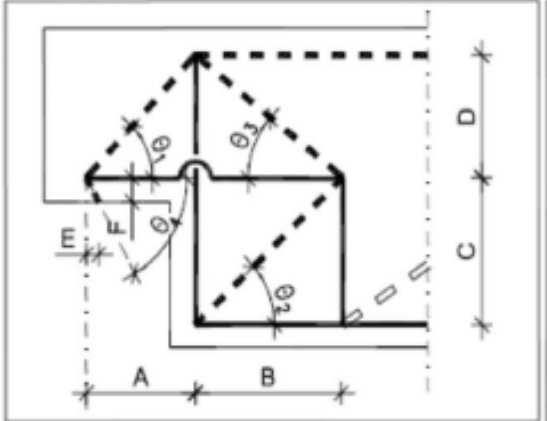
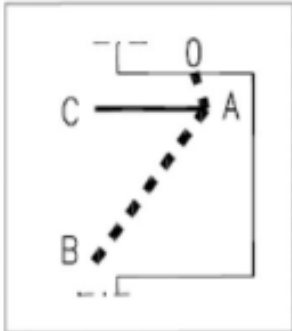
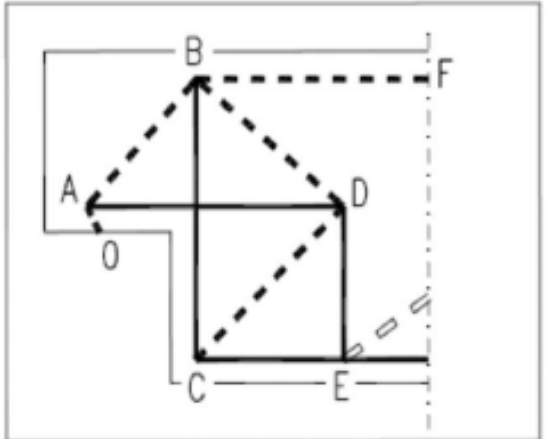
$l_b =$	104 mm
$\eta_1 =$	0,7
$\eta_2 =$	1
$f_{bd} =$	2 MPa
$\alpha_1 =$	1
$\alpha_2 =$	1
$\alpha_3 =$	1
$\alpha_4 =$	1
$\alpha_5 =$	1
$\sigma_{sd} =$	49 MPa


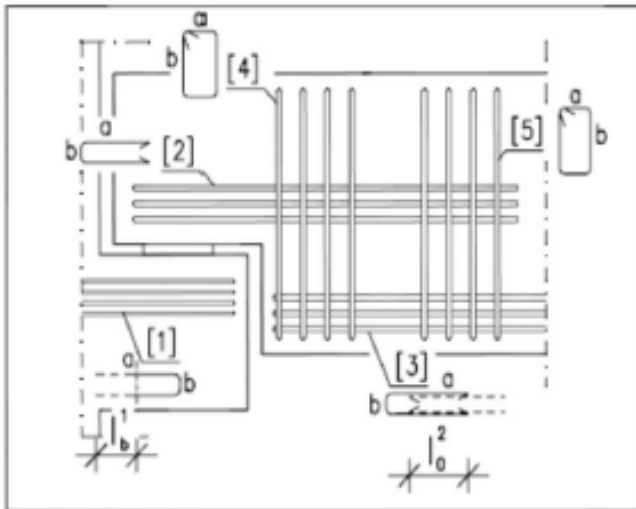



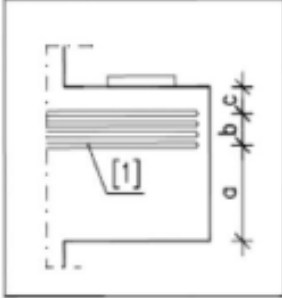
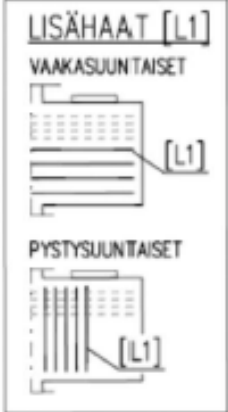
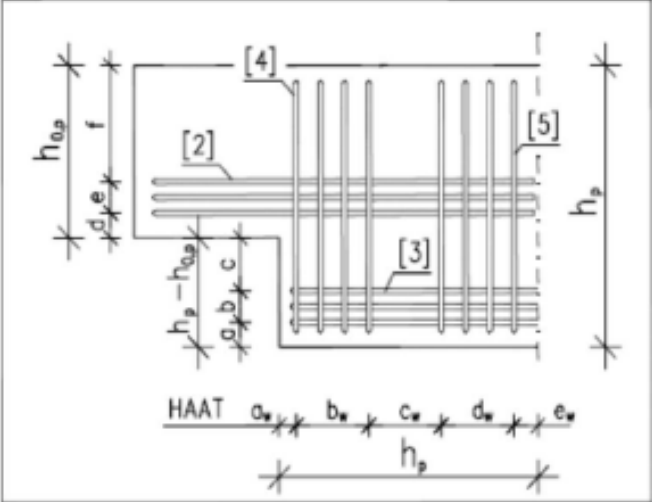
Suurin sallittu jännitys


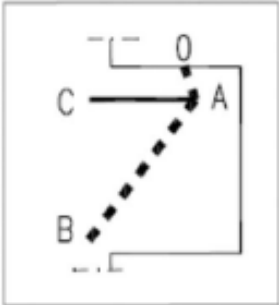
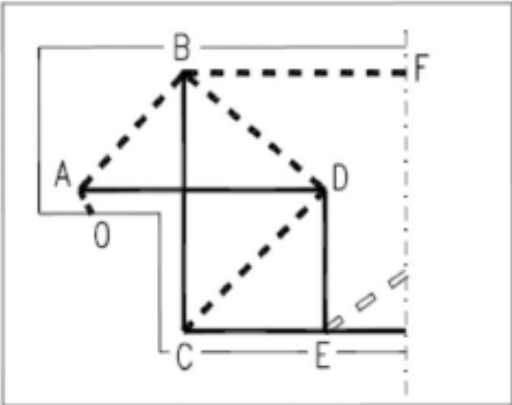
$\sigma_{max} =$	210 MPa
------------------	---------


		Rakennelaskelma, tulos	
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 1 (7)
Rakennuskohde:		Työ no:	Sisältö:
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus		Versio 1.5	
 Toteutettu SKOL Eurocode-laskentapohjahankkeessa 2008-2011			
Materiaalit:			
Konsoli:			
Betoni =	C35/45 (K45)		
Teräs =	A500HW	Pääteräkset	
Teräs =	A500HW	Haat	
Rak.lk. =	2-Luokka		
Palkki:			
Betoni =	C25/30 (K30)		
Teräs =	A500HW	Pääteräkset	
Teräs =	A500HW	Haat	
Rak.lk. =	2-Luokka		
Rakenneosan mitat:			
Konsoli	$h_{0,k} = 240 \text{ mm}$		
	$b_k = 480 \text{ mm}$		
	$l_k = 250 \text{ mm}$		
Palkki	$h_{0,p} = 330 \text{ mm}$		
	$h_p = 580 \text{ mm}$		
	$b_p = 480 \text{ mm}$		
	$l_p = 250 \text{ mm}$		
	$L_p = 5620 \text{ mm}$		
Tukipinta	$a_k = 135 \text{ mm}$		
	$a_p = 135 \text{ mm}$		
	$b' = 330 \text{ mm}$		
	$l' = 100 \text{ mm}$		
			
Kuormitukset:			
Seuraamusluokka =	CC2	$\rightarrow K_{FI} = 1$	Keskisuuret seuraamukset
Pysyvät kuormat, $G_k =$	$F_z \text{ [kN/m]}$	$F_x \text{ [kN]}$	
	50,91	28,006	
Muuttuvat kuormat, $Q_k =$	19,06	11,142	
			
Murtorajatila =	$F_{dx} \text{ [kN]}$	$F_{dz} \text{ [kN]}$	
	48,9	244,9	
Käyttöraajatila =	39,1	196,6	


		Rakennelaskelma, tulos																																		
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 2 (7)																																	
Rakennuskohde:		Työ no:	Sisältö:	Sijainti:																																
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus		Versio		1.5																																
Laskennassa käytettävä ristikkomalli:																																				
<p>VETOSAUVA PURISTUSSAUVA</p> 																																				
<p>Konsoli:</p> <p>$\theta_1 = 50,07^\circ$</p> <table border="1"> <tr><td>A=</td><td>158 mm</td></tr> <tr><td>B=</td><td>188 mm</td></tr> <tr><td>C=</td><td>8 mm</td></tr> <tr><td>D=</td><td>39 mm</td></tr> </table>		A=	158 mm	B=	188 mm	C=	8 mm	D=	39 mm	<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>$\theta_1 =$</td><td>45,77°</td><td>A=</td><td>213 mm</td></tr> <tr><td>$\theta_2 =$</td><td>51,79°</td><td>B=</td><td>185 mm</td></tr> <tr><td>$\theta_3 =$</td><td>49,81°</td><td>C=</td><td>235 mm</td></tr> <tr><td>$\theta_4 =$</td><td>78,70°</td><td>D=</td><td>219 mm</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>E=</td><td>12 mm</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>F=</td><td>61 mm</td></tr> </table>			$\theta_1 =$	45,77°	A=	213 mm	$\theta_2 =$	51,79°	B=	185 mm	$\theta_3 =$	49,81°	C=	235 mm	$\theta_4 =$	78,70°	D=	219 mm			E=	12 mm			F=	61 mm
A=	158 mm																																			
B=	188 mm																																			
C=	8 mm																																			
D=	39 mm																																			
$\theta_1 =$	45,77°	A=	213 mm																																	
$\theta_2 =$	51,79°	B=	185 mm																																	
$\theta_3 =$	49,81°	C=	235 mm																																	
$\theta_4 =$	78,70°	D=	219 mm																																	
		E=	12 mm																																	
		F=	61 mm																																	
Sauvavoimat:																																				
<p>VETOSAUVA PURISTUSSAUVA</p> 																																				
<p>Konsoli:</p> <table border="1"> <tr><td>A-C =</td><td>-254 kN</td></tr> <tr><td>A-B =</td><td>319 kN</td></tr> <tr><td>A-O =</td><td>250 kN</td></tr> </table>		A-C =	-254 kN	A-B =	319 kN	A-O =	250 kN	<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>A-B =</td><td>342 kN</td><td>D-C =</td><td>385 kN</td></tr> <tr><td>A-D =</td><td>-287 kN</td><td>D-B =</td><td>76 kN</td></tr> <tr><td>B-F =</td><td>189 kN</td><td>B-C =</td><td>-303 kN</td></tr> <tr><td>C-E =</td><td>-238 kN</td><td>D-E =</td><td>-245 kN</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>A-O =</td><td>250 kN</td></tr> </table>			A-B =	342 kN	D-C =	385 kN	A-D =	-287 kN	D-B =	76 kN	B-F =	189 kN	B-C =	-303 kN	C-E =	-238 kN	D-E =	-245 kN			A-O =	250 kN						
A-C =	-254 kN																																			
A-B =	319 kN																																			
A-O =	250 kN																																			
A-B =	342 kN	D-C =	385 kN																																	
A-D =	-287 kN	D-B =	76 kN																																	
B-F =	189 kN	B-C =	-303 kN																																	
C-E =	-238 kN	D-E =	-245 kN																																	
		A-O =	250 kN																																	

		Rakennelaskelma, tulos					
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 3 (7)				
Rakennuskohde:		Työ no:	Sisältö:		Sijainti:		
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus					Versio		
Valittu rauditus:							
			<p>¹⁾ Kun pilarissa vaikuttava pystykuorma on "suuri" rauditus ankkuroidaan rakenteen vastakkaiselle puolelle ja ankkurointipituus mitataan etupuolella olevan pystyraudoituksen sijainnista.</p> <p>Kun pilarissa vaikuttava pystykuorma on "pieni" limitetään rauditus vähintään jatkospituuden verran pilarin vastakkaisella puolella olevan raudituksen kanssa.</p> <p>²⁾ Rauditus limitetään vähintään jatkospituuden verran palkin pääterästen kanssa.</p>				
Pos.	kpl	T	a	b	\varnothing_m	c-c	Huom.
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
[1]	1	12	-	-	76	1	10 leikettä/kpl
[2]	2	12	790	-	76	32	8 leikettä/kpl
[3]	2	16	-	-	76	80	4 leikettä/kpl
[4]	3	10	430	530	-	40	4 leikkeinen umpihaka
[5]	3	8	430	530	-	105	4 leikkeinen umpihaka
[L1]	3	8	-	-	-	-	2 leikkeinen umpihaka

		Rakennelaskelma, tulos											
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 4 (7)										
Päiväys:													
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:										
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus			Versio										
Raudituksen sijainti:													
Konsoli:													
c	39 mm												
b													
a	201 mm												
													
Palkki:													
f	259 mm												
e	32 mm												
d	39 mm												
c	126 mm												
b	80 mm												
a	44 mm												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>a_w</th> <th>b_w</th> <th>c_w</th> <th>d_w</th> <th>e_w</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31 mm</td> <td>80 mm</td> <td>40 mm</td> <td>210 mm</td> <td>219 mm</td> </tr> </tbody> </table>		a_w	b_w	c_w	d_w	e_w	31 mm	80 mm	40 mm	210 mm	219 mm
a_w	b_w	c_w	d_w	e_w									
31 mm	80 mm	40 mm	210 mm	219 mm									

		Rakennelaskelma, tulos		
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 5 (7)	
Rakennuskohde:		Työ no:	Sisältö:	Sijainti:
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus			Versio	
Puristussauvojen koko:				
<p><u>VETOSAUVA</u> <u>PURISTUSSAUVA</u></p> 				
Konsoli:	Alku	Loppu		
A-B =	95 mm	39 mm		
Palkki:	Alku	Loppu		
A-B =	121 mm	99 mm		
D-C =	219 mm	124 mm		
B-F =	50 mm	50 mm		
D-B =	222 mm	101 mm		

		Rakennelaskelma, tulos																	
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 6 (7)																
Päiväys:																			
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:																
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus			Versio																
Jännitykset sauvoissa:																			
<p>Konsoli:</p> <table border="1"> <tr><td>A-B =</td><td>17 MPa</td></tr> <tr><td>A-C =</td><td>-224 MPa</td></tr> </table>				A-B =	17 MPa	A-C =	-224 MPa												
A-B =	17 MPa																		
A-C =	-224 MPa																		
<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>A-B =</td><td>7 MPa</td><td>D-C =</td><td>6 MPa</td></tr> <tr><td>A-D =</td><td>-159 MPa</td><td>D-B =</td><td>2 MPa</td></tr> <tr><td>B-F =</td><td>8 MPa</td><td>B-C =</td><td>-321 MPa</td></tr> <tr><td>C-E =</td><td>-148 MPa</td><td>D-E =</td><td>-406 MPa</td></tr> </table>				A-B =	7 MPa	D-C =	6 MPa	A-D =	-159 MPa	D-B =	2 MPa	B-F =	8 MPa	B-C =	-321 MPa	C-E =	-148 MPa	D-E =	-406 MPa
A-B =	7 MPa	D-C =	6 MPa																
A-D =	-159 MPa	D-B =	2 MPa																
B-F =	8 MPa	B-C =	-321 MPa																
C-E =	-148 MPa	D-E =	-406 MPa																
Sallitut jännitykset sauvoissa:																			
<p>Konsoli:</p> <table border="1"> <tr><td>A-B =</td><td>20 MPa</td></tr> <tr><td>A-C =</td><td>-278 MPa</td></tr> </table>				A-B =	20 MPa	A-C =	-278 MPa												
A-B =	20 MPa																		
A-C =	-278 MPa																		
<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>A-B =</td><td>14 MPa</td><td>D-C =</td><td>8 MPa</td></tr> <tr><td>A-D =</td><td>-170 MPa</td><td>D-B =</td><td>8 MPa</td></tr> <tr><td>B-F =</td><td>14 MPa</td><td>B-C =</td><td>-435 MPa</td></tr> <tr><td>C-E =</td><td>14 MPa</td><td>D-E =</td><td>-435 MPa</td></tr> </table>				A-B =	14 MPa	D-C =	8 MPa	A-D =	-170 MPa	D-B =	8 MPa	B-F =	14 MPa	B-C =	-435 MPa	C-E =	14 MPa	D-E =	-435 MPa
A-B =	14 MPa	D-C =	8 MPa																
A-D =	-170 MPa	D-B =	8 MPa																
B-F =	14 MPa	B-C =	-435 MPa																
C-E =	14 MPa	D-E =	-435 MPa																
Jännitykset solmuissa:																			
<p>Konsoli:</p> <table border="1"> <tr><td>A =</td><td>7 MPa</td></tr> <tr><td>B =</td><td>17 MPa</td></tr> </table>				A =	7 MPa	B =	17 MPa												
A =	7 MPa																		
B =	17 MPa																		
<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>A =</td><td>6 MPa</td><td>D =</td><td>4 MPa</td></tr> <tr><td>B =</td><td>8 MPa</td><td>E =</td><td></td></tr> <tr><td>C =</td><td>6 MPa</td><td>F =</td><td>8 MPa</td></tr> </table>				A =	6 MPa	D =	4 MPa	B =	8 MPa	E =		C =	6 MPa	F =	8 MPa				
A =	6 MPa	D =	4 MPa																
B =	8 MPa	E =																	
C =	6 MPa	F =	8 MPa																
Sallitut jännitykset solmuissa:																			
<p>Konsoli:</p> <table border="1"> <tr><td>A =</td><td>14 MPa</td></tr> <tr><td>B =</td><td>17 MPa</td></tr> </table>				A =	14 MPa	B =	17 MPa												
A =	14 MPa																		
B =	17 MPa																		
<p>Palkki:</p> <table border="1"> <tr><td>A =</td><td>11 MPa</td><td>D =</td><td>10 MPa</td></tr> <tr><td>B =</td><td>11 MPa</td><td>E =</td><td>10 MPa</td></tr> <tr><td>C =</td><td>10 MPa</td><td>F =</td><td>14 MPa</td></tr> </table>				A =	11 MPa	D =	10 MPa	B =	11 MPa	E =	10 MPa	C =	10 MPa	F =	14 MPa				
A =	11 MPa	D =	10 MPa																
B =	11 MPa	E =	10 MPa																
C =	10 MPa	F =	14 MPa																

		Rakennelaskelma, tulos	
		Tekijä: Amanda Mehtälä	Sivu: 7 (7)
Päiväys:			
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:
B13 Konsolin ja lovipäisen palkin mitoitus			Versio
Käyttöasteet:			
Konsoli: Max käyttöaste: 1,00 OK Betoni= 1,00 Solmu B Raudoitus= 0,81 Sauva A-C ankkurimurto		Palkki: Max käyttöaste: 0,94 OK Betoni= 0,84 Sauva D-C Raudoitus= 0,94 Sauva A-D ankkurimurto	
Käyttöasteet ristikon osissa:			
Konsoli: Sauvat: A-C = 0,81 Sauva A-D ankkurimurto A-B = 0,86 Betonimurto Solmut: A= 0,48 B= 1,00		Palkki: Sauvat: A-B = 0,51 Betonimurto A-D = 0,94 Ankkurimurto B-F = 0,56 Betonimurto C-E = 0,70 Ankkurimurto D-C = 0,84 Betonimurto D-B = 0,20 Betonimurto B-C = 0,74 Teräksen myötö D-E = 0,93 Teräksen myötö Solmut: A= 0,54 B= 0,73 C= 0,67 D= 0,38 E= F= 0,62	
Reunaehdot: OK			

Liite 4. Lovetun palkinpään raudoitekuva

