

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

FEM-DESIGN 3D-STRUCTURE-OH- JELMALLA OHJEET MANUAALISEN RAUDOITUS- JA COVER TYÖKALUN KÄYTTÄMISEEN

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Heini Mustonen	
Työn nimi Fem-Design 3D-structure -ohjelmalla ohjeet manuaalisen raudoitus- ja cover työkalun käyttämiseen	
Päiväys 25.2.2024	Sivumäärä/Liitteet 58/3
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööritoimisto Laaturakenne Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tilaajalle Fem-Design 3D-structure -ohjelmalla ohjeet manuaalisen raudoitus- ja cover työkalun käyttämiseen. Ohjeiden tarkoituksena oli saada tilaajalle mahdollisimman nopea ja helppo tapa hyödyntää ohjelman työkaluja. Fem- Design 3D-structure -ohjelmalla mallinnettiin betonirunkoinen kaksilaivainen hallirakennus, jonka tuloksia verrattiin Excelissä tehtyihin käsin laskuihin. Opinnäytetyössä käsiteltiin tuulikuormien määräytymistä tarkemmin pintapaine- ja voimakerroinmenetelmällä.</p> <p>Opinnäytetyön betonirunkoisen kaksilaivaisen hallirakennuksen pilareiden mitoitus tehtiin Excel-laskentana nimellisen kaarevuuteen perustuvalla menetelmällä. Excel-laskujen tuloksia verrattiin Fem-Design 3D-structure -ohjelmalla tehdyn mallin tuloksiin. Pilarin mitoituksessa määritettiin Excel-laskennassa tuulikuorma voimakerroinmenetelmällä. Excel-laskuissa laskettiin pilarille tulevat kuormat ja kuormitusyhdistelmät. Pilarin mitoituksen Excel-laskennassa saatua raudoituksen mitoitusta käytettiin manuaalisen raudoitustyökalun-ohjetta tehdessä.</p> <p>Teoriatieto tuulikuormien määrittämiseen perustuu RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat -kirjaan ja standardiin SFS-EN 1991-1-4 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1 – 4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. Pilarin mitoituksessa päätietolähteenä käytettiin BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjaa, osaa 2 vuodelta 2014.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuloksena on mallinnettuna betonirunkoinen kaksilaivainen hallirakennus. Lisäksi laadittiin Excel-laskut pilarin mitoituksesta, joita verrattiin Fem-Design 3D-structure -ohjelmalla mallinnetun hallirakennuksen tuloksiin. Opinnäytetyössä tehtiin myös kaksi ohjetta pdf-tiedostona manuaalisen raudoituksen- ja cover työkalun käyttämiseen.</p>	
Avainsanat Pilarit, hallit, raudoitus	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Heini Mustonen	
Title of Thesis Using the Fem-Design 3D-Structure Program to Create Instructions for the Use of a Manual Reinforcement and Cover Tool	
Date February 25 ,2024	Pages/Appendices 58/3
Client Organisation /Partners Insinööritoimisto Laaturakenne Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to make instructions for the use of a manual reinforcement and cover tool to the client using the Fem-Design 3D-structure program. The purpose of the instructions was to provide the client with a quick and easy way to make use of the tools of the program. The Fem-Design 3D-structure program was used to model a concrete-framed two-ship hall building, the results of which were compared to the manual calculations made in Excel. The thesis dealt with the determination of wind loads in more detail using the surface pressure and force factor method.</p> <p>The dimensioning of the column of the concrete-framed two-ship hall building of the thesis was done as an Excel calculation using a nominal curvature method. The results of the Excel calculations were compared to those of a model made using the Fem-Design 3D-structure. In the calculation of the column, the wind load was determined using the force factor method. In the Excel calculations, the loads and loads combinations on the column were calculated. The rebar dimensioning obtained in the Excel calculation of the pillar dimensioning was used when making the manual rebar tool instruction.</p> <p>The theoretical knowledge for determining wind loads was based on the RIL 201-1-2017 Design bases and loads of structures in the book and standard SFS-EN 1991-1-4 Eurocode 1: Loads of structures. Part 1 – 4: General loads. Wind loads. The main data source used in the column sizing was the BY 211 Concrete Structures Design Textbook, part 2 of 2014.</p> <p>The result of the thesis was a modeled concrete-framed two-ship hall building. In addition, Excel invoices were prepared for the dimensioning of the column, which were compared to the results of the hall building modeled with the Fem-Design 3D-structure. Instructions were also made as a PDF file for using the manual reinforcement and cover tool.</p>	
Keywords Columns, halls, reinforcement	

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	9
2. KOKONAISTUULIKUORMIEN MÄÄRITYS	10
2.1. Voimakerroinmenetelmä	18
2.2. Voimakerroinmenetelmä-esimerkki	21
2.3. Pintapainemenetelmä	25
3. HALLIRAKENNUS	38
3.1. Rakennemallin lähtötiedot	38
3.2. Kuormat	42
3.3. Kuormayhdistely	43
3.4. Pilarin mitoitus	44
3.4.1. 1. kertaluvun mitoitusmomentti	45
3.4.2. 2. kertaluvun mitoitus	45
3.4.3. Poikkileikkauksen raudoituksen mitoitus	45
4. COVER-TYÖKALUT	46
4.1. COVER-TYÖKALU	46
4.2. Building cover-työkalu	48
5. RAUDOITUSTYÖKALUT	50
5.2. Manuaalinen raudoitustyökalu parametric reinforcement	51
5.3. Manuaalinen raudoitustyökalu draw	54
POHDINTA	56
LÄHTEET	57

KAAVALUETTELO

Kaava 1. Perusarvo	11
Kaava 2. Tuulen nopeusprofiili	11
Kaava 3. Tuulen nopeuspaine	13
Kaava 4. Yksipuoleinen maastonkohouma	13
Kaava 5. Kaksipuoleinen maastonkohouma	14
Kaava 6. Tuulikuorman vaikutusala	18
Kaava 7. Tehollinen hoikkuus	18
Kaava 8. Sivusuhte	18
Kaava 9. Voimakertoimen interpolointi	19
Kaava 10. Kokonaistuulivoima	20
Kaava 11. Paine kertoimen interpolointi	25
Kaava 12. Tuulen paine ulkopinnoissa	27
Kaava 13. Tuulen paine sisäpinnoissa	27
Kaava 14. Ulkopuolinen kuorma	27
Kaava 15. Sisäpuolinen kuorma	27
Kaava 16. Arviointi kitkakuorman huomioinnista	28
Kaava 17. Kitkakuorman vaikutusala	28
Kaava 19. Kitkakuorman vaikutusala katossa	29
Kaava 20. Kitkakuorman kaava	29
Kaava 21. Rakenneseien tuulikuorma	30
Kaava 22. Paine- ja imuvoimien kerroin	30
Kaava 23. Kokonaistuulivoima	30

KUVALUETTELO

KUVA 1. Kulkukaavio tuulikuorman laskemiseen (RIL 201-1-2017, 128)	10
KUVA 2. Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2017, 131)	12
KUVA 3. Nopeuspaineen ja pinnanmuodon mukaan modifioitu profiili (RIL 201-1-2017, 173)	12
KUVA 4. Maastonkohouman toispuoleinen suurennuskerroin (RIL 201-1-2017, 134)	13
KUVA 5. Maastonkohouman kaksipuoleinen suurennuskerroin (RIL 201-1-2017, 135)	14
KUVA 6. Puuskanopeuspainen ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 136)	15
KUVA 7. Nopeuspainekorkeus Z_e . (RIL 201-1-2017, 149)	16
KUVA 8. Rakennekerroin monikerroksisille rakennuksille pohjan ollessa suorakaide. (RIL 201-1-2017, 142)	17
KUVA 9. Suorakaidepoikkileikkauksen omaavalle matalalle tai korkealle rakennukselle voimakkeroin. (RIL 201-1-2017, 141)	20
KUVA 10. Esimerkkirakennuksen mitat (Mustonen 2023)	21
KUVA 11. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 136)	22
KUVA 12. Pintoihin kohdistuva paine (RIL 201-1-2017, 139)	25
KUVA 13. Vyöhyke kaavio pystyseinille (RIL 201-1-2017, 150)	26
KUVA 14. Ulkopuolisen paineen kertoimen riippuvuus kuormitusala A koosta (RIL 201-1-2017, 148)	26
KUVA 15. Kitakuorman vaikutusala. (RIL 201-1-2017, 170)	29
KUVA 16. Vyöhykekaavio tasakatto. (RIL 201-1-2017, 151)	31
KUVA 17. Vyöhykekaavio pulpettikatto. (RIL 201-1-2017, 153)	32
KUVA 18. Vyöhykekaavio harjakatto. (RIL 201-1-2017, 155)	33
KUVA 19. Vyöhykekaavio aumakatto. (RIL 201-1-2017, 157)	34
KUVA 20. Vyöhykekaavio sahakatto. (RIL 201-1-2017, 159)	35
KUVA 21. Vyöhykekaavio kaarikatto. (RIL 201-1-2017, 160)	36
KUVA 22. Vyöhykekaavio kupoli. (RIL 201-1-2017, 161)	36
KUVA 23. Sisäisen paineen kerroin aukot tasaisesti jaettuna. (RIL 201-1-2017, 162)	37
KUVA 24. Suorakaidepalkin suosituskoot (Elementtisuunnittelu, Palkit 2023)	39
KUVA 25. Teräsbetonipalkin alustava kantavuus $B=380$ mm (Elementtisuunnittelu, Palkit 2023)	39
KUVA 26. Teräsbetonipalkin alustava kantavuus $B=480$	40
KUVA 27. Mitoituskäyrästä TT-120. (Elementtisuunnittelu TT-laattojen mitoituskäyrät julkaisuaika tuntematon)	40
KUVA 28. TT-laatan poikkileikkaus (Betonitieto, Laatat julkaisuaika tuntematon)	41
KUVA 29. KY1 tuuli pääkuormana, murtorajatilan mitoittavat momentit (Mustonen 2023)	43
KUVA 30. KY1 tuuli pääkuormana, murtorajatilan laskentakuorma pilareissa (Mustonen 2023)	43
KUVA 31. Vertailutaulukko (Mustonen 2023)	43
KUVA 32. KY3 Tuulikuorma pääkuormana, ilman lunta murtorajatilan mitoittavat momentit (Mustonen 2023)	44
KUVA 33. KY3 Tuulikuorma pääkuormana, ilman lunta murtorajatilan laskentakuorma (Mustonen 2023)	44
KUVA 34. Vertailutaulukko (Mustonen 2023)	44
KUVA 35. Pilaripoikkileikkauksen mitoituskäyrästä. (Elementtisuunnittelu.fi julkaisuaika tuntematon)	45
KUVA 36. Cover-työkalun sijainti (Mustonen 2023)	46
KUVA 37. Cover-työkalu (Mustonen 2023)	46
KUVA 38. Kantavuuden suunta (Mustonen 2023)	47
KUVA 39. Tukirakenteiden määrittäminen (Mustonen 2023)	47
KUVA 40. Piilotettu työkalu (Mustonen 2023)	48
KUVA 41. Building cover-työkalun sijainti (Mustonen 2023)	48
KUVA 42. Building cover-työkalu (Mustonen 2023)	48
KUVA 43. Ryhmä työkalun sijainti (Mustonen 2023)	50
KUVA 44. Design group työkalu	50
KUVA 45. Ryhmittelyn näkyminen rakenneosassa (Mustonen 2023)	51
KUVA 46. Ryhmään lisääminen (Mustonen 2023)	51
KUVA 47. Parametric reinforcement sijainti (Mustonen 2023)	51
KUVA 48. Raudoituksen tiedot (Mustonen 2023)	52
KUVA 49. General-välilehti (Mustonen 2023)	52
KUVA 50. Stirrups-välilehti (Mustonen 2023)	53

KUVA 51. Longitudinal bars-välilehti (Mustonen 2023).....	53
KUVA 52. Raudoituksen tunnus (Mustonen 2023)	54
KUVA 53. Draw työkalun sijainti (Mustonen 2023).....	54
KUVA 54. Esimerkki reunapilari (Mustonen 2023).....	55
KUVA 55. Esimerkki keskipilari (Mustonen 2023)	55

TAULUKKOLUETTELO

TAULUKKO 1. Puuskanopeuspaine ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 137)	15
TAULUKKO 2. C_f - arvot numeraalisesti (RIL 201-1-2017, 141)	19
TAULUKKO 3. Voimakerroin numeraalisesti (RIL 201-1-2017, 141)	23
TAULUKKO 4. Rakennusten pystyseinién ulkopuolisen paineen kertoimien suoritusarvot. (RIL 201-1- 2017, 150).....	26
TAULUKKO 5. Kitkakerroin seinille ja katoille (RIL 201-1-2017, 169).....	29
TAULUKKO 6. Ulkopuolisen paineen kertoimet tasakatto. (RIL 201-1-2017, 152)	31
TAULUKKO 7. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatto tuulen suunta 0° tai 180°. (RIL 201-1- 2017, 154)	32
TAULUKKO 8. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatto tuulen suunta 90°. (RIL 201-1-2017, 154).....	32
TAULUKKO 9. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatto tuulen suunta 0°. (RIL 201-1-2017, 156)	33
TAULUKKO 10. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatto tuulen suunta 90°. (RIL 201-1-2017, 157)	33
TAULUKKO 11. Ulkopuolisen paineen kertoimet aumakatto tuulen suunta 0° tai 90°. (RIL 201-1- 2017, 158)	34
TAULUKKO 12. Sisäisen paineen kertoimet avoimille sivuille rakennuksessa. (RIL 201-1-2017, 163).....	37

1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tilaajana on kuopiolainen Insinööritoimisto Laaturakenne Oy. Laaturakenne tekee korkeatasoisia rakenne- ja elementtisuunnittelupalveluita sekä myös rakenteellista asiantuntijakonsultointia. Heidän erikoisosaamisalueeseensa kuuluu esijännitettyjen betonirakenteiden raudoitus-suunnittelu ja he aikovat olla Suomen arvostetuin ja suurin punossuunnittelutoimisto 5–10 vuoden kuluessa. Yritys on perustettu 2005 vuonna Kuopiossa, nykyään heillä on myös toimipiste Porvoossa Kuopion toimipisteen lisäksi.

Aihe-ehdotuksen sain tilaajalta, ollessani tekemässä projektityötä heillä viime syksynä. Opinnäytetyön aihe ei liity tilaajan mihinkään projektiin, vaan lähtötiedot ovat saatu tilaajan keksiminä. Yrityksessä on käytössä Strusoft FEM-Design 3D-structure, jonka takia aihe on heille tärkeä.

Opinnäytetyössä tehdään Fem-Design 3D-structure 2022-versiolla ohjeet manuaalisen raudoitustyökalun ja cover-työkalujen käyttämiseen. Työssä tehdään myös pilarin mitoitus Excel-pohjaan sekä 3D-structure-ohjelmalla verrattavaksi laskelmia. Opinnäytetyössä käsitellään tuulikuormien määrittäystä paremmin pintapaine- ja voimakerroinmenetelmällä, opinnäytetyö Excel-laskut tehdään voimakerroinmenetelmällä, josta on esimerkkilaskelmat.

2. KOKONAISTUULIKUORMIEN MÄÄRITYS

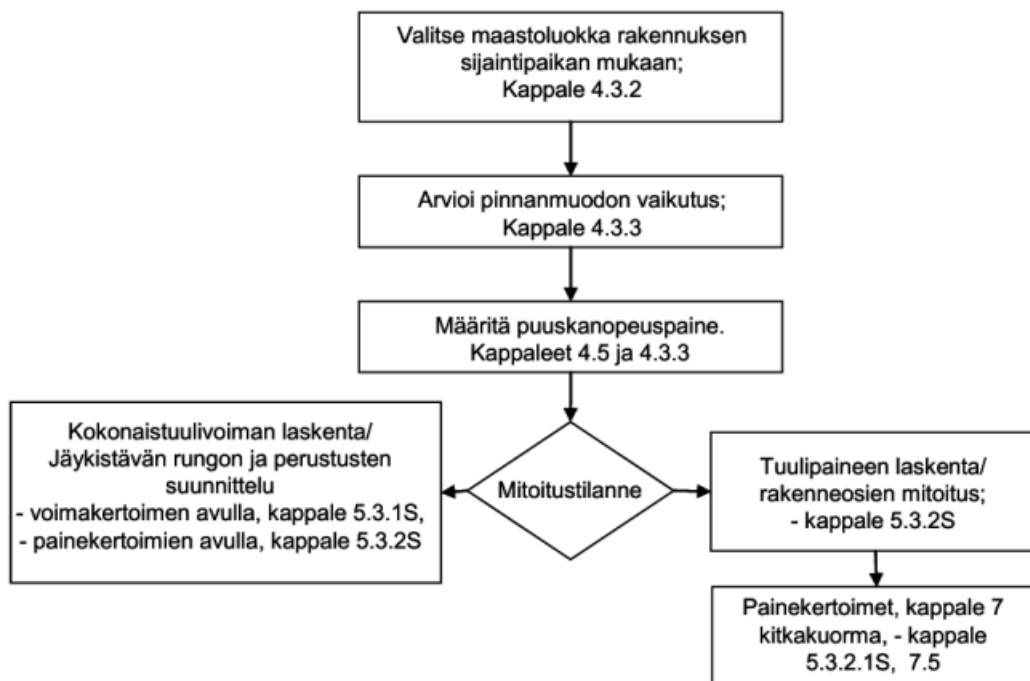
Tuulikuorma on muuttuva kuorma. Kokonaistuulikuorma voidaan määrittää rakennukselle voima- tai pintapainemenetelmällä, jota käytetään mitoittaessa rakennuksen jäykistävää runkoa ja perustusta. Menetelmän valintaan vaikuttaa selvitetäänkö kuormia koko rakenteelle vai yksittäiselle osalle. Tuulikuormia määrittäessä otettava huomioon ulko- ja sisäpuoliset paineet.

Voimakerroinmenetelmässä tuulenpaineen arvo on kaikissa korkeuksissa sama, kuin harjalla rakennuksen korkeuden ollessa pienempi, kuin rakennuksen leveyden ($h < b$). Pintapainemenetelmässä osapintojen pintapaineista määräytyy rakennuksen kokonaistuulikuorma, osapintojen kitkakuorma otetaan tarvittaessa huomioon. Tässä opinnäytetyössä käytettiin käsin laskuissa voimakerroinmenetelmää, josta on tehty esimerkkilaskelma opinnäytetyön arvoilla.

Opinnäytetyön tuulikuormien määrittämisessä on käytetty RIL 201-1-2017 Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat -kirjaa sekä standardia SFS-EN 1991-1-4 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1 -4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat.

Molempiin tuulikuormien määrittämisen menetelmiin tarvitaan maastoluokka, puuskanopeuspaine ja rakennekerroin. Perusarvot ja tuulen nopeusprofiili otetaan laskuissa huomioon

Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on määritetty kaavio tuulikuorman laskemisen kulusta.



KUVA 1. Kulkukaavio tuulikuorman laskemiseen (RIL 201-1-2017, 128)

Tuulennopeus

Huomioidessa maaston rosoisuus ja -muodot voidaan tuulennopeus laskea tarkasti.

Perusarvot

Tuulennopeuden modifioimaton perusarvo koko Suomessa on $V_{b,0}=21$ m/s, joka pätee maassa sekä meri- ja tunturialueilla.

Perusarvo V_b määritetään keskiarvona tuulennopeuden 10 minuutin 10 metrin korkeudella maanpinnasta. Määrittäminen tehdään maastoluokka II ja 50 vuoden toistumisaikaa vastaavana arvona.

Perusarvo määritetään kaavalla (RIL 201-1-2017, 129):

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0} \quad (1)$$

missä,

C_{dir}	Suuntakerroin (=1)
C_{season}	Vuodenaikakerroin (yleensä 1)
$V_{b,0}$	Modifioimaton perusarvo

Kaava 1. Perusarvo

Tuulen nopeusprofiili

Tuulen modifioituun perusarvon määrittämiseen tarvitaan tuulennopeuden perusarvo ja tuulennopeusprofiili, johon vaikuttaa rakennuspaikan maaston rosoisuus sekä pinnanmuodostus.

Tuulen modifioitu perusarvo korkeudella z määritetään kaavalla (RIL 201-1-2017, 130):

$$V_m(z) = C_r(z) * C_0(z) * V_b \quad (2)$$

missä,

$C_r(z)$	Maaston rosoisuuskerroin
$C_0(z)$	Pinnanmuotokerroin (= 1)
V_b	Tuulennopeuden perusarvo

Kaava 2. Tuulen nopeusprofiili

Maastoluokka ja maaston rosoisuus

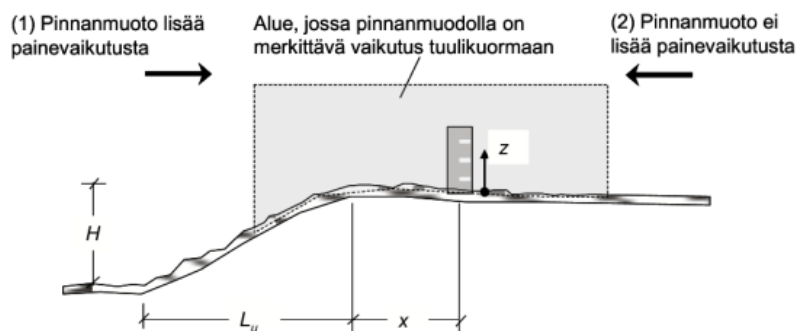
Maastoluokkia on viisi 0-IV, jotka ovat määritettyinä alla olevan kuvan 2 mukaan. Tuulikuormien voimakkuuteen vaikuttaa suuresti maaston rosoisuus, joka otetaan huomioon maastoluokilla.



KUVA 2. Maastoluokkien kuvaukset (RIL 201-1-2017, 131)

Maaston pinnanmuodon vaikuttaessa nopeuspaineeseen

Pinnanmuoto vaikuttaa nopeuspaineeseen yksittäisessä mäessä tai harjanteessa, jota ei huomioida maastoluokissa. Maaston kaltevuuden ylittäessä arvon 0,05 on huomioitava nopeuspaineessa suurenuskertoimen. Maaston ollessa alle 0,05 nopeuspaineen suurenskertoimen arvo on 1.



KUVA 3. Nopeuspaineen ja pinnanmuodon mukaan modifioitu profiili (RIL 201-1-2017, 173)

Modifioitunut tuulen nopeuspaine saadaan kaavasta (RIL 201-1-2017, 133):

$$q_p(z) = \gamma_D * q_{p0}(z) \quad (3)$$

missä,

γ_D Nopeuspaineen suurennuskerroin

$q_{p0}(z)$ Modifioimaton puuskanopeuspaine

Kaava 3. Tuulen nopeuspaine

Toispuoleisen maastonkohouman suurennuskertoimen laskemiseen tarvitaan (RIL 201-1-2017, 133):

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 + \frac{x}{L_u}\right) \quad \text{kun } x < 0 \quad (4)$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 - 0,33 * \frac{x}{L_u}\right) \quad \text{kun } x \geq 0$$

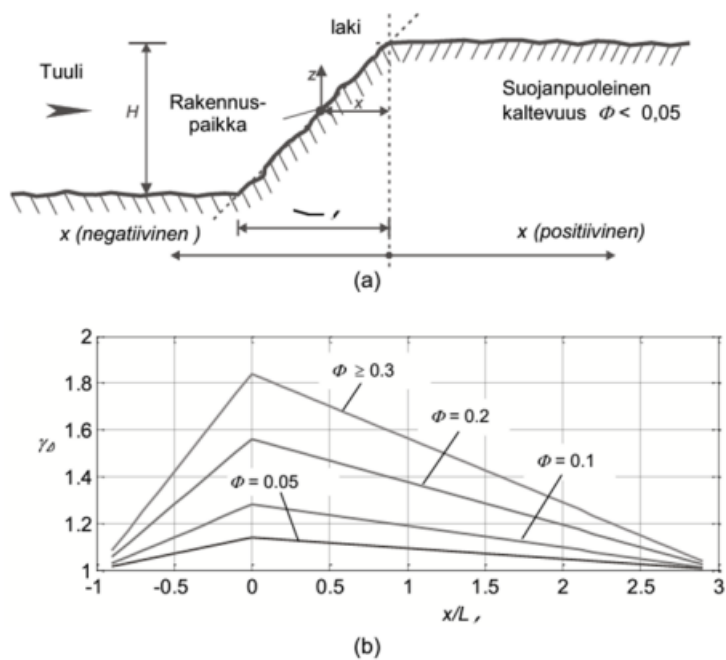
missä,

Φ Kaltevuus H/ L_u tuulenpuolella, tuulen suunnassa (rad)

x Rakennuspaikan vaakasuora etäisyys harjasta

L_u Tuulenpuoleisen rinteän pituus tuulen suunnassa

Kaava 4. Yksipuoleinen maastonkohouma



KUVA 4. Maastonkohouman toispuoleinen suurennuskerroin (RIL 201-1-2017, 134)

Kaksipuoleisen maastonkohouman suurennuskertoimen laskemiseen tarvitaan (RIL 201-1-2017, 133):

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 + \frac{x}{L_u}\right) \quad \text{kun } x < 0 \quad (5)$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 * \Phi * \left(1 - 0,47 * \frac{x}{L_d}\right) \quad \text{kun } x \geq 0$$

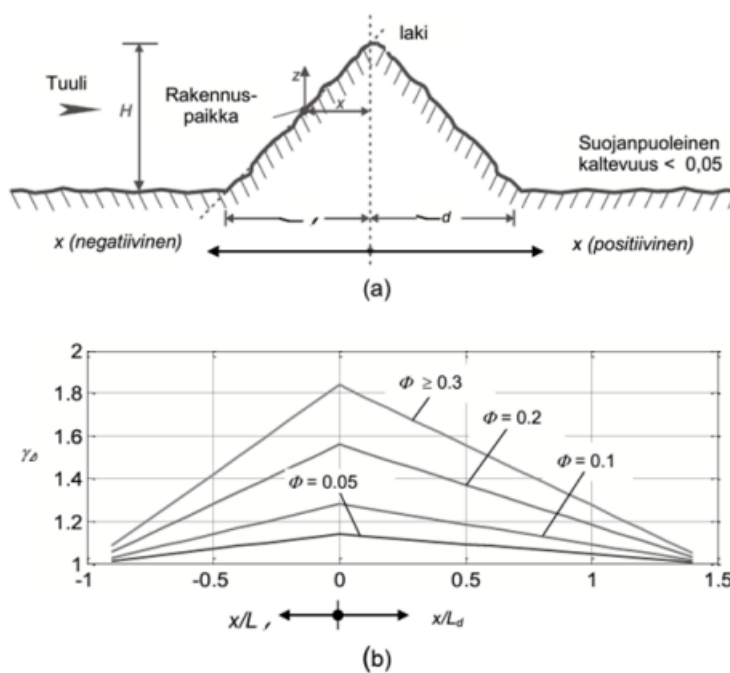
missä,

Φ Kaltevuus H/L_u tuulenpuolella, tuulen suunnassa (rad)

x Rakennuspaikan vaakasuora etäisyys harjasta

L_d Tuulenpuoleisen rinteän pituus tuulen suunnassa

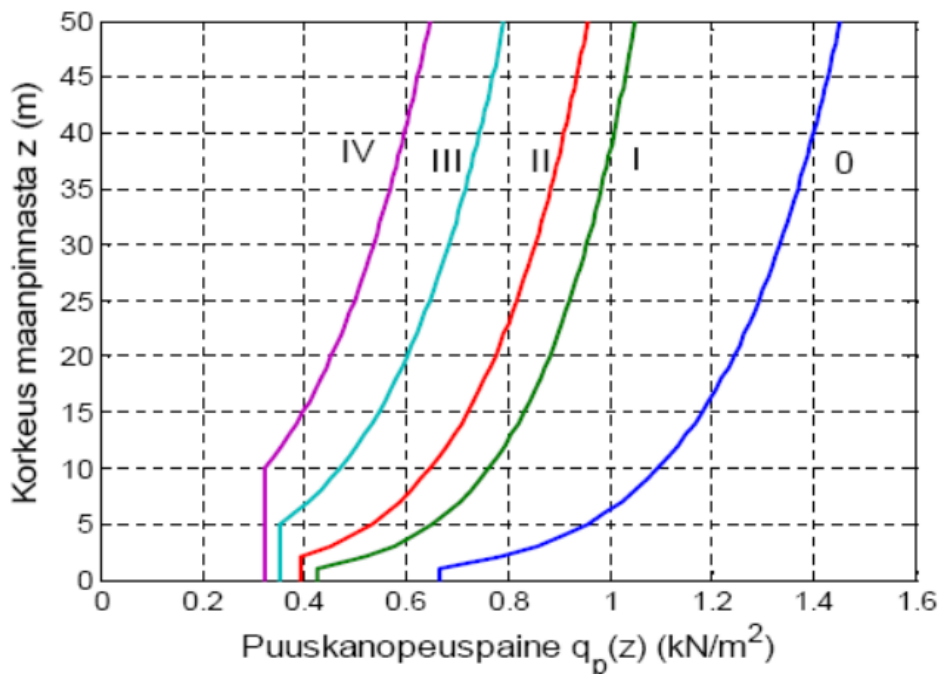
Kaava 5. Kaksipuoleinen maastonkohouma



KUVA 5. Maastonkohouman kaksipuoleinen suurennuskertoimen (RIL 201-1-2017, 135)

Puuskanopeuspaine $q_{p0}(z)$

Puuskanopeuspaineen määrittämiseen tarvitaan tietää maastoluokka sekä rakennuksen korkeus maanpinnasta. Puuskanopeuspaineen yksikkö on kN/m^2 . Puuskanopeuspaine voidaan määrittää alla olevasta kuvasta tai taulukosta 1 eri maastoluokissa.



KUVA 6. Puuskanopeuspaine ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 136)

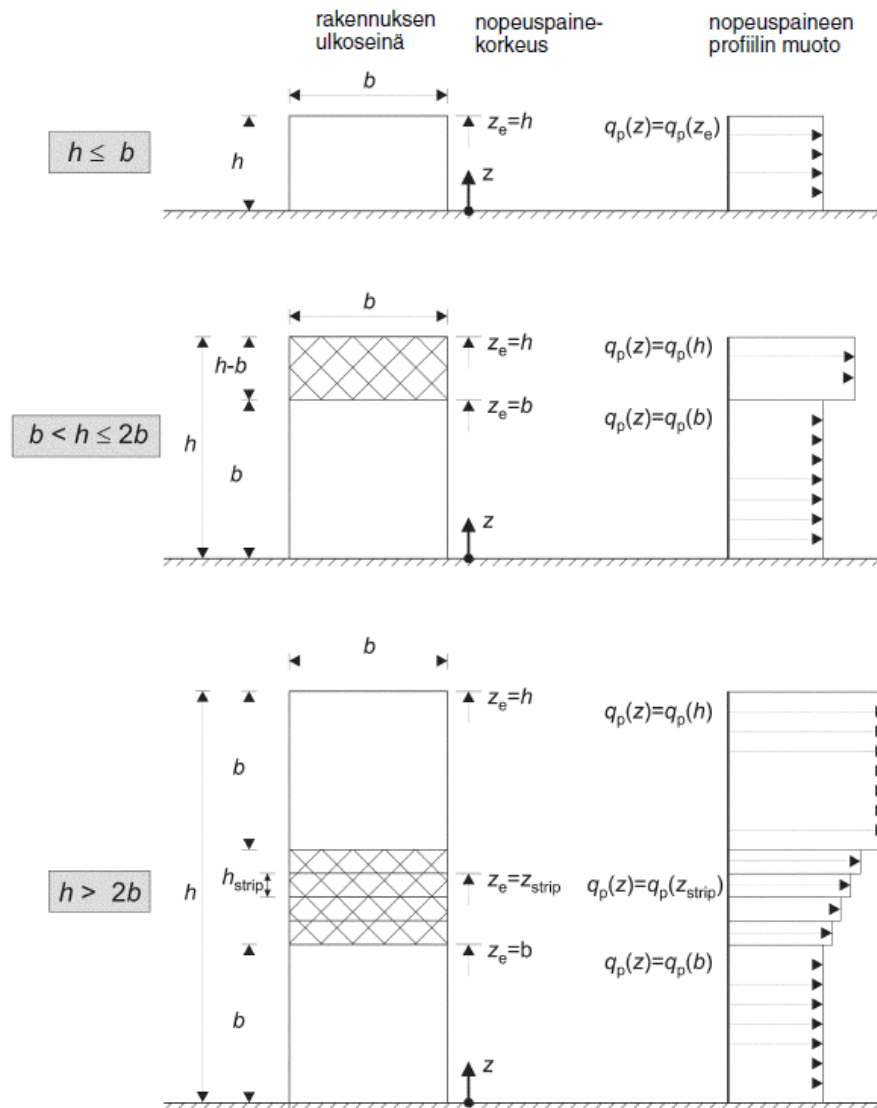
TAULUKKO 1. Puuskanopeuspaine ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 137)

z (m)	Maastoluokka				
	0	I	II	III	IV
0	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
1	0,66	0,42	0,39	0,35	0,32
2	0,78	0,52	0,39	0,35	0,32
5	0,96	0,65	0,53	0,35	0,32
8	1,05	0,73	0,61	0,43	0,32
10	1,09	0,76	0,65	0,47	0,32
15	1,18	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

Nopeuspaineen vaikutuskorkeuteen vaikuttaa rakennuksen korkeus, leveys ja profiilin muoto.

- Rakennusta tarkastellaan yhtenä kaistana, jos korkeus on pienempi kuin leveys
- Rakennusta tarkastellaan kahtena kaistana, jos korkeus on suurempi kuin leveys, mutta pienempi kuin $2b$. Alempi kaista on maanpinnasta korkeudelle b ja ylempi kaista ylöspäin siitä.

- Rakennusta tarkastellaan useampana kaistana, jos korkeus on suurempi kuin $2b$. Alempi kaista on maanpinnasta korkeudelle b ja ylempi kaista on räystäältä alaspäin sekä ylä- ja alaosan välinen osa jaetaan vaakatasoihin, joiden korkeus on h_{strip} .



KUVA 7. Nopeuspaine korkeus z_e . (RIL 201-1-2017, 149)

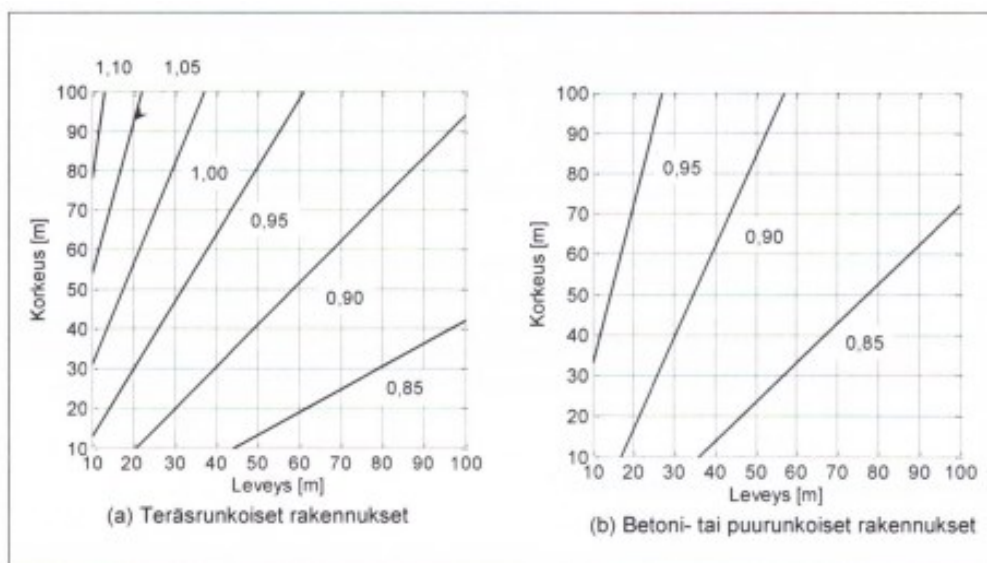
Rakennekertoimen $C_s C_d$

Rakennekertoimella otetaan huomioon kokonaisvoimaan vaikuttavat kaksi tekijää. Mittasuhteiden ja koon kerroin on C_s ja C_d kertoimella otetaan huomioon dynaamiset vaikutukset.

Rakennekertoimen arvoksi voidaan laittaa 1:

- jos rakennuskorkeus on alle 15 metriä.
- jos ulkoseinän ja vesikaton rakenteiden ominaistaajuus on yli 5 Hz
- jos rakennuksen rungon kantavien seinien korkeus on alle 100 m sekä pienempi kuin 4 kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta.

Tarvittaessa rakennuksen ollessa hyvin leveä käytetään alla olevan kuvan arvoja, jonka vaikutus yleensä kokonaisvoimaan on pienentävä.



KUVA 8. Rakennekertoimen monikerroksisille rakennuksille pohjan ollessa suorakaide. (RIL 201-1-2017, 142)

2.1. Voimakerroinmenetelmä

Voimakerroinmenetelmällä tuulenkokonaiskuorma laskeminen tehdään C_f - kertoimen avulla tietylle rakennuksenosalle pinta-alan mukaisesti. Rakennuksen korkeuden ollessa pienempi kuin leveyden tuulenpaineenarvo on kaikissa korkeuksissa sama kuin harjalla vallitseva arvo.

Tuulikuorman vaikutusala

Tuulen kuorman vaikutusosalalla tarkoitetaan pinta-alaa, johon tuuli kohdistuu. Tuulen kuorman vaikutusala lasketaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 140):

$$A_{ref} = b * h \quad (6)$$

missä,

b Rakennuksen leveys

h Rakennuksen korkeus

Kaava 6. Tuulikuorman vaikutusala

Tehollinen hoikkuus

Tehollisen hoikkuuden kaavaan vaikuttaa rakennuksen korkeus, korkeuden ollessa alle 15 metriä kaava on (RIL 201-1-2017, 140):

$$\lambda = \frac{2 * h}{b} \quad (7)$$

Rakennuksen korkeuden ollessa yli 50 metriä kaava on (RIL 201-1-2017, 140):

$$\lambda = \frac{1,4 * h}{b}$$

Rakennuksen korkeuden ollessa $15 < h < 50$ metrin välissä käytetään interpolointia.

missä,

b Rakennuksen leveys

h Rakennuksen korkeus

Kaava 7. Tehollinen hoikkuus

Sivusuhte d/b

Sivusuhteeseen vaikuttaa rakennuksenmitta tuulensuunnassa (d) ja rakennuksen mitta tuultavas-taan kohtisuorassa suunnassa (b).

Sivusuhte saadaan kaavasta (RIL 201-1-2017, 141):

$$Sivusuhte = \frac{d}{b} \quad (8)$$

missä,

d Rakennuksen pituus

b Rakennuksen leveys

Kaava 8. Sivusuhte

Voimakerroin C_f

Voimakertoimen määrittämiseen vaikuttaa sivusuhteen ja tehollisen hoikkuuden arvot. Alla olevassa taulukossa 2 C_f -arvot ovat numeraalisesti. Väliarvot interpoloidaan lineaarisesti.

TAULUKKO 2. C_f -arvot numeraalisesti (RIL 201-1-2017, 141)

λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Interpoloidessa voimakerrointa voidaan käyttää kaavaa:

$$C_f = c_{f,1} - \left(\frac{\text{sivusuhte} - d/b_1}{d/b_2 - d/b_1} \right) * (c_{f,1} - c_{f,2}) \quad (9)$$

missä,

$c_{f,1}$ Vasemmanpuoleinen taulukon C_f arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.

$c_{f,2}$ Oikeanpuoleinen taulukon C_f arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.

Sivusuhte Oma sivusuhte arvo, jonka saa laskemalla.

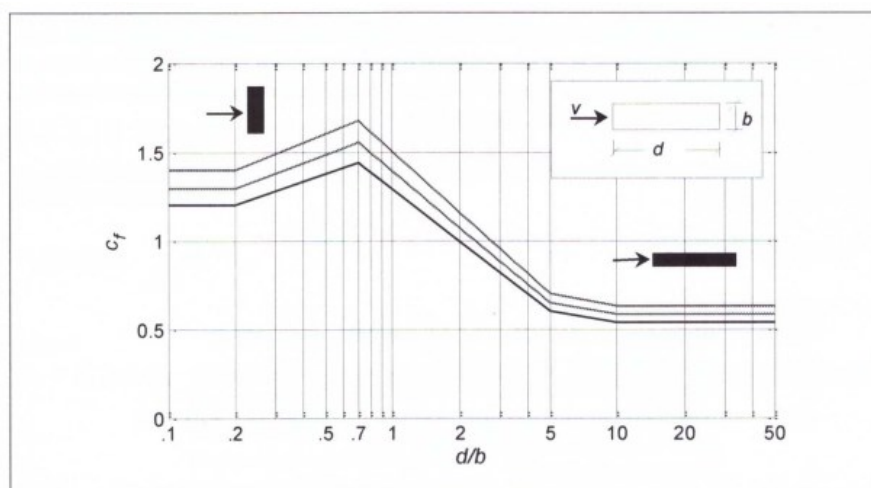
d/b_1 Pienempi sivusuhte arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.

d/b_2 Isompi sivusuhte arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.

→ *Esimerkki kaavan toiminnasta löytyy kohdasta 2.2*

Kaava 9. Voimakertoimen interpolointi

Alla olevassa kuvassa 9 voimakerroin C_f voidaan määrittää suorakaidepoikkileikkauksen omaaville matalille ja korkeille rakennuksille. Käyrät ovat esitetty numeraalisesti taulukossa 2.



KUVA 9. Suorakaidepoikkileikkauksen omaavalle matalalle tai korkealle rakennukselle voimakkeroin. (RIL 201-1-2017, 141)

Kokonaistuulivoima F_w

Kokonaistuulivoiman kaava on (RIL 201-1-2017, 140):

$$F_w = C_s C_d * C_f * q_p(h) * A_{ref} \quad (10)$$

missä,

$C_s C_d$ Rakennekerroin

C_f Voimakkeroin

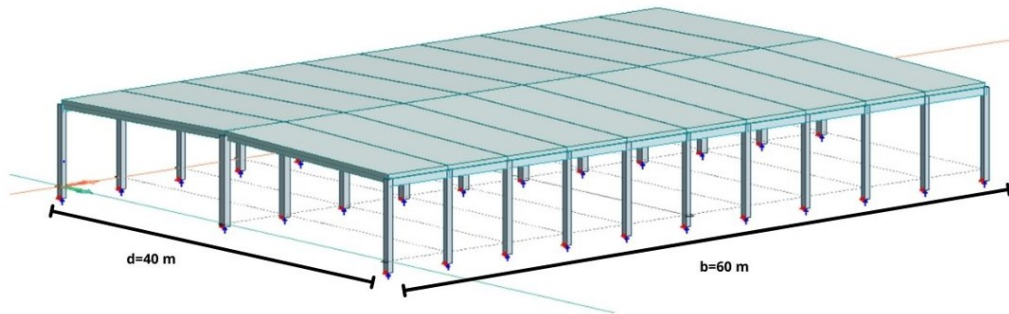
$q_p(h)$ Puuskanopeuspaine

A_{ref} Tuulikuorman vaikutusala

Kaava 10. Kokonaistuulivoima

2.2. Voimakerroinmenetelmä-esimerkki

Esimerkkinä voimakerroinmenetelmän määrittämisessä käytetään opinnäytetyön arvoja. Lasketaan kokonaistuulikuorma pidemmälle sivulle rakennusta. Esimerkkilaskussa maaston paikallinen pinnanmuoto ei vaikuta tuulenopeuteen.



KUVA 10. Esimerkkirakennuksen mitat (Mustonen 2023)

Lähtötiedot:

- Maastoluokka II
- Leveys $b = 60$ m
- Pituus $d = 40$ m
- Korkeus $h = 8,28$ m

Tuulenopeuden perusarvo

$V_{b,0} = 21$ m/s.

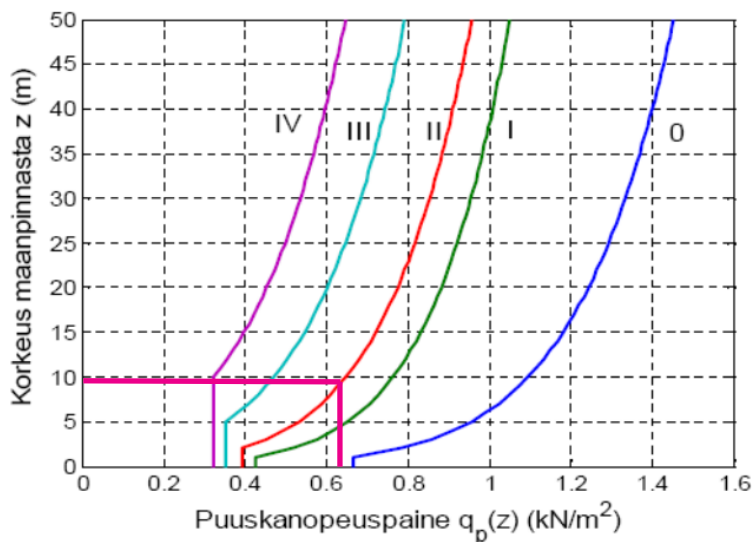
$$V_b = 1 * 1 * 21 \text{ m/s} = 21 \text{ m/s}$$

Puuskanopeuspaine

Nopeuspaineekorkeus

$$8,28 \text{ m} \leq 60 \text{ m}$$

$$\rightarrow q_p(z) = q_p(z_e)$$



KUVA 11. Puuskanopeuspaineen ominaisarvo (RIL 201-1-2017, 136)

Käyrästä katsottuna puuskanopeuspaineen ominaisarvoksi saadaan:

- $q_p(z) = 0,63$

Tuulenguorman vaikutusala

$$A_{ref} = 6 \text{ m} * 6,5 \text{ m} = 39 \text{ m}^2$$

- 6 m = J_1 , Pilarin kehäjako ($b = J_1$)
- 6,5 m = h, Vapaa korkeus

Tehollinen hoikkuus

$$\lambda = \frac{2 * 8,28 \text{ m}}{60 \text{ m}} = 0,28$$

- 8,28 m = $h_{harjalle}$, korkeus maanpinnasta harjalle ($h = h_{harjalle}$)
- 60 m = b, rakennuksen leveys tuulta vastaan kohtisuorassa

Sivusuhte

$$\frac{40 \text{ m}}{60 \text{ m}} = 0,67$$

- 40 m = d, rakennuksen pituus
- 60 m = b, rakennuksen leveys

Voimakerroin

Voimakerroin saadaan taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Voimakerroin numeraalisesti (RIL 201-1-2017, 141)

λ	Sivusuhte d/b								
	0,1	0,2	0,5	0,7	1	2	5	10	50
≤ 1	1,2	1,2	1,37	1,44	1,28	0,99	0,60	0,54	0,54
3	1,29	1,29	1,48	1,55	1,38	1,07	0,65	0,58	0,58
10	1,40	1,40	1,60	1,68	1,49	1,15	0,70	0,63	0,63

Pinkillä ympyröity tehollinen hoikkuus ja sivusuhte luvut, joiden välistä oma sivusuhte arvo on. C_f -luvun määrittämisessä olevat interpoloidut luvut ovat merkattu vaalean sinisellä.

$$C_f = 1,37 - \left(\frac{0,67 - 0,5}{0,7 - 0,5} \right) * (1,37 - 1,44) = 1,43$$

- 1,37 = Vasemmanpuoleinen taulukon C_f -arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.
- 0,67 = Oma sivusuhte arvo, joka laskettuna ylempänä.
- 0,5 = Pienempi sivusuhte arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.
- 0,7 = Suurempi sivusuhte arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.
- 1,44 = Oikeanpuoleinen taulukon C_f -arvo, jonka välistä oma sivusuhte arvo on.

Kokonaistuulivoima

$$F_w = 1,0 * 1,43 * 0,63 * 39m^2 = 35,09kN$$

- 1,0 = $C_s C_d$, rakennekerroin
- 1,43 = C_f , voimakerroin
- 0,63 kN/m² = $q_p(z)$, puuskanopeuspaine
- 39 m² = A_{ref} , Kuormitusala

Pilarin viivatuulikuorma

$$q_{w,k} = 1,0 * 1,43 * 0,63 * 6m = 5,4 kN/m$$

- 1,0 = $C_s C_d$, rakennekerroin
- 1,43 = C_f , voimakerroin
- 0,63 kN/m² = $q_p(z)$, puuskanopeuspaine
- 6 m = J_1 , Pilarin kehäjako ($b=J_1$)

Tuulenguorman vaikutusala pilarin yläpuolella

$$A_{ref,yläpuoli} = 6m * 1,78m = 10,7 m^2$$

- 6 m = J_1 , Pilarin kehäjako ($b=J_1$)
- 1,78 m = $h_{pilarin\ yläpuoli}$, kuormituskorkeus ($h=h_{pilarin\ yläpuoli}$)

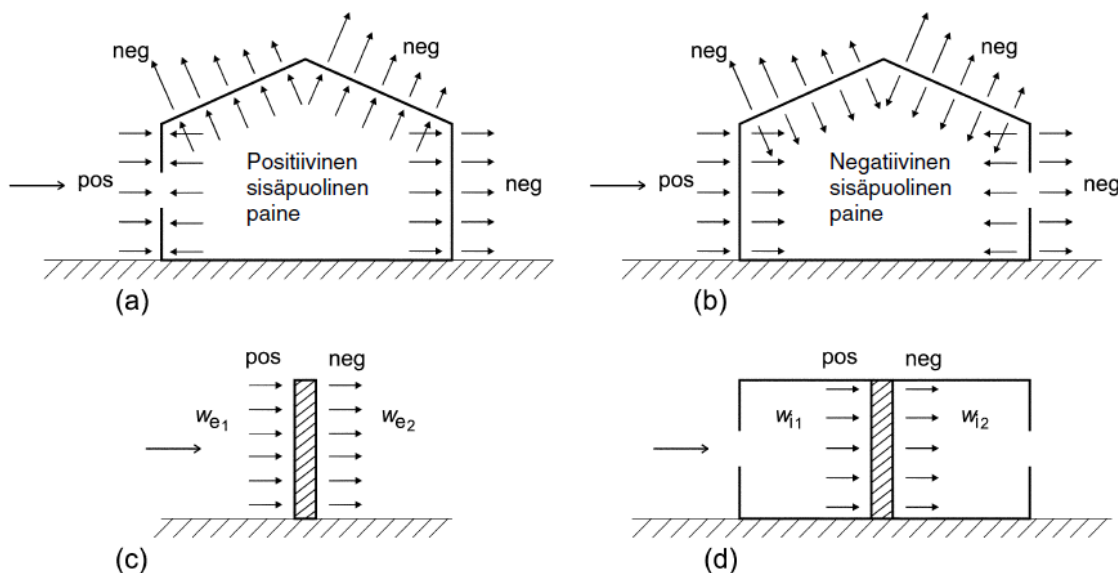
Pilarin yläpään yläpuolen pistekuorma

$$F_{w,yläpuoli} = 1,0 * 1,43 * 0,63 * 10,7 m^2 = 9,6 kN$$

- 1,0 = $C_s C_d$, rakennekerroin
- 1,43 = C_f , voimakkerroin
- 0,63 kN/m² = $q_p(z)$, puuskanopeuspaine
- 10,7 m² = A_{ref} , Kuormitusala

2.3. Pintapainemenetelmä

Pintapainemenetelmällä tuulen kokonaiskuorma voidaan laskea tiettyyn rakennuksenosaan kohdistuvat tuulennopeuden arvot. Pintapainemenetelmällä laskeminen on pidempi ja monimutkaisempi tapa, kuin voimakerroinmenetelmällä. Rakennuksen ulkopinnat jaetaan eri vyöhykkeisiin, johon vaikuttaa rakennuksen mitat sekä katonmuoto.



KUVA 12. Pintoihin kohdistuva paine (RIL 201-1-2017, 139)

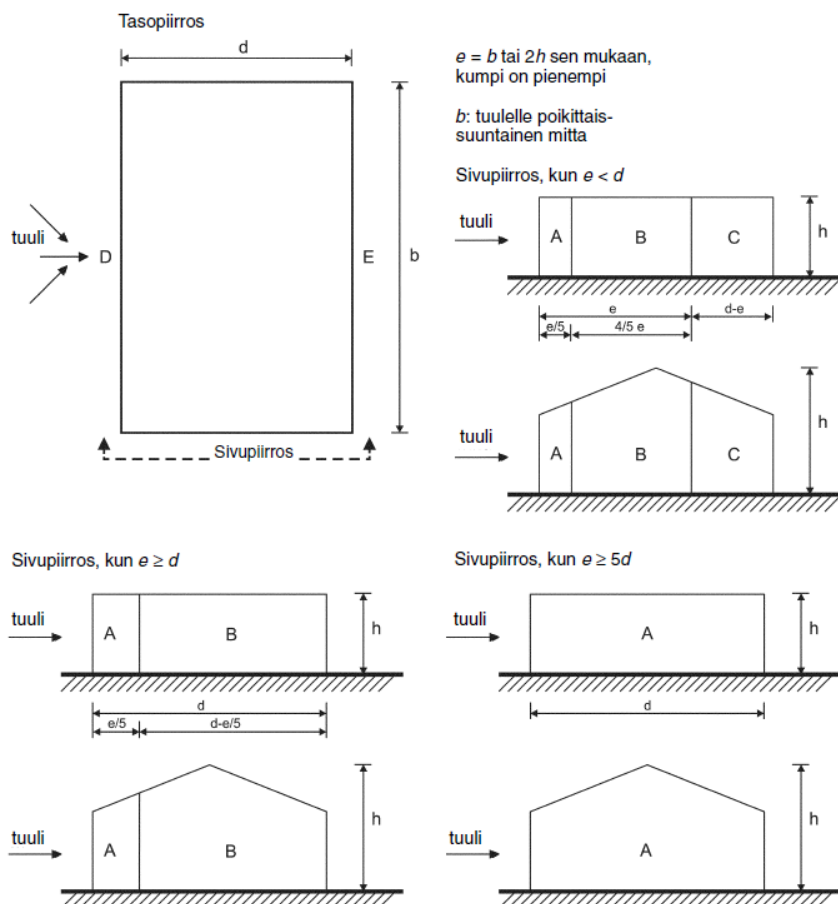
Painekerroin

Sisäpintoihin vaikuttava painekerroin C_{pi} ja ulkopintoihin vaikuttava painekerroin C_{pe} . Pintavyöhykkeet saadaan määritettyä alla olevasta kuvasta 9. Painekertoimet saadaan vyöhykkeiden avulla alla olevasta taulukosta 4. Ulkopuoliset painekertoimet määritetään rakenteen kuormitusalan mukaan, kertoimet esiintyvät pinta-alojensa mukaan 1 m^2 :n pinta-ala otetaan taulukon 4 $C_{pe,1}$ - kohdalta ja 10 m^2 :n otetaan $C_{pe,10}$ -kohdalta. Taulukon 4 arvojen etumerkit kertovat tuulesta syntyvän paineen suuntaa, (+) -merkki tarkoittaa pintaan tulevaa painetta ja (-) -merkki tarkoittaa pinnasta lähtevää imua.

Kuormitetun alan ollessa väliltä $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$, arvo voidaan interpoloida kaavalla (RIL 201-1-2017, 148):

$$C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) * \log_{10} A \quad (11)$$

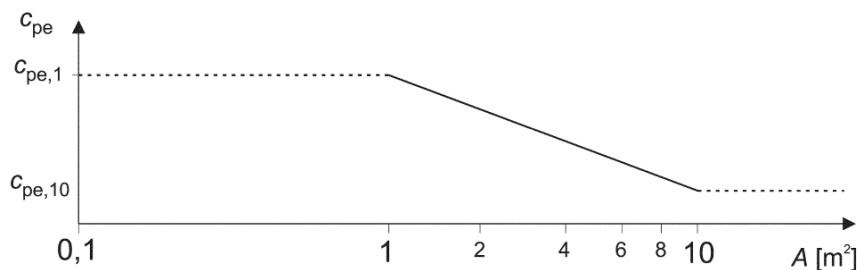
Kaava 11. Painekertoimen interpolointi



KUVA 13. Vyöhyke kaavio pystyseisille (RIL 201-1-2017, 150)

TAULUKKO 4. Rakennusten pystyseisien ulkopuolisen paineen kertoimien suoritusarvot. (RIL 201-1-2017, 150)

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	



Kuvaaja perustuu seuraavaan logaritmiseen interpolaatioon:
välillä $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$ $C_{pe} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) \log_{10} A$

KUVA 14. Ulkopuolisen paineen kertoimen riippuvuus kuormitusala A koosta (RIL 201-1-2017, 148)

Pintoihin vaikuttava tuulenpaine

Rakenteiden osien mitoittamiseen käytetään tuulenpaineita ja painekuormia, joita voidaan käyttää kokonaisvoimaa laskiessa. Pintoihin vaikuttavien tuulenpaineiden yksikkönä toimii kN/m².

Ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 138):

$$W_e = q_p(z_e) * C_{pe} \quad (12)$$

missä,

$q_p(z_e)$	Puuskanopeuspaine
C_{pe}	Ulkoisenpaineenkerroin
Z_e	Ulkoisenpaineen nopeuspaine korkeus

Kaava 12. Tuulen paine ulkopinnoissa

Sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 138):

$$W_i = q_p(z_i) * C_{pi} \quad (13)$$

missä,

$q_p(z_i)$	Puuskanopeuspaine
C_{pi}	Sisäpuolisenpaineenkerroin
Z_i	Sisäpuolisenpaineen nopeuspaine korkeus

Kaava 13. Tuulen paine sisäpinnoissa

Pintoihin vaikuttavat kuormat

Pintoihin vaikuttaviin kuormiin tarvitaan paineenkerroin, yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala, nopeuspaine korkeus ja ulkopuolisiin kuormiin tarvitaan myös rakennekerroin.

Ulkopuolinen kuorma saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 143):

$$F_{w,e} = C_s C_d * \sum_{pinnat} W_e * A_{ref} \quad (14)$$

missä,

$C_s C_d$	Rakennekerroin
W_e	Ulkopuolinen paine
A_{ref}	Tuulakuorman vaikutusala

Kaava 14. Ulkopuolinen kuorma

Sisäpuolinen kuorma saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 143):

$$F_{w,i} = \sum_{pinnat} W_i * A_{ref} \quad (15)$$

missä,

W_i	Ulkopuolinen paine
A_{ref}	Tuulakuorman vaikutusala

Kaava 15. Sisäpuolinen kuorma

Kitkakuorma

Kitkakuorma on otettava huomioon laskiessa kokonaistuulikuormaa pintojen osapaineiden avulla. Kitkakuorman voi jättää huomiotta, jos pintojen kokonaisala on enintään 4 kertaa kaikkia tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala. Ulkopinnan karheus vaikuttaa myös kitkakuormaan, joka otetaan huomioon kitkakuormaa laskiessa kitkakertoimenä, joka saadaan alla olevasta taulukosta 5. Kitkakuorman vaikutusalaa laskiessa otetaan pienempi arvoista $2b$ tai $4h$, jossa b tarkoittaa seinäosan leveyttä ja h tarkoittaa rakennuksen korkeutta. Kitkakuorman vaikutusalasta on havainnoiva kuva 15 alla.

Kitkakuorman huomion arvioinnin kaava (RIL 201-1-2017, 143):

$$\frac{(h*d*2+b*d)}{(h*b*2)} < 4 \quad (16)$$

missä,

h Rakennuksen korkeus

b Rakennuksen leveys

d Rakennuksen pituus

Kaava 16. Arviointi kitkakuorman huomioinnista

Kitkakuorman vaikutusalueen pituus eli tehollinen leveys saadaan laskettua vähentämällä rakennuksen pituudesta laskiessa pienempi arvo $2*b$ tai $4*h$. Alapuolella oleva kuva (kuva 15) auttaa havainnollistamaan.

Kitkakuorman vaikutusalueen pituus saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 170):

$$d_{fr} = d - \min \left\{ \begin{array}{l} 2 * b \\ 4 * h \end{array} \right. \quad (17)$$

missä,

b Rakennuksen leveys

d Rakennuksen pituus

h Rakennuksen korkeus

Kaava 17. Kitkakuorman vaikutusala

Seinän vaikutusala tulee kaavasta (RIL 201-1-2017, 170):

$$A_{fr} = 2 * h * d \quad (18)$$

missä,

d Seinän pituus

h Seinän korkeus

Kaava 18. Kitkakuorman vaikutusala seinässä

Katon vaikutusala tulee kaavasta (RIL 201-1-2017, 170):

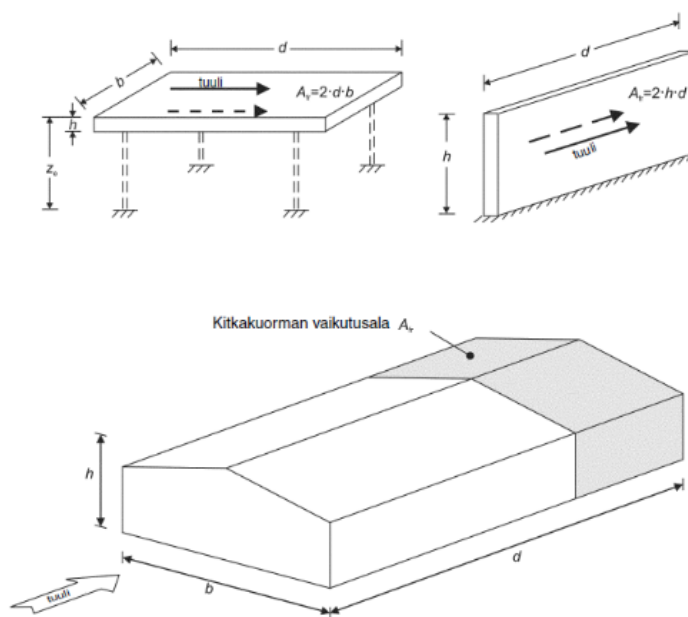
$$A_{fr} = 2 * d * b \quad (19)$$

missä,

b = Rakennuksen leveys

h = Rakennuksen korkeus

Kaava 19. Kitkakuorman vaikutusala katossa



KUVA 15. Kitkakuorman vaikutusala. (RIL 201-1-2017, 170)

Kitkakuorma saadaan kaavalla (RIL 201-1-2017, 169):

$$F_{fr} = C_{fr} * q_p(z) * A_{fr} \quad (20)$$

missä,

C_{fr} = Kitkakerroin

$q_p(z)$ = Puuskanopeuspaine

A_{fr} = Kitkakuorman vaikutusalue

Kaava 20. Kitkakuorman kaava

TAULUKKO 5. Kitkakerroin seinille ja katoille (RIL 201-1-2017, 169)

Pinta	Kitkakerroin C_{fr}
Sileä (eli teräs, sileä betoni)	0,01
Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)	0,02
hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04

Kokonaistuulikuorma

Kokonaistuulikuorma saadaan laskemalla yhteen rakenteen tai rakenneosien sisä- ja ulkopuolisen tuulikuorman ja ulkopintojen suuntaisesta kitkasta tulevat kuormitukset. Kertoimella γ_e huomioidaan etu- ja takapuolella rakennuksessa esiintyvien paine- ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samanaikaisesti. γ_e -arvo on 1, jos $h/d \geq 5$ tai 0,85, jos $h/d \leq 1$, näiden välistä olevat arvot interpoloidaan.

Rakenneosien tuulikuorma saadaan kaavasta (RIL 201-1-2017, 144):

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (21)$$

missä,

$F_{w,e}$ = Rakennuksen ulkopintaan vaikuttava painekuorma

$F_{w,i}$ = Rakennuksen sisäpintaan vaikuttava painekuorma

Kaava 21. Rakenneosien tuulikuorma

Paine- ja imuvoimien huippuarvojen huomioiva kerroin saadaan kaavasta (RIL 201-1-2017, 144):

$$\gamma_E = 1,0, \text{ jos } \frac{h}{d} \geq 5 \quad (22)$$

$$\gamma_E = 0,85, \text{ jos } \frac{h}{d} \leq 1$$

missä,

h = Rakennuksen korkeus

d = Rakennuksen pituus

Kaava 22. Paine- ja imuvoimien kerroin

Kokonaistuulivoima saadaan kaavasta (RIL 201-1-2017, 144):

$$F_w = \gamma_e * F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}$$

missä,

$F_{w,e}$ = Rakennuksen ulkopintaan vaikuttava painekuorma

$F_{w,i}$ = Rakennuksen sisäpintaan vaikuttava painekuorma

F_{fr} = Kitkavoima

γ_e = Kerroin, joka huomioi paine- ja imuvoimien huippuarvot

Kaava 23. Kokonaistuulivoima

Katot

Katon lapekulman kaltevuus vaikuttaa määrittäessä kattoa.

Tasakatto = Lapekulma \pm 5 astetta

Pulpettikatto = Lapekulma yli 5 astetta

Harjakatto = Lapekulma yli 5 astetta

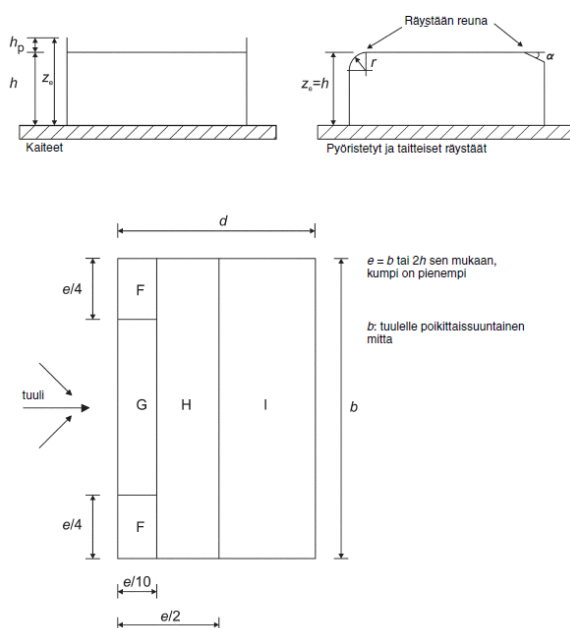
Aumakatto = Lapekulma yli 5 astetta

Sahakatto = Lapekulma yli 5 astetta

Kaarikatto ja kupoli = Lapekulmaa ei määritetty

Kattopinnot jaetaan vyöhykkeisiin, johon vaikuttaa rakennuksen mitat sekä tuulen suunta. Vyöhykkeistä saadaan määritettyä katolle ulkopuoliset paineet. Pitkissä katoissa huomioidaan myös kitkavoimat. Pulpetti- ja harjakatossa ulkopuolisen paineen kertoimen suoritusarvoja valittaessa otettava huomioon kattojen kaltevuudet sekä tuulen suunta. Tasakatoissa otettava huomioon ulkopuolisen paineen kertoimen suoritusarvoja valittaessa räystäiden muoto.

Tasakatto:



KUVA 16. Vyöhykekaavio tasakatto. (RIL 201-1-2017, 151)

TAULUKKO 6. Ulkopuolisen paineen kertoimet tasakatto. (RIL 201-1-2017, 152)

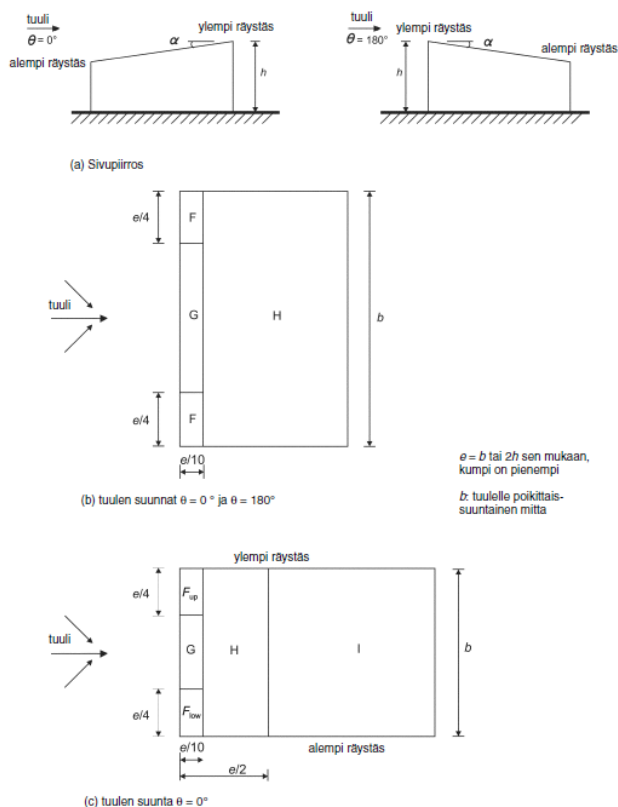
Kattotyyppi	Vyöhyke							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Teräväreunaiset räystäät	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
Kalleilla varustetut räystäät	$h_r/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2
	$h_r/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2
	$h_r/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2
Pyöristetyt räystäät	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2
Taitteiset räystäät	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2

Pulpettikatto:

Pulpettikatosta määritetään taulukosta 7 kaksi eri tapausta tuulen suunnan ollessa 0° :

- Kaikki arvot positiivisia
- Kaikki arvot negatiivisia

Samalla lappeella ei saa käyttää negatiivisia ja positiivisia arvoja sekaisin, jotka saadaan taulukosta 7.



KUVA 17. Vyöhykekaavio pulpettikatto. (RIL 201-1-2017, 153)

TAULUKKO 7. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatto tuulen suunta 0° tai 180° . (RIL 201-1-2017, 154)

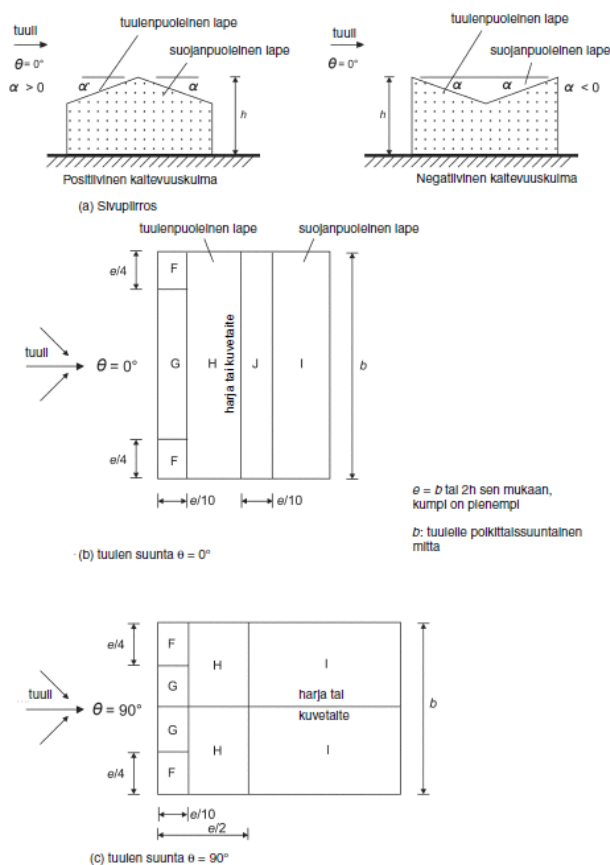
Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$						Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

TAULUKKO 8. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatto tuulen suunta 90° . (RIL 201-1-2017, 154)

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

Harjakatto:

Harjakaton lapekulma voi olla myös alle 0° alla olevan kuvan 18 mukaisesti. Harjakatosta määritetään taulukosta 9 neljää eri tapausta tuulen suunnan ollessa 0° , joissa alueiden F, G, H isoimmat tai pienimmät arvot yhdistetään alueiden I ja J isoimpien ja pienimpien arvojen kanssa. Samalla lappeella ei saa käyttää negatiivisia ja positiivisia arvoja sekaisin, jotka saadaan taulukosta 9.



KUVA 18. Vyöhykekaavio harjakatto. (RIL 201-1-2017, 155)

TAULUKKO 9. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatto tuulen suunta 0° . (RIL 201-1-2017, 156)

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

TAULUKKO 10. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatto tuulen suunta 90° . (RIL 201-1-2017, 157)

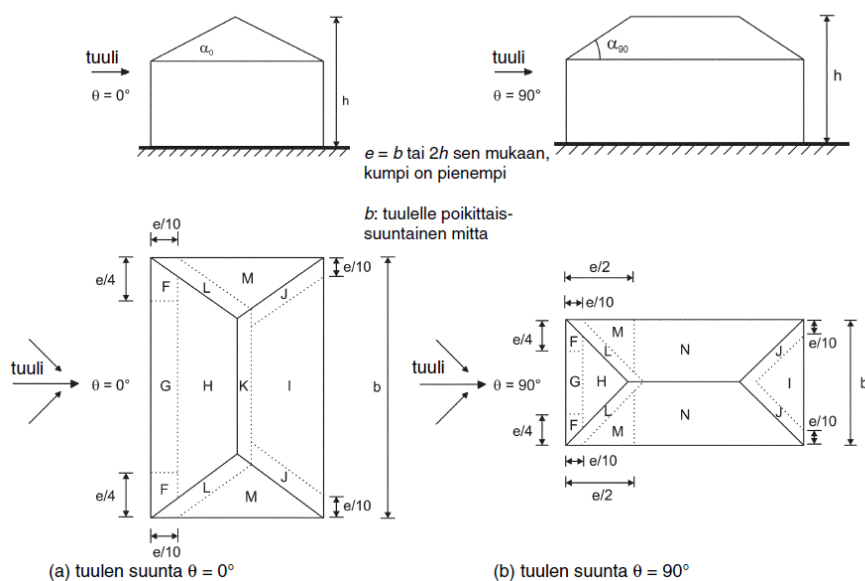
Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9		-1,2	
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9		-1,2	
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8		-1,2	
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6		-1,2	
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6		-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5		-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5		-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5		-0,5	

Aumakatto:

Aumakatossa lappeenkulma, joka on tuulenpuolella määrittää aina painekertoimet. Aumakatosta määritetään taulukosta 11 kaksi eri tapausta tuulen suunnan ollessa 0° , kun katon kaltevuuskulma on $\alpha = +15^\circ - +30^\circ$:

- Kaikki arvot positiivisia
- Kaikki arvot negatiivisia

Samalla lappeella ei saa käyttää negatiivisia ja positiivisia arvoja sekaisin, jotka saadaan taulukosta 11.



KUVA 19. Vyöhykekaavio aumakatto. (RIL 201-1-2017, 157)

TAULUKKO 11. Ulkopuolisen paineen kertoimet aumakatto tuulen suunta 0° tai 90° . (RIL 201-1-2017, 158)

Kaltevuuskulma α_0 kun $\theta = 0^\circ$ α_{90} kun $\theta = 90^\circ$	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$ ja $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

Sahakatto:

Jännevälien painekertoimet otetaan pulpettikaton kuvasta muunnettuna alla olevan kuvan avulla. Jos sahakatolle ei muodostu vaakasuuntaista kuormaresultanttia katon pintaa vastaan kohtisuorasta tuulikuormasta käytetään minimikarheuskerrointa, joka on 0,05.

Vaakasuuntaisen kuormaresultantin minimiarvon kaava:

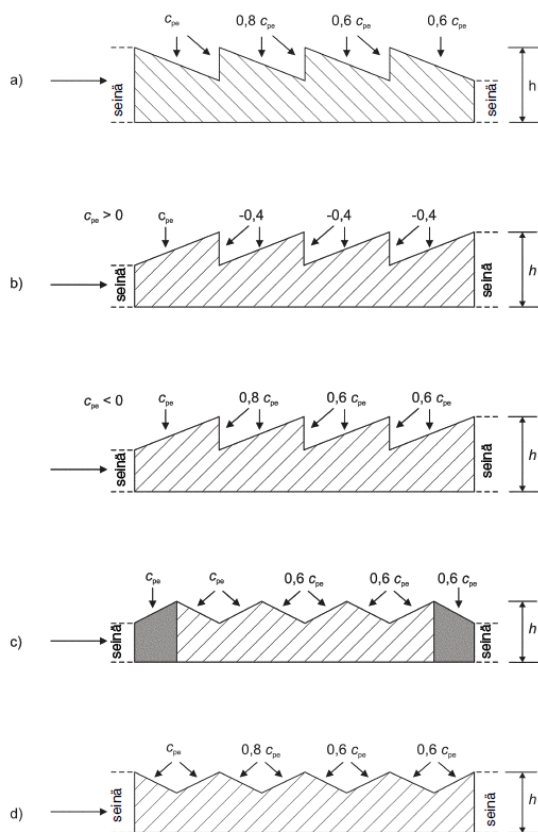
$$0,05 * q_{p,ze} * A_{shed}$$

Vaakasuuntaisen kuormaresultantin minimiarvon laskemiseen tarvitaan:

0,05 minimikarheuskerroin

$q_{p,ze}$ Puuskanopeuspaine

A_{shed} Vaakasuuntainen projektiopinta-ala



KUVA 20. Vyöhykekaavio sahakatto. (RIL 201-1-2017, 159)

Kaarikatto ja kupoli:

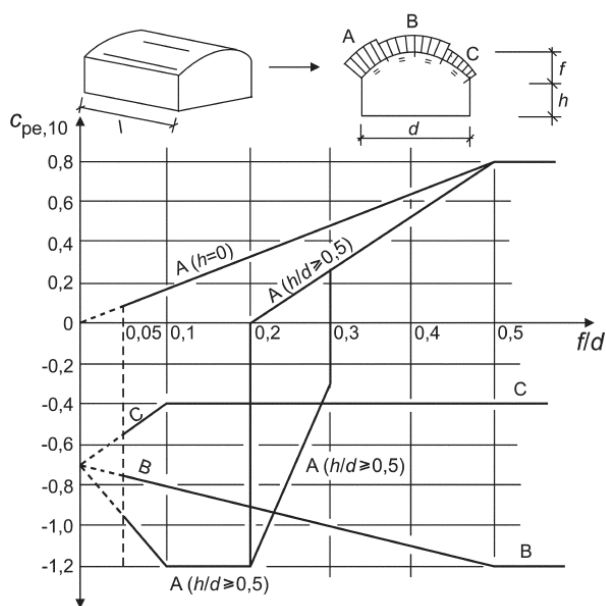
Nopeuspainekorkeus saadaan kaavalla:

$$Z_e = h + \frac{f}{2}$$

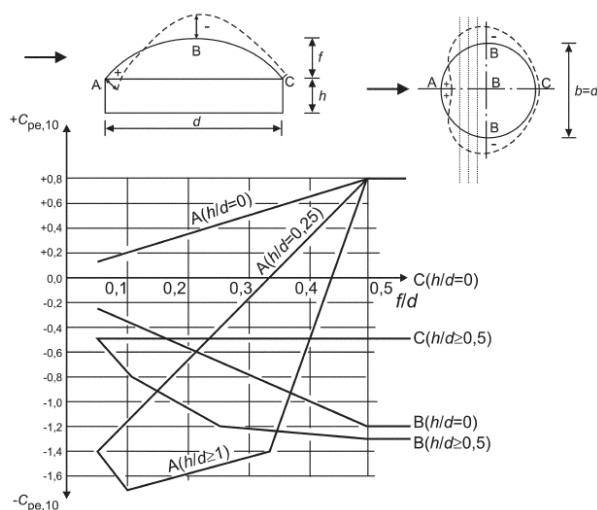
h Rakennuksen korkeus

f Katon korkeus seinästä

Kaarikatossa vyöhykkeen A ulkopuolinen paineen kerroin saadaan lineaarisesti interpoloimalla, kun $0 < h/d < 0,5$.



KUVA 21. Vyöhykekaavio kaarikatto. (RIL 201-1-2017, 160)



KUVA 22. Vyöhykekaavio kupoli. (RIL 201-1-2017, 161)

Sisäpuolinen paine

Sisäpuoliseen paineen kertoimeen C_{pi} vaikuttaa rakennuksessa olevien aukkojen koko sekä niiden jakauma. Rakennuksessa ollessa määräävä sivu seinä tai katto sisäpuolinen painekerroin lasketaan alla olevien kaavojen mukaisesti.

Sisäpuolisen paineen kertoimen määräävän sivun kaavat:

$$C_{pi} = 0,75 * C_{pe}$$

- Aukkojen pinta-ala on kaksinkertainen määräävällä sivulla, verrattaessa muiden sivujen aukkojen pinta-aloihin.

$$C_{pi} = 0,90 * C_{pe}$$

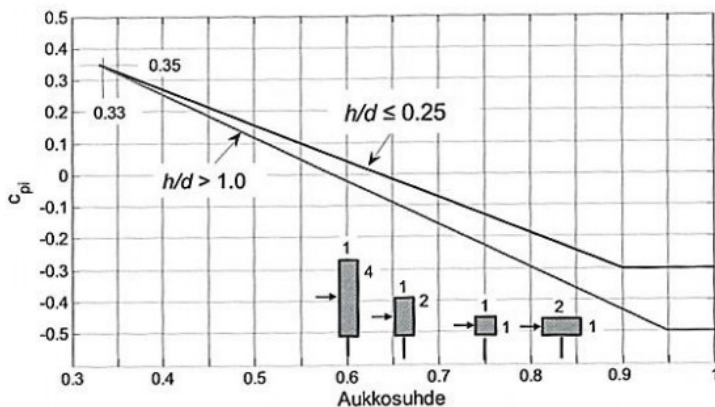
- Aukkojen pinta-ala on vähintään kolminkertainen määräävällä sivulla, verrattaessa muiden sivujen yhteensä olevien aukkojen pinta-aloihin.

Rakennuksesta puuttuessa määräävä sivu eli rakennuksessa olevat aukot ovat tasaisesti jakautuneet ympäri rakennusta määritetään aukkosuhde alla olevalla kaavalla

Sisäpuolisen paineen kertoimen määräämättömän sivun kaava:

$$\mu = \frac{\sum \text{niiden aukkojen pinta-ala, joiden kohdalla } C_{pe} < 0}{\sum \text{Kaikkien aukkojen pinta-ala}}$$

Aukkosuhteen saatua voidaan alla olevasta kuvasta valita C_{pi} -arvo. Avoimille sivuille on taulukko 12, jossa on määritetty sisäisen paineen kertoimet.



KUVA 23. Sisäisen paineen kerroin aukot tasaisesti jaettuna. (RIL 201-1-2017, 162)

TAULUKKO 12. Sisäisen paineen kertoimet avoimille sivuille rakennuksessa. (RIL 201-1-2017, 163)

Tuulen suunta θ	Yksi avoin sivu ¹⁾		Kaksi vierekkäistä avointa sivua ²⁾	Kolme vierekkäistä avointa sivua ³⁾
	Lyhyempi sivu avoin	Pidempi sivu avoin		
$\pm 0^\circ$	+ 0,85	+0,68	+0,77	+0,60
$\pm 90^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77, -0,38	0
$\pm 180^\circ$	-0,16	-0,16	-0,30	-0,39
$\pm 270^\circ$	-0,60	-0,40	+0,77	0

¹⁾ Suuntakulma $\theta = 0^\circ$, kun tuuli puhaltaa avoimesta sivusta rakennuksen sisään

²⁾ Suuntakulma $\theta = 0^\circ$, kun tuuli puhaltaa pidemmästä avoimesta sivusta rakennuksen sisään. Tuulen suuntakulmalle $\theta = 90^\circ$ annetaan kaksi arvoa. Negatiivinen arvo koskee tuulenpuoleista lyhyttä sivua, johon tuuli puhaltaa ulkoapäin. Positiivinen arvo koskee samaa sivua tilanteessa, jossa tuulen suunta on päinvastainen

³⁾ Näitä arvoja sovelletaan silloin, kun seinään liittyy katos. Suuntakulma $\theta = 0^\circ$ silloin, kun tuuli puhaltaa katoksen sisään, kohtisuorasti seinää vastaan.

3. HALLIRAKENNUS

Opinnäytetyössä tarkasteltu rakennemalli on tehty tilaajalta saatujen alustavien mittojen mukaisesti. Rakennejärjestelmänä hallissa on mastopilarikehät, hallin päissä on tuulipilarit vastaanottamassa kuormia. Kohde on kaksilaivainen betonirunkoinen hallirakennus. Hallin pituus on 60 metriä ja leveys 40 metriä. Hallin vapaa korkeus on 6,5 metriä ja harjakaton kaltevuus on 1:40. Palkkien jänneväli on 6 metriä hallin pituussuunnassa ja TT-laatan jänneväli on 20 metriä hallin leveysuunnassa.

3.1. Rakennemallin lähtötiedot

Kaksilaivainen halli

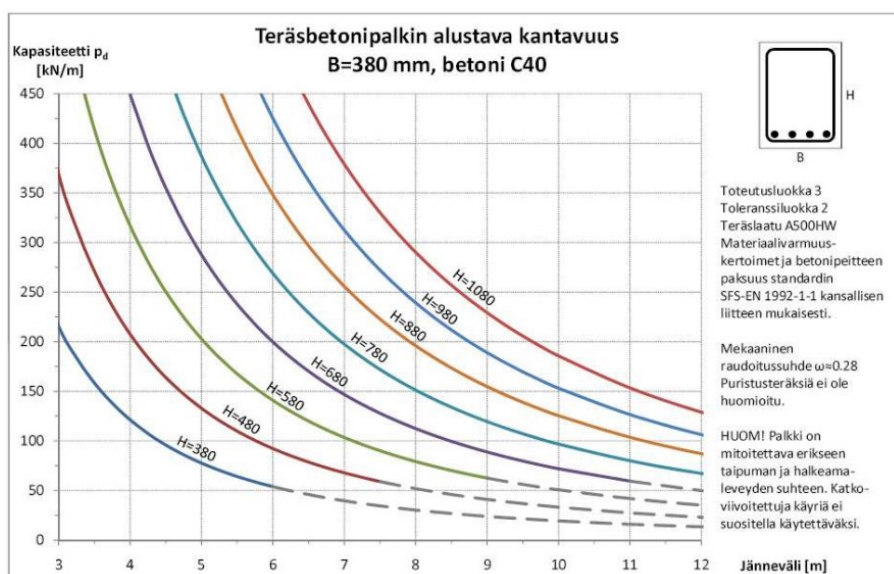
Betoniluokka	C40/50
Reunapilarin poikkileikkaus	480 mm x 480 mm
Keskipilarin poikkileikkaus	580 mm x 580 mm
Reunapalkin poikkileikkaus	380 mm x 580 mm, pituus 6 000 mm
Keskipalkin poikkileikkaus	480 mm x 780 mm, pituus 6 000 mm
TT-laatta	TT700 x 120-2990
Tuulikuorman maastoluokka	II
Lumikuorma katolla	2.0 kN/m ²
Rakennekuorma katolla	1.2 kN/m ²

Opinnäytetyössä suunnitellut palkit ovat suorakaide palkkeja, joiden dimensio valittiin elementtisuunnittelun sivuilta suositeltavista palkkien koko taulukosta sekä teräsbetonipalkkien alustavien kantavuuksien käyrästä. Reunapalkki 380 mm x 580 mm x 6 000 mm ja keskipalkki 480 mm x 780 mm x 6 000 mm on suositeltavin alla olevan kuvan mukaan. Reuna- ja keskipalkin alustavat kantavuudet katsottiin myös elementtisuunnittelun sivuilta löytyvistä käyrästä.

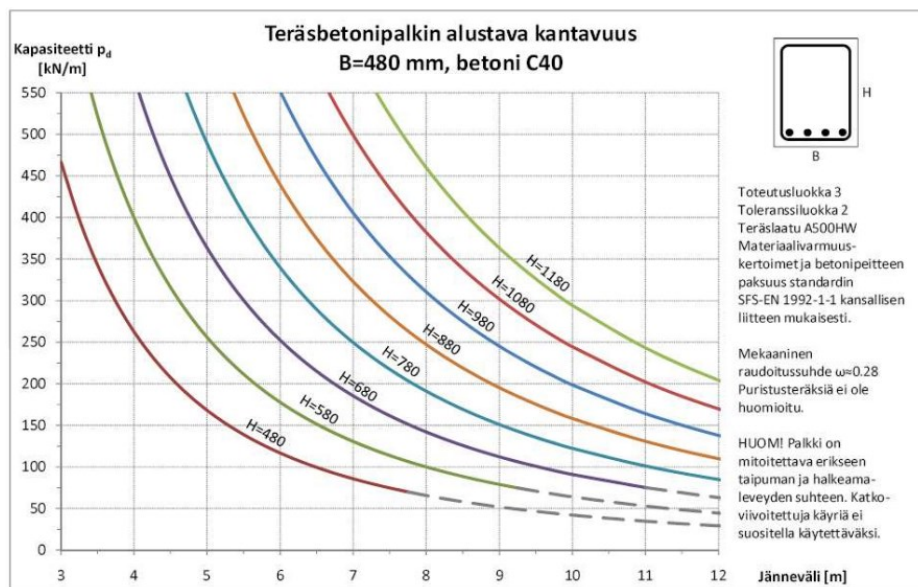
		PALKIN LEVEYS			
		2M 180	3M 280	4M 380	5M 480
PALKIN KORKEUS	3M 280				
	4M 380				
	5M 480				
	6M 580				
	7M 680				
	8M 780				
	9M 880				
	10M 980				

SUOSITELTAVIN
 SUOSITELTAVA

KUVA 24. Suorakaidepalkin suosituskoot (Elementtisuunnittelu, Palkit 2023)

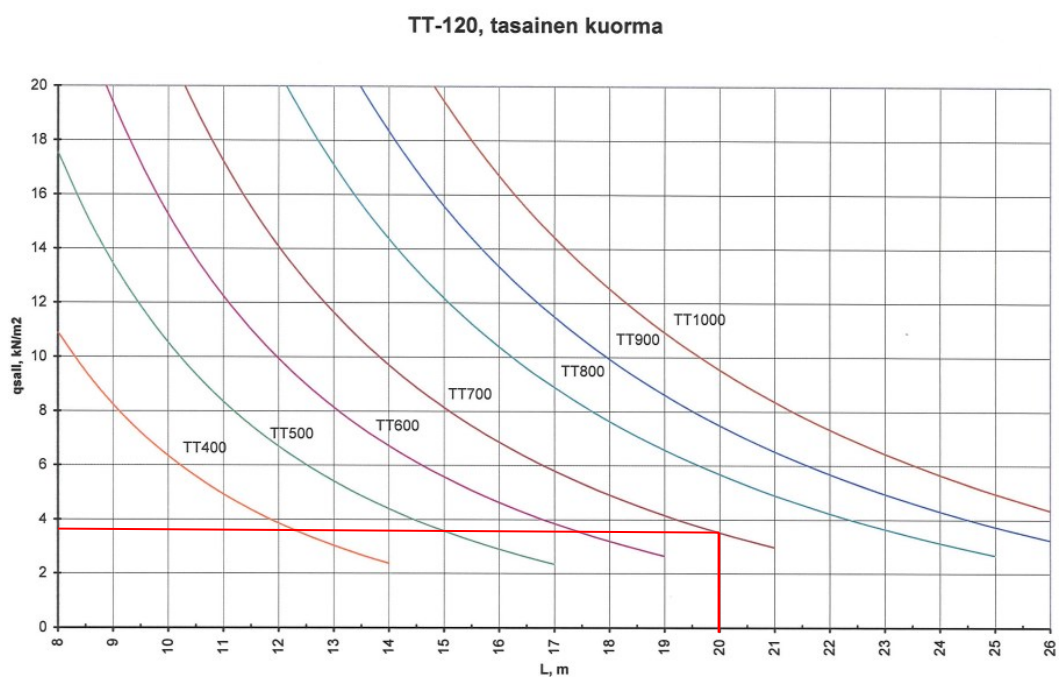


KUVA 25. Teräsbetonipalkin alustava kantavuus B=380 mm (Elementtisuunnittelu, Palkit 2023)

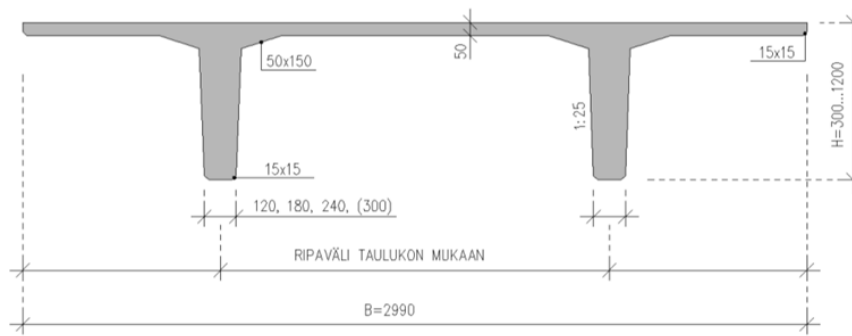


KUVA 26. Teräsbetonipalkin alustava kantavuus B=480

TT-laatta mitoitettavaan halliin valittiin jännevälin ja kuorman perusteella elementtisuunnittelun siivilta TT-120 käyrästä. Laatan korkeudeksi valittiin TT700.



KUVA 27. Mitoituskäyrästä TT-120. (Elementtisuunnittelu TT-laattojen mitoituskäyrät julkaisu-aika tuntematon)



KUVA 28. TT-laatan poikkileikkaus (Betonitieto, Laatat julkaisuaika tuntematon)

3.2. Kuormat

Opinnäytetyössä kuormia on omapainoista, lumi ja tuulesta sekä huomioidaan poikittaisvoimien ominaisarvot ja mittaepätarkkuuksien vaikutukset. Opinnäytetyön kuormat lasketaan tarkemmin käsin laskuna Excel-pohjassa liitteessä 1.

Omapaino

Reunapilari

Ominaislaskentakuormat $N=315,1$ kNPoikittaisvoimien ominaisarvot pilareille $H=0,894$ kN

Keskipilari

Ominaislaskentakuormat $N=620,2$ kNPoikittaisvoimien ominaisarvot pilareille $H=1,760$ kN**Lumi**

Reunapilari

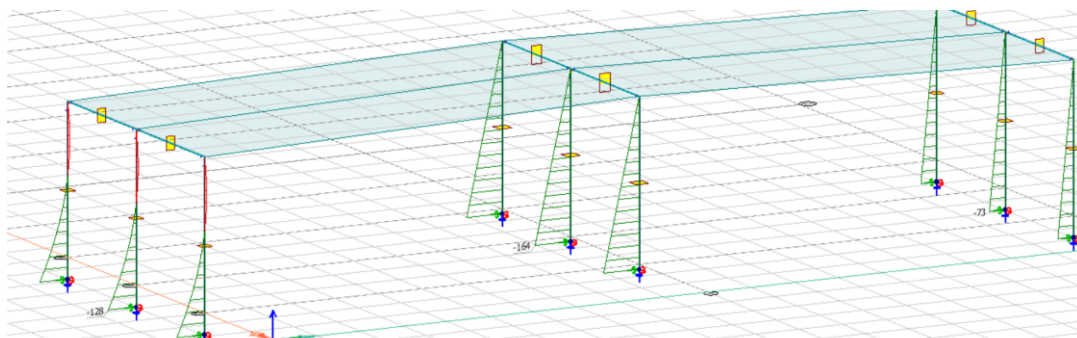
Ominaislaskentakuormat $N=120$ kNPoikittaisvoimien ominaisarvot pilareille $H=0,341$ kN

Keskipilari

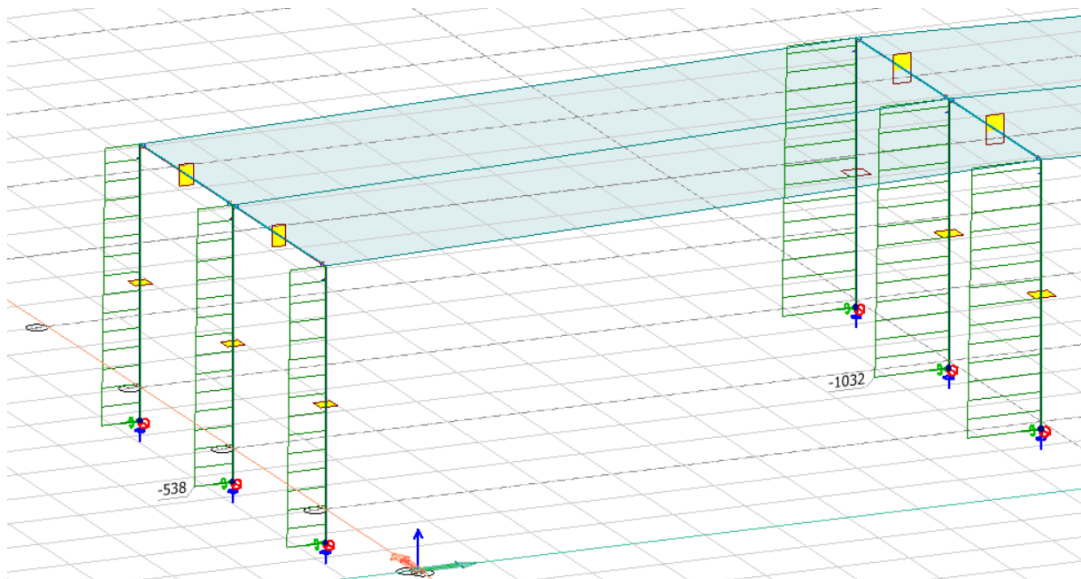
Ominaislaskentakuormat $N=240$ kNPoikittaisvoimien ominaisarvot pilareille $H=0,681$ kN**Tuuli**Pilarin tuulikuorma $q=5,4$ kN/mPistekuorma $F=9,61$ kN

3.3. Kuormayhdistely

Kuormayhdistelyt pilarille lasketaan Excel- ohjelmassa käsin ja verrattavat kuormitusyhdistelyt tehdään FEM-Design 3D-structure-ohjelmassa. Kuormayhdistelmiä tehtiin KY1 tuuli pääkuormana, KY2 lumi pääkuormana ja KY3 tuuli pääkuormana, ilman lunta, joista tehtiin taulukot käsin laskuna Excel-pohjaan. Pilarin kuormitusyhdistelmät käsin laskuna löytyy tarkemmin liitteestä 2.



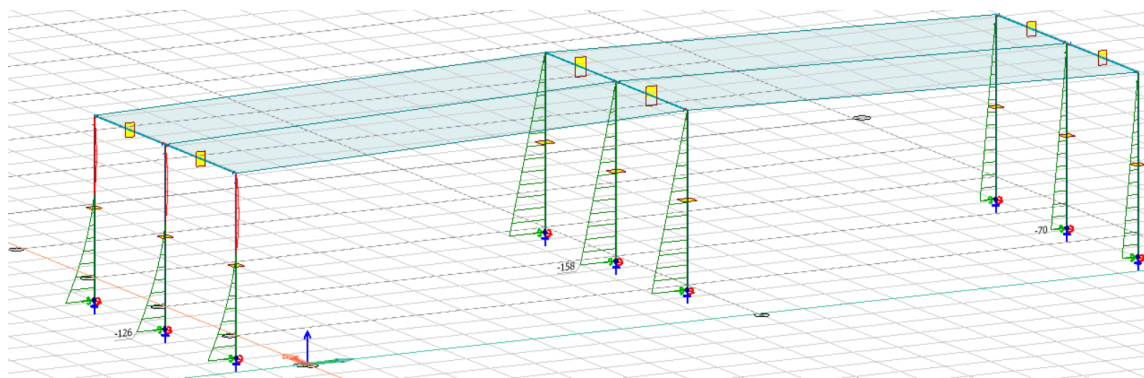
KUVA 29. KY1 tuuli pääkuormana, murtorajatilán mitoittavat momentit (Mustonen 2023)



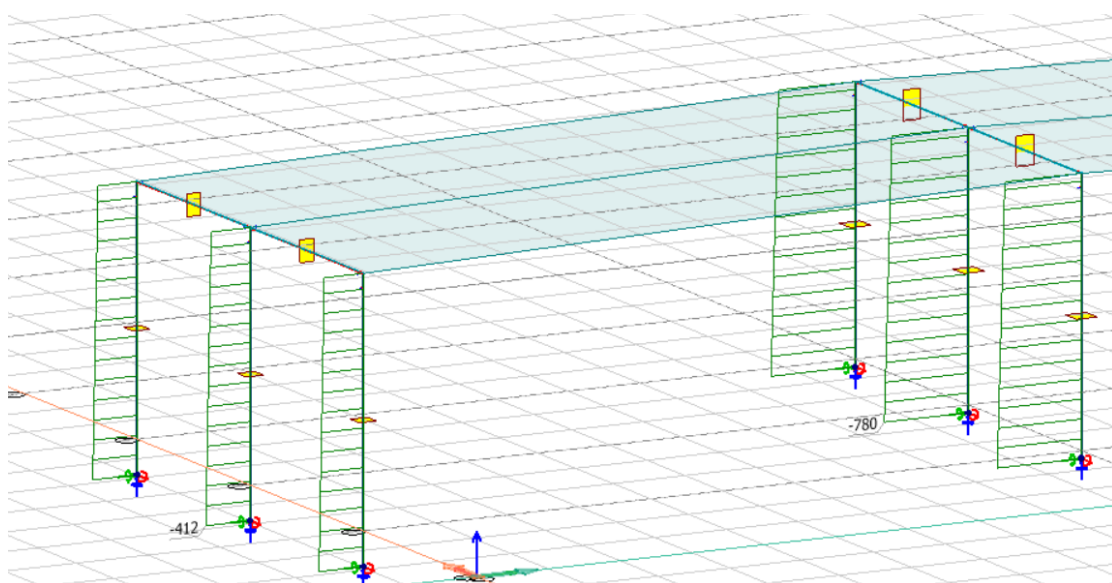
KUVA 30. KY1 tuuli pääkuormana, murtorajatilán laskentakuorma pilareissa (Mustonen 2023)

1.Kertaluvun voimasuureiden taulukko KY1 Tuulikuorma pääkuormana			
	Excel	FEM	Ero
$N_{ed, reuna}$	531 kN	538 kN	0.99
$N_{ed, keski}$	1026 kN	1032 kN	0.99
M_{ed}	369 kNm	365 kNm	1.01

KUVA 31. Vertailutaulukko (Mustonen 2023)



KUVA 32. KY3 Tuulikuorma pääkuormana, ilman lunta murtorajatilan mitoittavat momentit (Mustonen 2023)



KUVA 33. KY3 Tuulikuorma pääkuormana, ilman lunta murtorajatilan laskentakuorma (Mustonen 2023)

1.Kertaluvun voimasuureiden taulukko KY3 Tuulikuorma pääkuormana, ilman lunta			
	Excel	FEM	Ero
$N_{ed, reuna}$	405 kN	412 kN	0.98
$N_{ed, keski}$	774 kN	780 kN	0.99
M_{ed}	358 kNm	354 kNm	1.01

KUVA 34. Vertailutaulukko (Mustonen 2023)

3.4. Pilarin mitoitus

Pilarin mitoitus on tehty Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2, 2014 BY 211 ja Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 BY 210 pohjalta. Mitoitukseen on valittu pilarin rakennemalli ja poikkileikkauksenmitat sekä betoninlujuusluokka ja laskettu ulkoisen kuorman rasitukset. Pilarin mitoitus on tehty kuormitustapauksen KY1 Tuuli pääkuormana mukaan.

Ennen ensimmäisen kertaluvun mitoitusmomenttien laskemista lasketaan nurjahduspituus, vinoudesta johtuva lisäepäkeskisyys ja sauvan päiden korjatut momentit.

Pilarin mitoitus on laskettu käsin, joka löytyy liitteenä 3.

3.4.1. 1. kertaluvun mitoitusmomentti

Ensimmäisen kertaluvun mitoituksessa voimasuureet lasketaan lineaarisella menetelmällä taivutusmomentti ja normaalivoima.

Ensimmäisen kertaluvun mitoitusmomentin mitoituksessa lasketaan hoikkuus ja katsotaan, toteutuuko ehto. Ehdon toteutuessa 2.kertaluvun suureita ei oteta huomioon ja ehdon ei toteutuessa 2.kertaluvun suureet on otettava huomioon.

3.4.2. 2. kertaluvun mitoitus

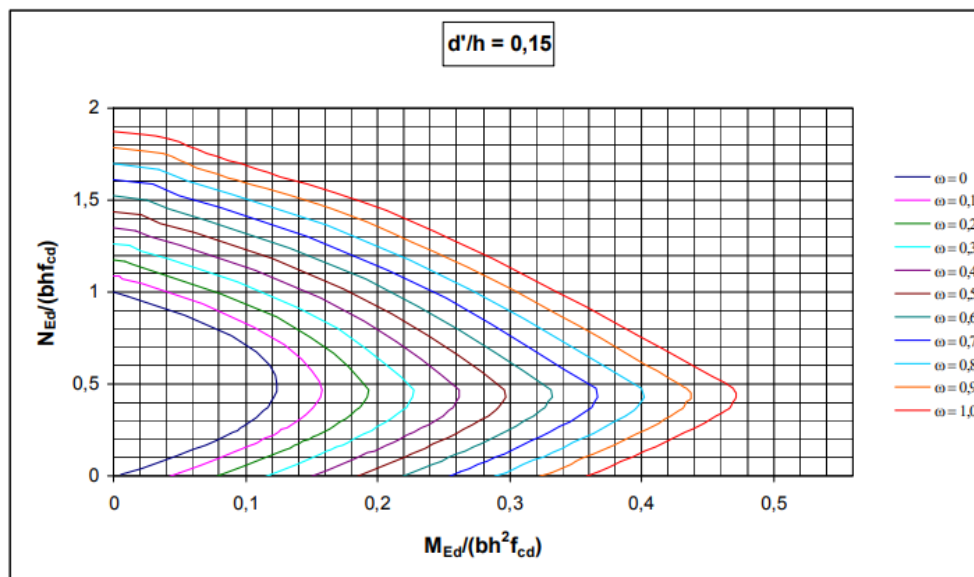
Toisen kertaluvun mitoitus voidaan laskea nimellisjyökkyyden tai nimellisen kaarevuuden menetelmällä. Tässä opinnäytetyössä lasketaan nimelliseen kaarevuuteen perustuvaan menetelmään, jota voi käyttää vain samanlaisille ja samalla tavalla raudoitettulle poikkileikkauksille. Tällä laskenta tavalla lasketaan suurin pilarin taipuma murtorajatilassa syntyvän kaarevuuden perusteella.

Nimellisen kaarevuuden menetelmällä mitoittaessa lasketaan kaarevuus, johon tarvitaan korjaus- ja viruman huomioiva kerroin sekä kaarevuuden likiarvo. Mitoituksessa otetaan myös huomioon taipuma, jonka jälkeen saadaan laskettua toisen kertaluvun momentti. Toisessa kertaluvun momentin lisäksi lasketaan vähimmäismomentti ja mitoitusmomentti.

3.4.3. Poikkileikkauksen raudoituksen mitoitus

Poikkileikkauksen raudoitus mitoitetaan käyrästöjen avulla. Käyrästön käyttämiseen tarvitaan laskea suhteellinen momentti ja -normaalivoima sekä tehollisen korkeuden ja poikkileikkauksen suhde.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin käyrästöä, jossa $d'/h=0,15$



KUVA 35. Pilaripoikkileikkauksen mitoituskäyrästö. (Elementtisuunnittelu.fi julkaisuaika tuntematon)

Käyrästöstä saadun arvo jälkeen lasketaan vaadittu ja toteutuva raudoitusala. Pääraudoituksella lasketaan vähimmäismäärä, joka valitaan vähintään kokonaismääräksi pääraudoituksessa.

Hakaraudoituksessa lasketaan vähimmäishalkaisija ja hakaraudoitusten enimmäishakaväli sekä hakojen tihennys pilareiden päissä.

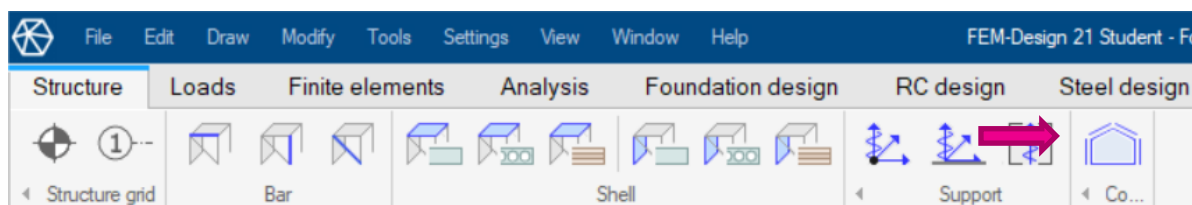
4. COVER-TYÖKALUT

Cover-työkaluja on kaksi perinteinen cover-työkalu, jolla saadaan tehtyä seinät ja katto erikseen sekä building cover-työkalu, jolla saadaan tehtyä seinä ja katto samanaikaisesti. FEM-Design cover-työkaluja käytetään pintakuormien määrittämiseen yleensä sellaisissa laskelmissa, johon ei haluta laittaa seinä- tai kattoelementtejä.

4.1. COVER-TYÖKALU

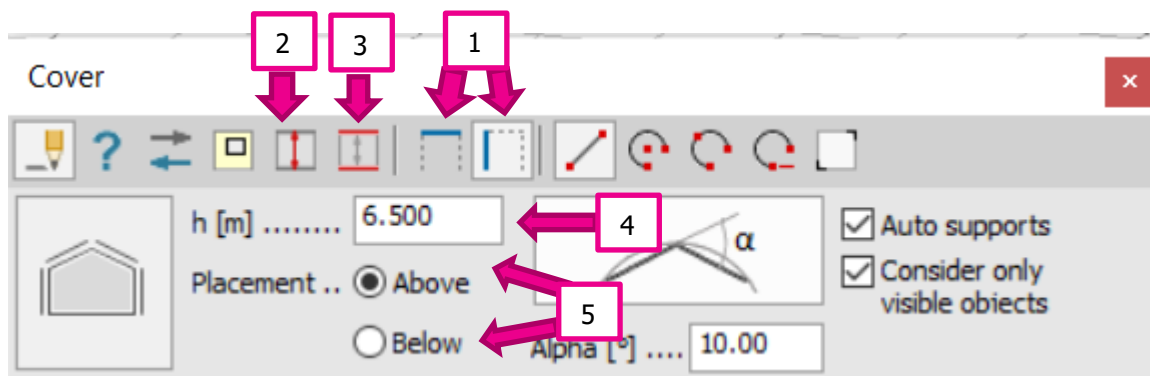
Cover-työkalulla voidaan tehdä pintakuormat seinälle ja katolle.

Cover-työkalu löytyy rakenne (structure) välilehden yläpalkki riviltä.



KUVA 36. Cover-työkalun sijainti (Mustonen 2023)

Cover-työkalupainiketta painaessa aukeaa ikkuna.



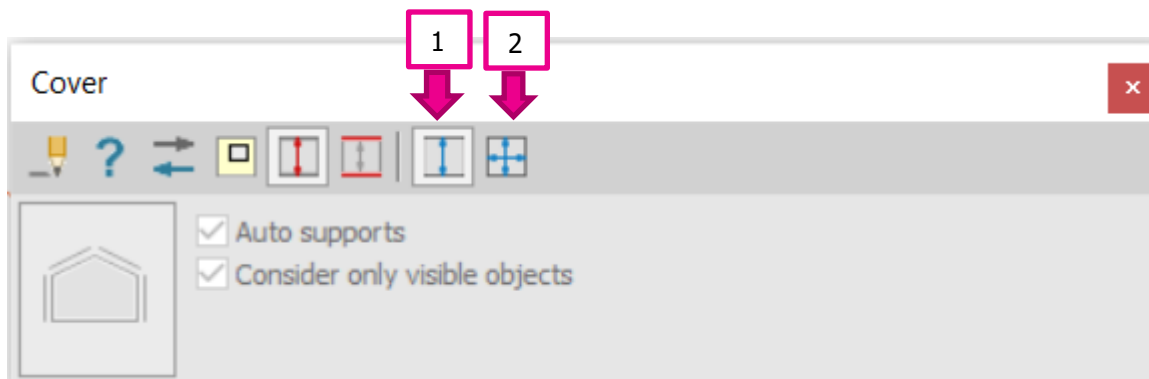
KUVA 37. Cover-työkalu (Mustonen 2023)

Ikkunasta määritetään

1. valittava käytetäänkö työkalua katolle vai seinälle.
2. kantavuuden suunta.
3. tukirakenteiden valinta.
4. korkeus (käyttäessä seinälle työkalua).
5. valittava tuleeko ylä- vai alapuolelle (käytettäessä seinälle työkalua).

Työkalun tietojen määrittämisen jälkeen mallinnetaan malliin pintakuormien alue seinälle tai katolle. Pintakuorma aluetta voi muokata mallituksen jälkeen esim. kantavuuden suuntaa ja tukirakenteita määrittämällä.

Kantavuuden suunnan valinta:

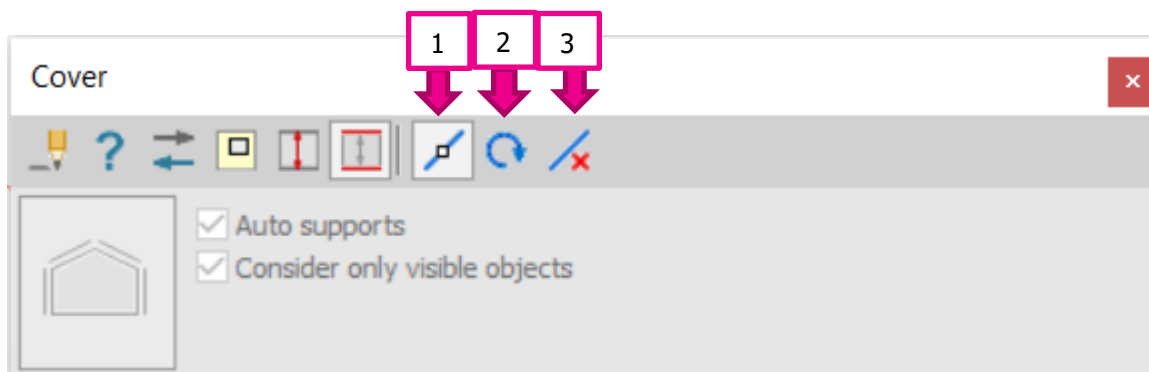


KUVA 38. Kantavuuden suunta (Mustonen 2023)

1. kantavuuden suuntana yksisuuntainen.
2. kantavuuden suuntana kaksisuuntainen.

Kantavuuden suuntaa voidaan muokata yksi- tai kaksisuuntaiseksi, esim. kantavuuden suunta ollessa pilareiden suuntaisesti mallintaessa, kantavuuden suunta voidaan muokata palkinsuuntaiseksi tällä työkalulla.

Tukirakenteiden määrittäminen:



KUVA 39. Tukirakenteiden määrittäminen (Mustonen 2023)

Tukirakenteet voidaan määrittää:

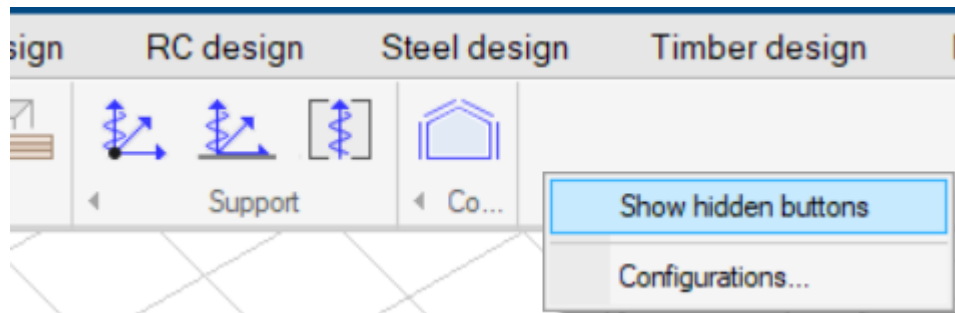
1. tukirakenteet voidaan määrittää manuaalisesti.
2. tukirakenteet voidaan määrittää automaattisesti.
3. nollata tukirakenteet.

Tukirakenteita voidaan muokata/määrittää manuaalisesti, automaattisesti sekä niitä voi poistaa. Tukirakenteita muokataan yleensä esim. monikerroksisessa rakennuksessa seinälle pintakuorma aluetta mallintaessa. Työkalu käyttäessä tukirakenteeksi voi valikoitua automaattisesti esim. välipohja, vaikka tukirakenne olisi palkissa. Tämä saadaan muokattua manuaalisella työkalulla.

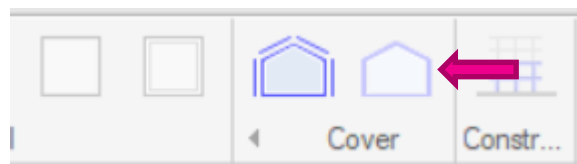
4.2. Building cover-työkalu

Fem-design building cover-työkalulla saadaan seinät ja katot tehtyä samanaikaisesti valitsemalla katon muodon. Tämä työkalu on tehty jakamaan kuormia elementtien välillä.

Building cover-työkalu löytyy rakenne (structure) välilehden yläpalkki riviltä, jos työkalua ei näy rivillä se voi olla piilotettuna. Työkalun saa näkyviin painamalla hiiren vasenta ja valitsemalla aukeavasta ikkunasta show hidden buttons.

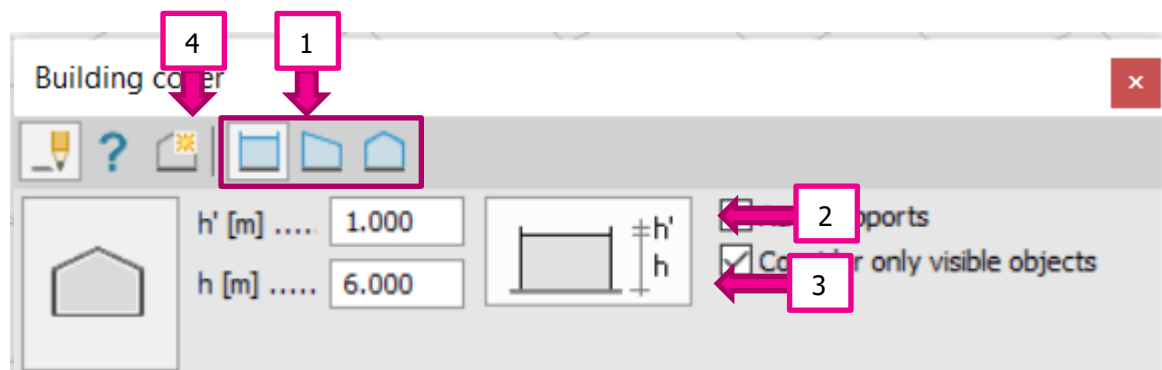


KUVA 40. Piilotettu työkalu (Mustonen 2023)



KUVA 41. Building cover-työkalun sijainti (Mustonen 2023)

Building cover nappia painaessa näkyviin aukeaa ikkuna.



KUVA 42. Building cover-työkalu (Mustonen 2023)

Ikkunasta määritetään

1. valittava katon muoto tasa-, pulpetti- vai harjakatto.
2. korkeus maasta katon alkuun.
3. katon harjakorkeus.
4. pintojen räjäyttäminen, jolla voi muokata pintoja yksitellen.

Building cover-työkalua käyttäessä, voidaan sitä muokata myös cover työkalulla esim. kantavuuden suunnan mennessä väärin se voidaan korjata cover työkalusta löytyvällä kantavuuden suunnan valinnan toiminnolla. Seinä ja katot ovat yhtenäisiä pinnoiltaan tällä työkalulla, mutta se saadaan räjäytettyä halutessa muokata yksittäisiä pintoja.

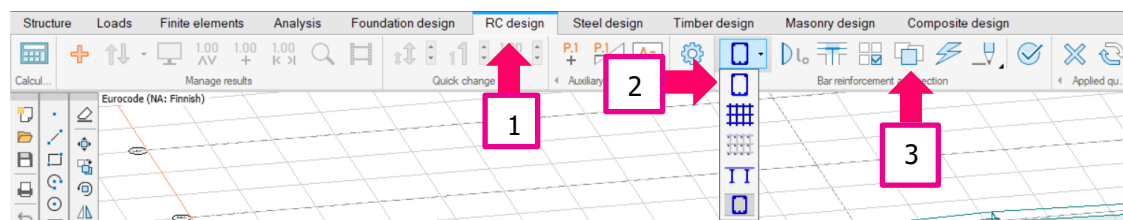
5. RAUDOITUSTYÖKALUT

FEM-Design 3D-structure-ohjelman raudoitustyökalun ohje, eri pituisille ja dimensioisille pilareille. Ennen raudoitustyökalujen määrittämistä tehtiin eri dimensioisista ja pituisista pilareista ryhmät koopioidun helpottamiseksi, koska muokatessa/tehdessä yhtä pilaria raudoitustyökalulla tulee sama raudoitus kaikkiin ryhmässä oleviin pilareihin.

5.1. Pilareiden ryhmät

Rakenteiden ryhmät saadaan tehtyä Design Group-työkalulla.

Design Group-työkalu löytyy RC Design välilehdeltä

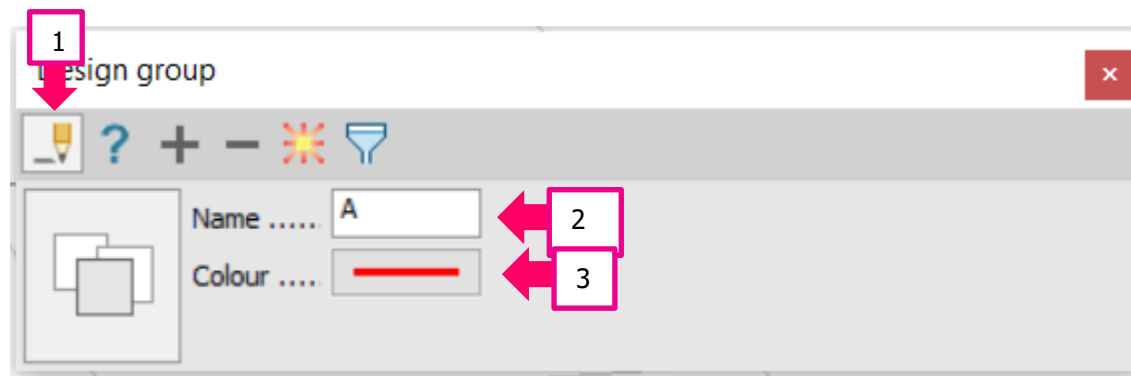


KUVA 43. Ryhmä työkalun sijainti (Mustonen 2023)

1. ylärivistä RC design välilehti.
2. RC design välilehdeltä valitaan Bar reinforcement komento.
3. seuraavaksi valitaan Design group.

Ryhmä työkalulla saadaan ryhmiteltyä pilarit ja palkit, esim. jos ulkopilarit ovat samankokoisia voidaan niistä tehdä yksi ryhmä.

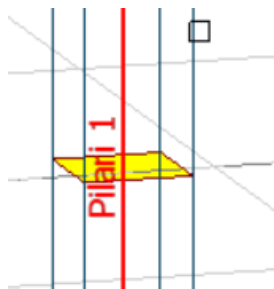
Design group komennon alta aukeaa ikkuna:



KUVA 44. Design group työkalu

1. valitaan ikkunasta define.
2. seuraavaksi voidaan nimetä ryhmä esim. pilari 1, pilari 2, pilari 3, palkki 1, palkki 2, palkki 3.
3. seuraavaksi voidaan valita jokaiselle ryhmälle oma värinsä.
4. tietojen täyttämisen jälkeen valitaan rakenneosa, jota painamalla hiiren oikealla.

Rakenneosaan tulee näkyviin valittu nimi ja väri ryhmälle:



KUVA 45. Ryhmittelyn näkyminen rakenneosassa (Mustonen 2023)

Muiden pilareiden lisääminen ryhmään:



KUVA 46. Ryhmään lisääminen (Mustonen 2023)

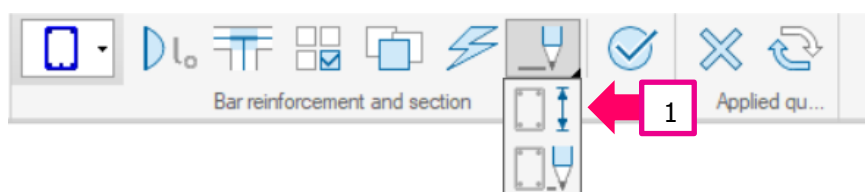
1. valitaan design group ikkuna, josta valitaan add members.
2. seuraavaksi valitaan valmiiksi merkitty ryhmän pilari painamalla hiiren oikeaa.
3. sen jälkeen valitaan samaan ryhmään:

- Haluttava rakenneosa painamalla hiiren oikeaa, johon tulee myös näkyviin ryhmän nimi ja väri.
- Haluttavia rakenneosia ollessa useampi voidaan valita koko malli, jolloin ryhmään lisätään kaikki rakenneosat, joilla on samat poikkileikkaukset, pituudet sekä muut asetukset.

→ Ryhmittelyn jälkeen voidaan tehdä rauditus.

5.2. Manuaalinen rauditustyökalu parametric reinforcement

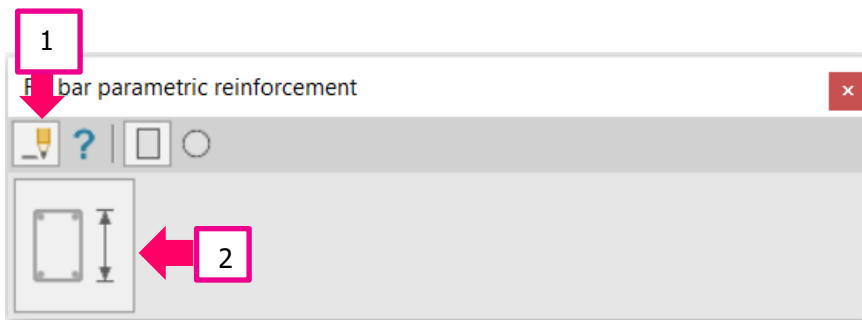
Valitaan manual design työkalurivistä:



KUVA 47. Parametric reinforcement sijainti (Mustonen 2023)

1. valitaan vaihtoehto Parametric reinforcement.

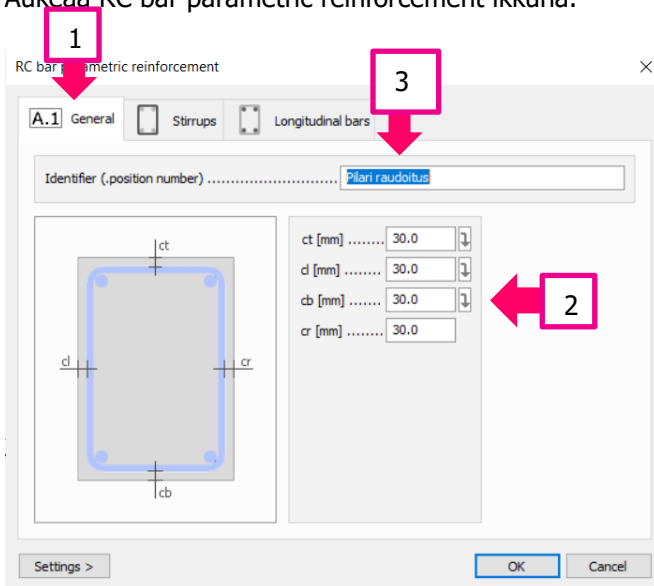
Parametric reinforcement kohdasta avautuu ikkuna:



KUVA 48. Raudoituksen tiedot (Mustonen 2023)

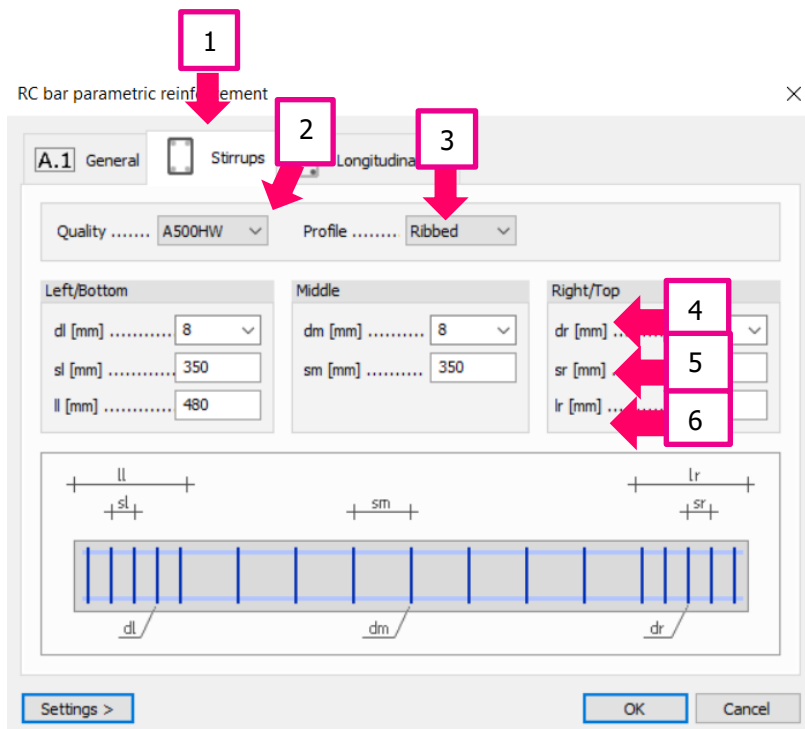
1. valitaan ikkunasta define.
2. seuraavaksi valitaan default setting.

Aukeaa RC bar parametric reinforcement ikkuna.



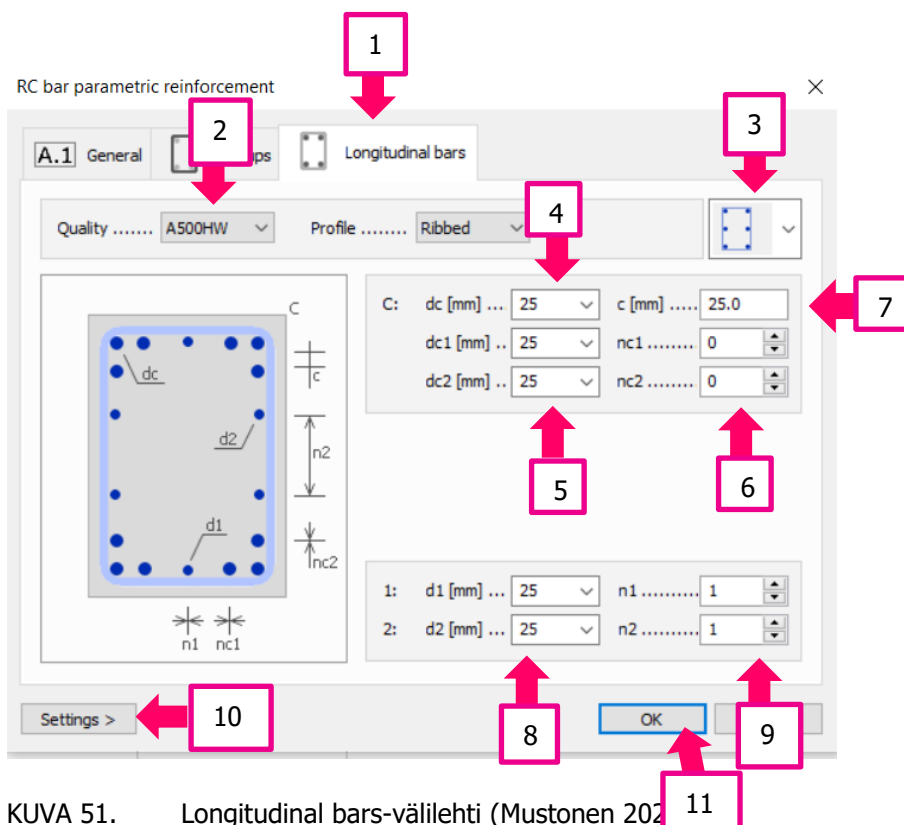
KUVA 49. General-välilehti (Mustonen 2023)

1. valitaan generel välilehti.
2. lisätään suojaetäisyydet.
3. seuraavaksi voidaan nimetä raudoitus, joka tulee rakenneosaan näkyviin esim. pilarin raudoitus, koska aion käyttää raudoitusta kaikissa pilareissa.



KUVA 50. Stirrups-välilehti (Mustonen 2023)

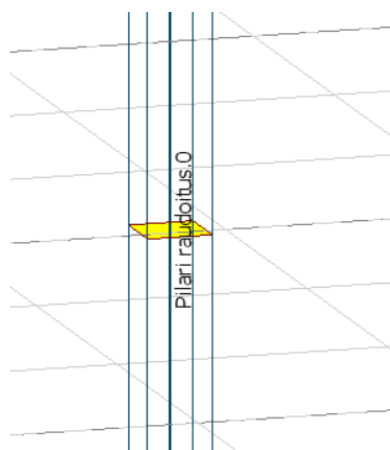
1. valitaan stirrups välilehti.
2. seuraavaksi merkitään teräslaatu.
3. seuraavaksi valitaan profiili.
4. seuraavaksi kohtiin d_l , d_m ja d_r merkitään hakojen koot.
5. sen jälkeen s_l , s_m ja s_r merkataan hakaväli.
6. viimeiseksi l_l ja l_r merkataan hakaväli tihennys rakenneosan päissä.



KUVA 51. Longitudinal bars-välilehti (Mustonen 2023)

1. valitaan longitudinal bars välilehti.
2. seuraavaksi laitetaan teräslaatu.
3. sen jälkeen valitaan raudoitus pilari vai palkki.
4. sitten dc merkataan pääterästen koko.
5. seuraavaksi dc1 ja dc2 merkataan lisäterästen koot, jos niitä on nurkkaterästen lisäksi.
6. sitten nc1 ja nc2 merkataan muiden terästen määrät.
7. seuraavaksi c merkataan terästen väli. (Voi muokata jälkeenpäin).
8. sitten d1 ja d2 merkataan lisäterästen koot.
9. sen jälkeen n1 ja n2 merkataan lisäterästen määrät.
(kuvasta voidaan katsoa, miten teräkset ja niiden määrät sijoittuvat)
10. sitten haluttaessa voidaan settings painikkeesta tallentaa raudoitus tai ladata valmiiksi tallennettuja raudoituksia.
11. viimeiseksi painetaan ok, kun kaikki on laitettu.
12. raudoitus saadaan rakennemaan painamalla hiiren oikeaa, jos rakenneos kuuluu ryhmään, raudoitus tulee kaikkiin ryhmässä oleviin rakennesiin.

Raudoituksen tunnus tulee näkyviin rakennusosaan.

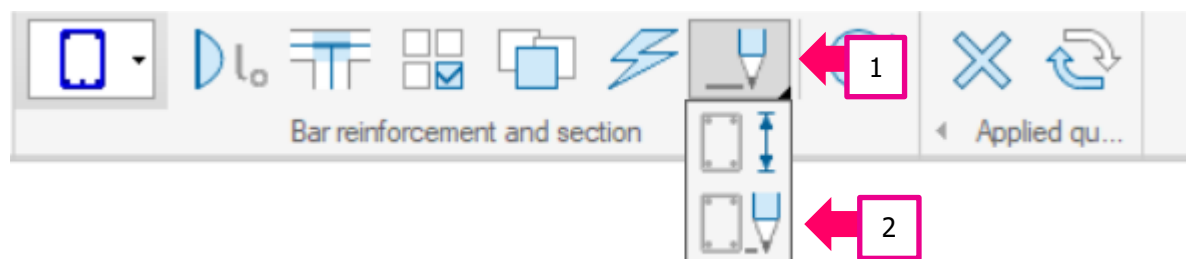


KUVA 52. Raudoituksen tunnus (Mustonen 2023)

5.3. Manuaalinen raudoitustyökalu draw

Draw-työkalulla voi muokata raudoitusta tai tehdä raudoitus kokonaan.

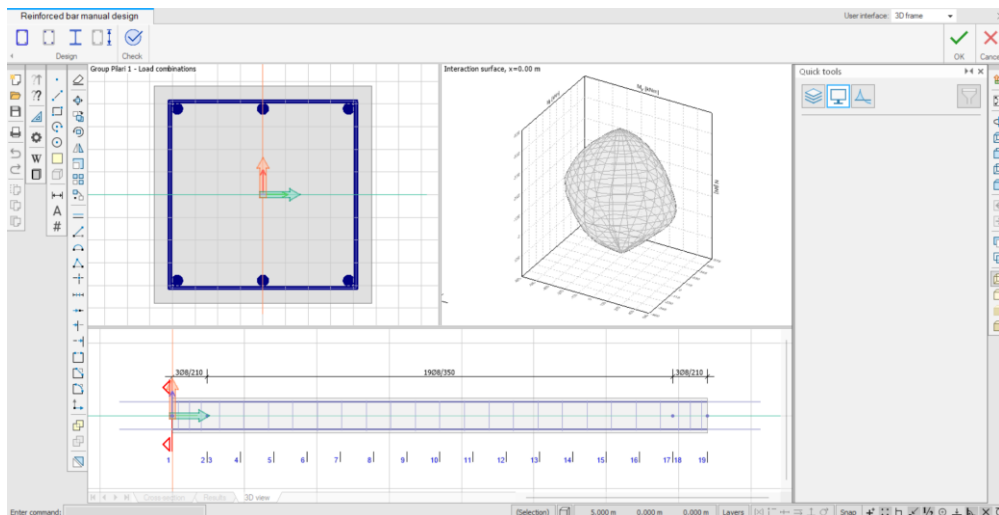
Draw-työkalu löytyy RC Design välilehdeltä.



KUVA 53. Draw työkalun sijainti (Mustonen 2023)

1. valitaan manual design.
2. seuraavaksi valitaan manual design alta draw.
3. sitten valitaan rakenneos, jossa on raudoitus painamalla hiiren oikeata.

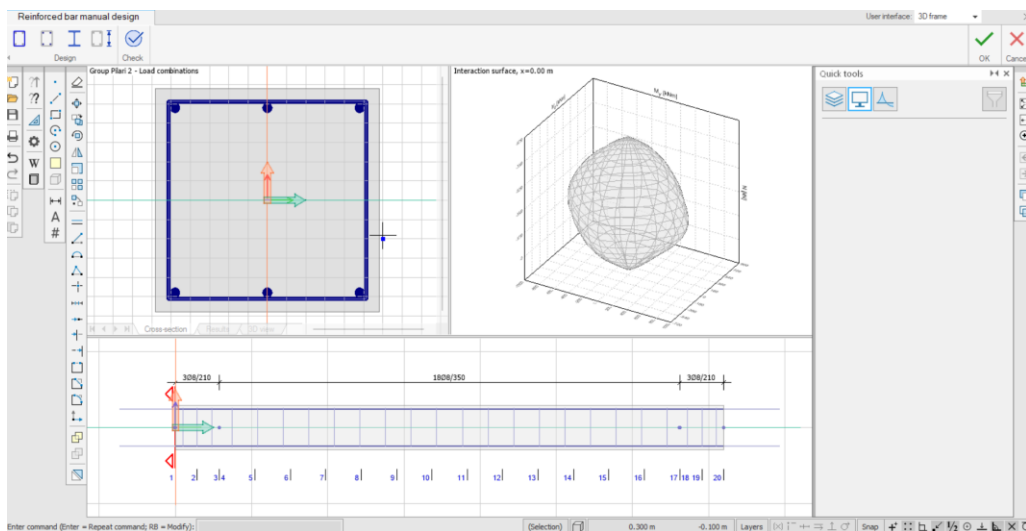
Aukeaa ikkuna raudoituksen muokkaamiseen:



KUVA 54. Esimerkki reunapilari (Mustonen 2023)

- Ikkunassa voidaan muokata terästen sijainteja esim. move, mirror ja stretch komennoilla sekä katsoa hakaterästen sijoittumista sekä määriä.

Alla oleva kuva on keskipilarista, josta huomataan raudoituksen asettuvan oikein, vaikka rakenteella oli eri mitat kuin ensimmäiseksi tehdylle reunapilarilla, jonka kuva on yläpuolella.



KUVA 55. Esimerkki keskipilari (Mustonen 2023)

Raudoitus voidaan laittaa muille rakenneosille, vaikka rakenneosat olisivat eri dimensioisia tai pituisia. Yläpuolella oleva kuva on keskipilarista, josta huomataan raudoituksen asettuvan oikein, vaikka rakenteella oli eri mitat kuin reunapilarissa olevalla.

- Käytin itse ulkopilarissa 480 mm x 480 mm pilari, jonka pituutena on 7400 mm. Käytin samaa raudoitusta asettamalla hiiren oikealla keskipilaria, jonka mitat ovat 580 mm x 580 mm ja pituus 7200 mm.
- Raudoitus asettui pilareille oikein pituuden ja eri dimensioinkin osalta. Keskipilarissa täytyi vain muuttaa hakojen tihennetty osa 480 mm:sta 580 mm.
- Muutosta ei tarvitse tehdä, jos sen ottaa huomioon aiemmin ja laittaa suoraan isomman luvun.

POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tilaajalle ohje Fem-Design 3D-structuren ohjelmalla betonipilareiden raudoituksen kopioimisesta eri dimensioisille ja pituisille pilareille sekä ohje cover-työkaluille. Opinnäytetyössä mallinnettiin kaksilaivainen betonihalli rakennus Fem-Design 3D-structure-ohjelmalla, jonka pohjalta ohjeet laadittiin. Opinnäytetyössä tehtiin Excel-ohjelmalla kuormien laskeminen sekä pilareiden mitoitukset käsin laskentana. Pilarin mitoituksen käsin laskuja käytettiin Fem-design-ohjelmalla laatiessa hallirakennusta sekä verrattiin laskujen ja Fem-Design 3D-structure-ohjelman tuloksia toisiinsa.

Opinnäytetyössä perehdyttiin tarkemmin tuulikuormiin voimakerroin- ja pintapainemenetelmällä. Tuulikuormien voimakerroinmenetelmää käytettiin käsin laskuissa Excelissä pilaria mitoittaessa. Tuulikuormien määrittäminen voimakerroinmenetelmällä oli jo ennestään tuttua koulun aiemmista opinnoista, mutta koulussa pintapainemenetelmän käyttäminen on jäänyt vähäiselle. Pintapainemenetelmien määrittämisessä haastavaa teki sen monimutkaisuus ja paljon erilaisten asioiden huomioiminen laskuissa.

Työn lopputuloksena syntyi kaksi pdf-ohjetta tilaajalle Fem-Design 3D-structure-ohjelman pohjalta. Samalla ohjelmalla mallinnettiin kaksilaivainen hallirakennus, jonka tuloksia verrattiin Excelissä tehtyihin pilarin mitoituksen käsin laskuihin.

Opinnäytetyöhöni olen tyytyväinen, sain pilareiden mitoitukseen paljon kertausta sekä opin uutta uusien säännösten ansiosta.

Työssä mitoittamiseen käytin Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjoja osa 1 ja osa 2.

LÄHTEET

Betonitieto julkaisuaika tuntematon. Laatat. Verkkojulkaisu. <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonielementit/betonielementtirakentaminen/talonrakennus/talonrakennuksen-elementtituotteet/laatat.html>. Viitattu 22.5.2023

Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan: Pilarit. Elementtisuunnittelu, Pilarit. Pdf-tiedosto. Julkaisuaika tuntematon. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/suunnitteluprosessi/normit-ja-standardit/suunnittelu-eurokoodeilla>. Viitattu 22.5.2023.

Elementtisuunnittelu.fi. Päivitetty 31.3.2023. TT-laatat. Verkkojulkaisu. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/tt-laatat>. Viitattu 22.5.2023.

RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Strusoft 2014. FEM-Design Basic Course. Apply Cover. Video. Julkaistu 6.3.2017. https://www.youtube.com/watch?v=owU_V7Jl15s. Viitattu 22.5.2023.

Strusoft 2014. FEM-Design Tutorials Finnish. FEM Design käyttöohje: 5.2 Betonirakenteiden mitoitus. Video. Julkaistu 15.2.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=1IYgGyq7QHU&list=PLX-NOd6ztACwy94n7SeSvN-Cfb4XCFwEo&index=16>. Viitattu 22.5.2023.

Strusoft 2014. FEM-Design Tutorials Finnish. FEM Design käyttöohje: 10.4 Tuulikuormat. Video. Julkaistu 13.4.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=Ngr-6wseVWY>. Viitattu 22.5.2023.

Suomen Betoniyhdistys ry 2013. BY 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1 2013. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry 2014. BY 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 2 2014. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

TT-laatan mitoituskäyrät. Elementtisuunnittelu, TT-laatat. Pdf-tiedosto. Julkaisuaika tuntematon. [file:///C:/Users/Heini/Downloads/TT-laatat%20mitoituskayrat%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Heini/Downloads/TT-laatat%20mitoituskayrat%20(1).pdf). Viitattu 22.5.2023

LIITTEET

1. Kuormat
2. Pilarin kuormitusyhdistelmät
3. Reunapilarin mitoitus