



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MASTOPIILARIKEHÄN LASKENTA STRUSOFT 3D-STRUCTURE OHJELMALLA

Nimellisen kaarevuuden menetelmällä

TEKIJÄ:

Markus Tölli

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Markus Tölli	
Työn nimi Mastopilarikehän laskenta Strusoft 3D-Structure ohjelmalla	
Päiväys 26.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 77/0
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Insinööritoimisto Laaturakenne Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli tehdä tilaajalle laskentaohje yksiläivaisen mastopilarikehän laske- miseksi Strusoftin 3D-Structure-ohjelmalla. Tarkoituksena oli tutkia mahdollisimman helppo ja nopea tapa mallintaa ja laskea mastopilarikehä ja sen kuormat. Lisäksi tehtiin tarvittavat kuormitusyhdistelyt sekä kuor- mat ohjelmaan tulevien laskelmien nopeuttamiseksi. Laskenta on tehty nimellisen kaarevuuden mukaisesti, sekä Eurokoodin ja Suomen kansallisen liitteen mukaan.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosassa on viitattu toiseen opinnäytetyöhön, joka käsittelee betonipilarin mitoitusta juuri nimellisen kaarevuuden mukaan. Kyseinen teoria pohjautuu standardin EN1992-1-1, sekä sen Suomen kan- salliseen liitteeseen. Lisäksi apuna standardin tulkitsemiseen on käytetty BY-julkaisuja. Itse opinnäytetyössä kerrotaan tarkka laskentaohje vaihe vaiheelta, käyttäen edellä mainittua ohjelmaa. Ohjeessa kerrotaan en- sin itse rakennemallin mallintaminen, seuraavana kuormien lisääminen sekä kuormitusyhdistelmien tekemi- nen. Sen jälkeen selostetaan pilareiden raudoitus ja laskenta. Ja lopuksi niiden tarkastaminen. Tässä pyrit- tiin löytämään mahdollisimman helppo ja nopea tapa.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin toimiva mallinnus, sekä laskentaohje, jonka avulla myös vähän ohjelmaa käyt- tänyt pystyy yksinkertaisen laskennan tekemään. Lisäksi saatiin eri kuormat sekä kuormitusyhdistelyt val- miiksi tiedostoiksi tulevien laskentojen helpottamiseksi.</p>	
Avainsanat betonipilari, laskentaohje, rakennemalli, mallintaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Construction Architecture	
Author(s) Markus Tölli	
Title of Thesis Dimensioning of the cantilever column perimeter with Strusoft 3D-Structure software	
Date 26 May 2021	Pages/Appendices 77/0
Client Organisation /Partners Insinööritoimisto Laaturakenne Oy	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to make a instruction for the client to calculate a single-bay cantilever column perimeter with Srusoft's 3D-Structure program. The aim was to study the easiest and fastest possible way to model and calculate the cantilever column perimeter and its loads. In addition, the necessary load combinations were made, as well as loads to speed up the program calculations. The calculation has been made in accordance with the nominal curvature, as well as according to the Eurocode and the Finnish national annex.</p> <p>The text part of the thesis refers to another thesis which deals with the dimensioning of a concrete column according to its nominal curvature. This theory is based on the standard EN1992-1-1 and its Finnish national annex. In addition, BY publications have been used to assist in the interpretation of the standard. In the thesis, the calculation instructions are carefully examined step by step according to the above - mentioned program. The calculation instruction first go through the modeling of the structural model. Adding loads was done next, as well as making load combinations. After that, reinforcement and calculation of the columns were done. Finally, they were checked. Here the aim was to find the easiest and fastest way possible.</p> <p>The result of the work was functional modeling, as well as a calculation guide, with which even those who have used the program a little can do a simple calculation. In addition, different loads and load combinations were obtained as ready-made files to facilitate future calculations.</p>	
<p>Keywords concrete column, calculation instruction, structural model, modeling</p>	

ESIPUHE

Opinnäytetyö on tehty Insinööritoimisto Laaturakenne Oy:lle. Haluan kiittää opinnäytetyön tilaajaa mielenkiintoisesta ja todella opettavasta työstä, sekä kaikesta aiheeseen liittyvästä opastuksesta. Erityiskiitokset haluan antaa Ari Korhoselle opastuksesta, ja kaikesta aiheeseen liittyvästä ohjauksesta. Kiitokset myös Savonia-ammattikorkeakoulun rakennetekniikan yliopettaja TKT Arto Puurulalle opinnäytetyön opastuksesta, kommentoinnista ja tarkastuksesta.

Kuopiossa 14.5.2021

Markus Tölli

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	9
2	FEM-DESIGN 20, 3D-STRUCTURE-OHJELMA	10
3	LÄHTÖTIEDOT	11
3.1	Kohteen lähtötiedot.....	11
3.2	Kuormat.....	12
4	RAKENNEMALLIN MALLINNUS	15
4.1	Pilarit	15
4.2	Palkki	21
4.3	Liitokset	29
5	KUORMAT	31
5.1	Load cases	31
5.2	Load combinations	33
5.3	Kuormien lisääminen malliin	35
5.3.1	Pistekuorma, Point load	35
5.3.2	Viivakuorma, Line load	37
6	RC-DESIGN	39
6.1	Nurjahduspituus ja ryhmittely	39
6.2	Rauditus.....	43
7	MITOITUS.....	55
7.1	Laskenta	56
8	TULOSTEN TARKASTELU.....	66
9	YHTEENVETO.....	67
10	LÄHTEET	68
	LIITE 1: KUORMAT EXCEL LASKELMAT.....	69
	LIITE 2: SIVUSIIRTYMÄTTÖMÄN PILARIN EXCEL LASKELMAT	73
KUVALUETTELO		
	KUVA 1.....	12
	KUVA 2.....	13
	KUVA 3.....	14

KUVA 4.....	15
KUVA 5.....	15
KUVA 6.....	16
KUVA 7.....	17
KUVA 8.....	18
KUVA 9.....	19
KUVA 10.....	20
KUVA 11.....	20
KUVA 12.....	21
KUVA 13.....	21
KUVA 14.....	22
KUVA 15.....	23
KUVA 16.....	24
KUVA 17.....	25
KUVA 18.....	25
KUVA 19.....	25
KUVA 20.....	26
KUVA 21.....	26
KUVA 22.....	26
KUVA 23.....	27
KUVA 24.....	27
KUVA 25.....	28
KUVA 26.....	28
KUVA 27.....	29
KUVA 28.....	29
KUVA 29.....	30
KUVA 30.....	30
KUVA 31.....	31
KUVA 32.....	31
KUVA 33.....	32
KUVA 34.....	33
KUVA 35.....	33
KUVA 36.....	34
KUVA 37.....	35

KUVA 38.....	35
KUVA 39.....	35
KUVA 40.....	36
KUVA 41.....	36
KUVA 42.....	37
KUVA 43.....	37
KUVA 44.....	37
KUVA 45.....	38
KUVA 46.....	39
KUVA 47.....	39
KUVA 48.....	40
KUVA 49.....	40
KUVA 50.....	40
KUVA 51.....	41
KUVA 52.....	41
KUVA 53.....	41
KUVA 54.....	42
KUVA 55.....	43
KUVA 56.....	43
KUVA 57.....	44
KUVA 58.....	44
KUVA 59.....	44
KUVA 60.....	45
KUVA 61.....	45
KUVA 62.....	46
KUVA 63.....	47
KUVA 64.....	48
KUVA 65.....	49
KUVA 66.....	49
KUVA 67.....	50
KUVA 68.....	51
KUVA 69.....	51
KUVA 70.....	51
KUVA 71.....	52

KUVA 72.....	53
KUVA 73.....	53
KUVA 74.....	54
KUVA 75.....	54
KUVA 76.....	56
KUVA 77.....	56
KUVA 78.....	57
KUVA 79.....	58
KUVA 80.....	59
KUVA 81.....	59
KUVA 82.....	60
KUVA 83.....	61
KUVA 84.....	61
KUVA 85.....	62
KUVA 86.....	62
KUVA 87.....	63
KUVA 88.....	63
KUVA 89.....	63
KUVA 90.....	64
KUVA 91.....	64
KUVA 92.....	65

1 JOHDANTO

Tilaajana on Insinööritoimisto Laaturakenne Oy, joka on vahvasti mukana teräsbetonirakentamisessa, kuten elementtisuunnittelussa, raudoitussuunnittelussa ja rakennesuunnittelussa. Vahvana alueena on esijännitetyt teräsbetonirakenteet. Lisäksi yritys on kehittänyt laskentaohjelmistoja betonirakentamisen alalle. Kohteina ovat niin teollisuus rakennukset, kuin kerrostalot ja koulut. Yritys on perustettu Kuopiossa vuonna 2005, ja toimipiste on edelleen Kuopiossa.

Aiheen sain, tehdessäni töitä edellisenä kesänä kyseisessä yrityksessä. Aihe ehdotus tuli tilaajalta itseltään, ja kiinnostuin siitä itse heti. Opinnäytetyö ei liity suoraan mihinkään projektiin. Aihe on tilaajalle tärkeä, koska heillä on käytössään tämän Strusoft FEM-Designin lisäksi myös Frame Analysis ohjelma, jolla ovat laskeneet mastopilarikehät. Tällä ohjelmalla he voivat tehdä kohteesta suuremman, ja samalla kattavamman 3D-mallin laskelmille. Heidän tarkoituksensa on, että voivat jättää Frame Analysis:n pois kokonaan, ja käyttää vain 3D-Structurea. Tarkoituksena on myös tehdä kattava ohje tilaajalle, mallin, sekä laskelmien tekemiseen. Tämä ohje auttaa ohjelman käytön lisäämiseen yrityksessä.

Tässä työssä tehdään kehän mitoitus eurokoodin mukaisen nimellisen kaarevuuden menetelmällä. Tämä menetelmä on yleisimmin käytössä oleva menetelmä. Pilarin kestävyys tarkastellaan yhteen suuntaan taivutettuna.

Laskenta tehtiin myös Excel laskentana, ja tuloksia verrattiin lopuksi toisiinsa. Tämä tehtiin lähinnä ohjelman laskelmien tarkastus mielessä.

2 FEM-DESIGN 20, 3D-STRUCTURE-OHJELMA

FEM-Design 20 -ohjelman on kehittänyt ruotsalainen Strusoft AB. He ovat kehitelleet ja tuottaneet suunnitteluohjelmia rakennusalaan jo yli kolmenkymmenen vuoden ajan, monien eri yritysten kanssa, yli neljäskymmenessä maassa. FEM-Desing on yksi viidestä heidän tekemistään ohjelmistosta. (Strusoft.com)

FEM-Desing on rakennesuunnitteluun kehitetty ohjelma, ja sen laskenta pohjautuu eurocoden, sekä suomen kansallisen liitteen mukaiseen laskentaan. Ohjelmassa on valittavissa muidenkin maiden kansallisia liitteitä. Ohjelma laskee solmukohtiin kohdistuvat voimat ja siirtymät. Tällä ohjelmalla voidaan mitoittaa yksittäisiä rakenneosia tai kokonaisen rakennuksen. Ohjelma sisältää kuusi moduulia: 3D-Structure, 3D-Frame, Steel Joint, Plate, Wall, Plane Strain. Opinnäytetyössäni perehdytään ainoastaan 3D-Structureen. (User Manual 2018)

3D-Structure-ohjelmaan tehdään malli 3D-muodossa. Apuna voidaan tarvittaessa käyttää CAD- tai BIM-ohjelmistoilla luotuja tiedostoja. Rakenteiden raudoitukset voidaan tällä suunnitella, joko käyttämällä automaattista suunnittelua, tai käsin.

3 LÄHTÖTIEDOT

Rakennemalli on peräisin todellisesta kohteesta ja se on yksilaivainen. Kohde on teollisuushalli. Opinnäytetyössä käytetyn laskennan teoria löytyy toisen opiskelijan opinnäytetyöstä. Siinä on käyty läpi sivusiirtymättömän pilarin mitoitus nimellisen kaarevuuden mukaan. (Betonipilarin MRT-mitoitus, 2021, s.8–31, Otto Heikkinen.) Kuormat on laskettu excelillä. (LIITE 1)

3.1 Kohteen lähtötiedot

Rasitusluokka: XC2

Seuraamusluokka: CC2

Toteutusluokka:2

Toleranssiluokka:1

Suunnitteluikä: 50 v.

Betoni: C50/60

Teräs: A500HW

RH: 70 %

Pilarin poikkileikkaus $b \times h$: 480 mm x 580 mm

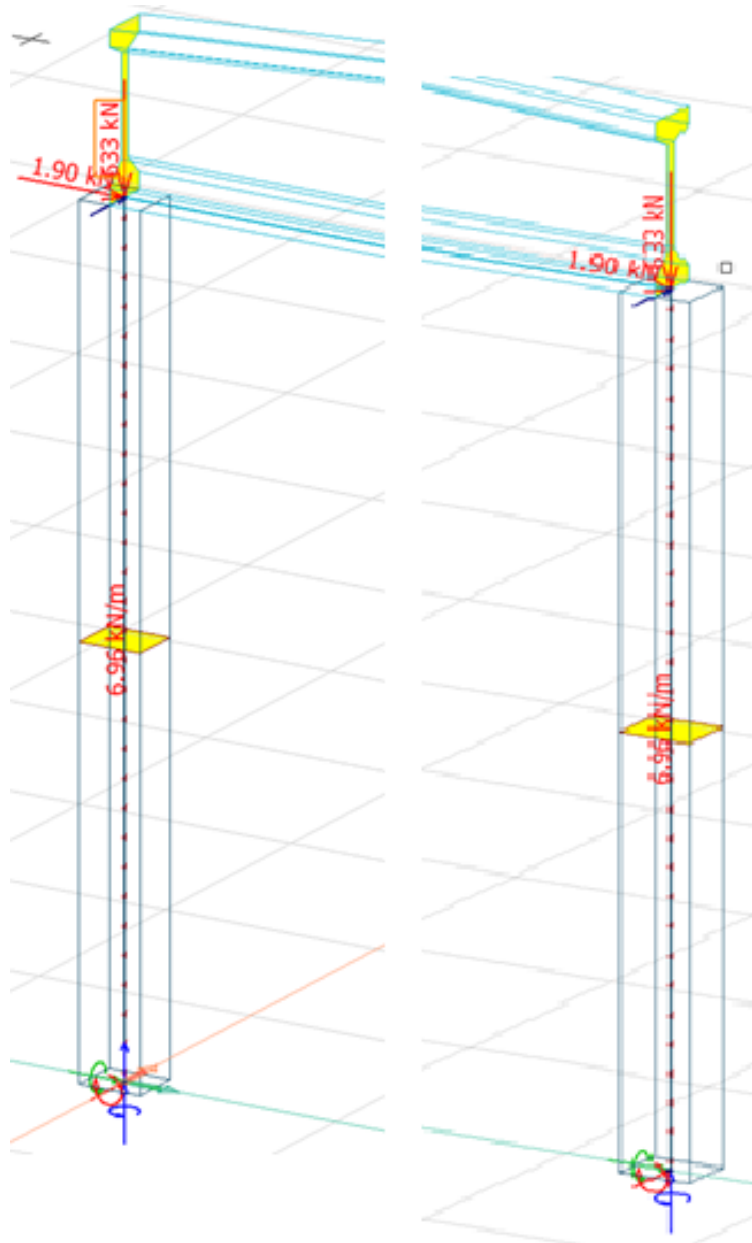
HI-palkki: 480 mm * 1508-2740 mm

3.2 Kuormat

Pysyvät kuormat: G

$$F_{g,k} = 633 \text{ kN}$$

$$H_{g,k} = 1,9 \text{ kN}$$

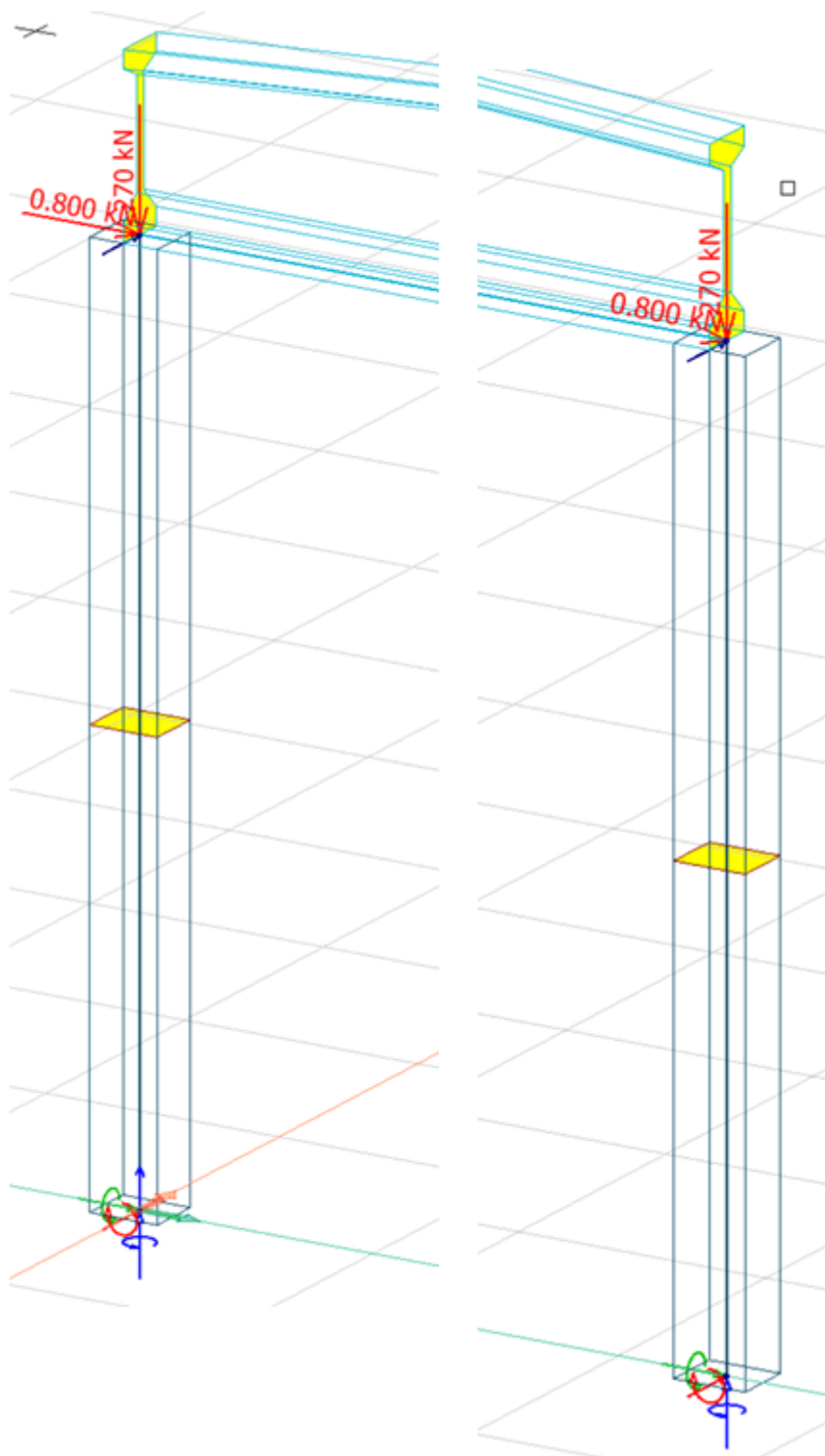


KUVA 1.

Lumi kuormat: Q_{lumi}

$$F_{q_k} = 270 \text{ kN}$$

$$H_{q_k} = 0,8 \text{ kN}$$



KUVA 2.

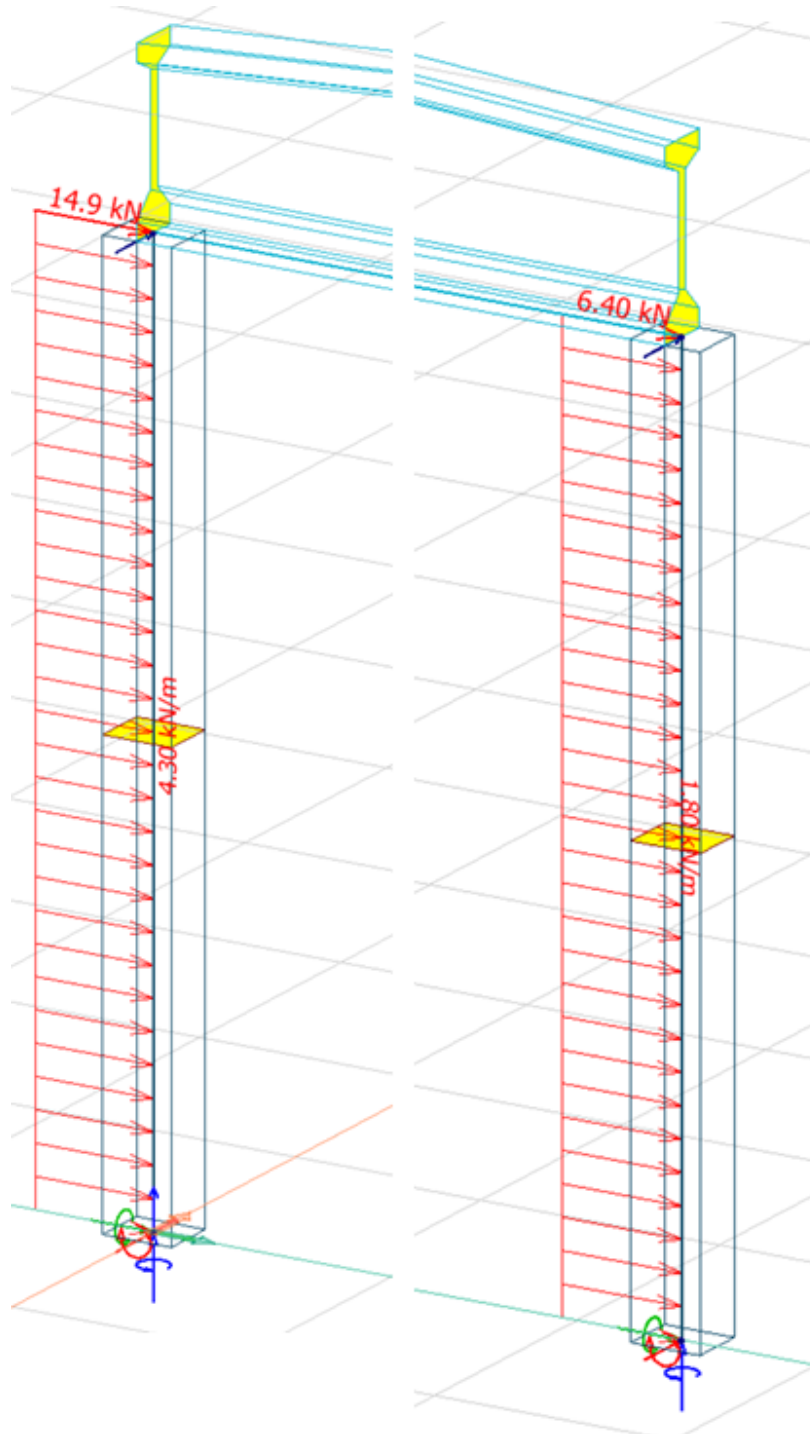
Tuuli kuormat: $Q_{,tuuli}$

$$Pq_{k,tuuli} = 4,3 \text{ kN/m}$$

$$p q_{k,imu} = 1,8 \text{ kN/m}$$

$$HW_{,tuuli} = 14,9 \text{ kN}$$

$$HW_{,imu} = 6,4 \text{ kN}$$



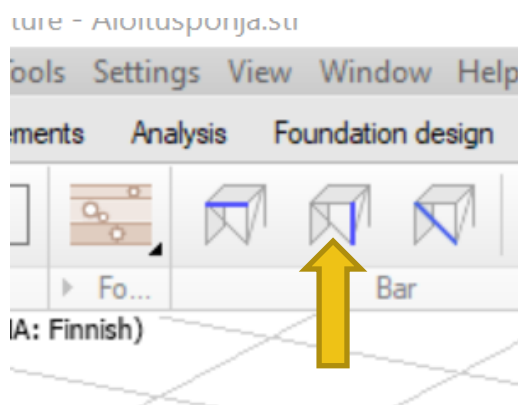
KUVA 3.

4 RAKENNEMALLIN MALLINNUS

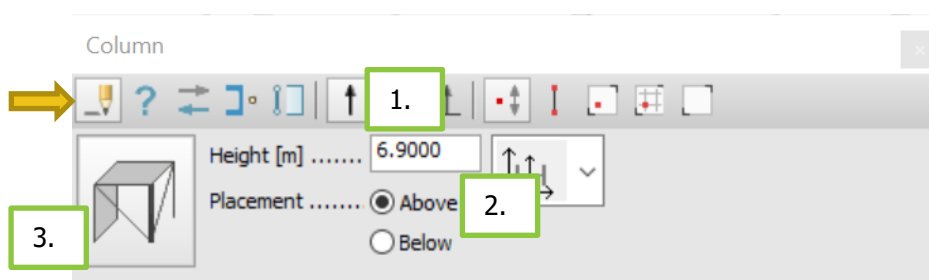
Tässä osiossa käydään vaihe vaiheelta läpi rakennemallin mallintaminen 3D-Structure ohjelmalla. Siinä on kaksi teräsbetoni pilaria, sekä palkkina HI-palkki. Liitokset ovat pilarin ja anturan välillä jäykät, ja pilarin ja HI-palkin välillä nivelelliset. Pilarit ovat poikkileikkaukseltaan 480x580. HI-palkin poikkileikkaus on suunniteltu elementtisuunnittelijan toimesta.

4.1 Pilarit

Valitse ylhäältä komento *"column"*



KUVA 4.

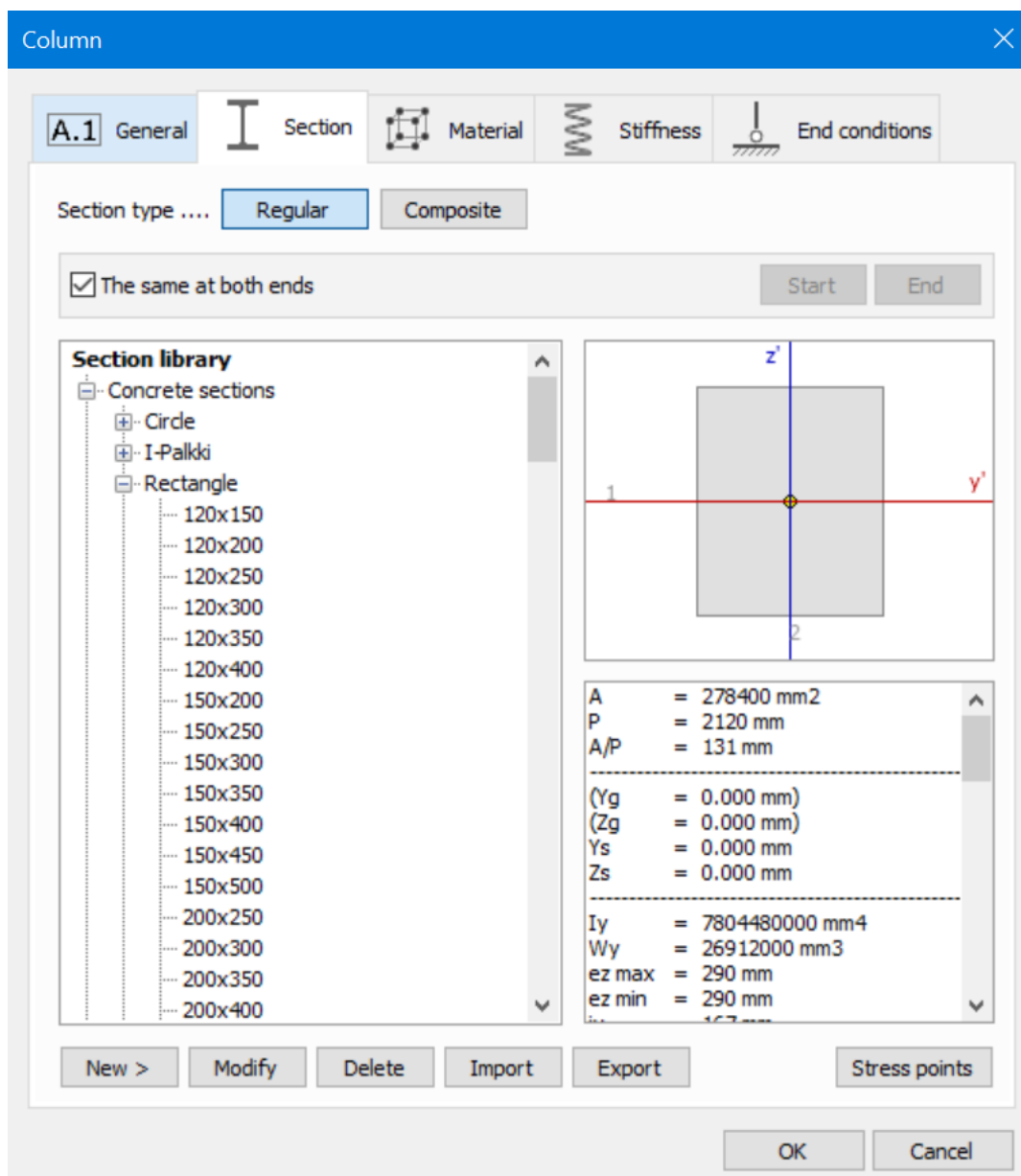


KUVA 5.

Aukeaa ikkuna, josta valitse kynä kuvake.

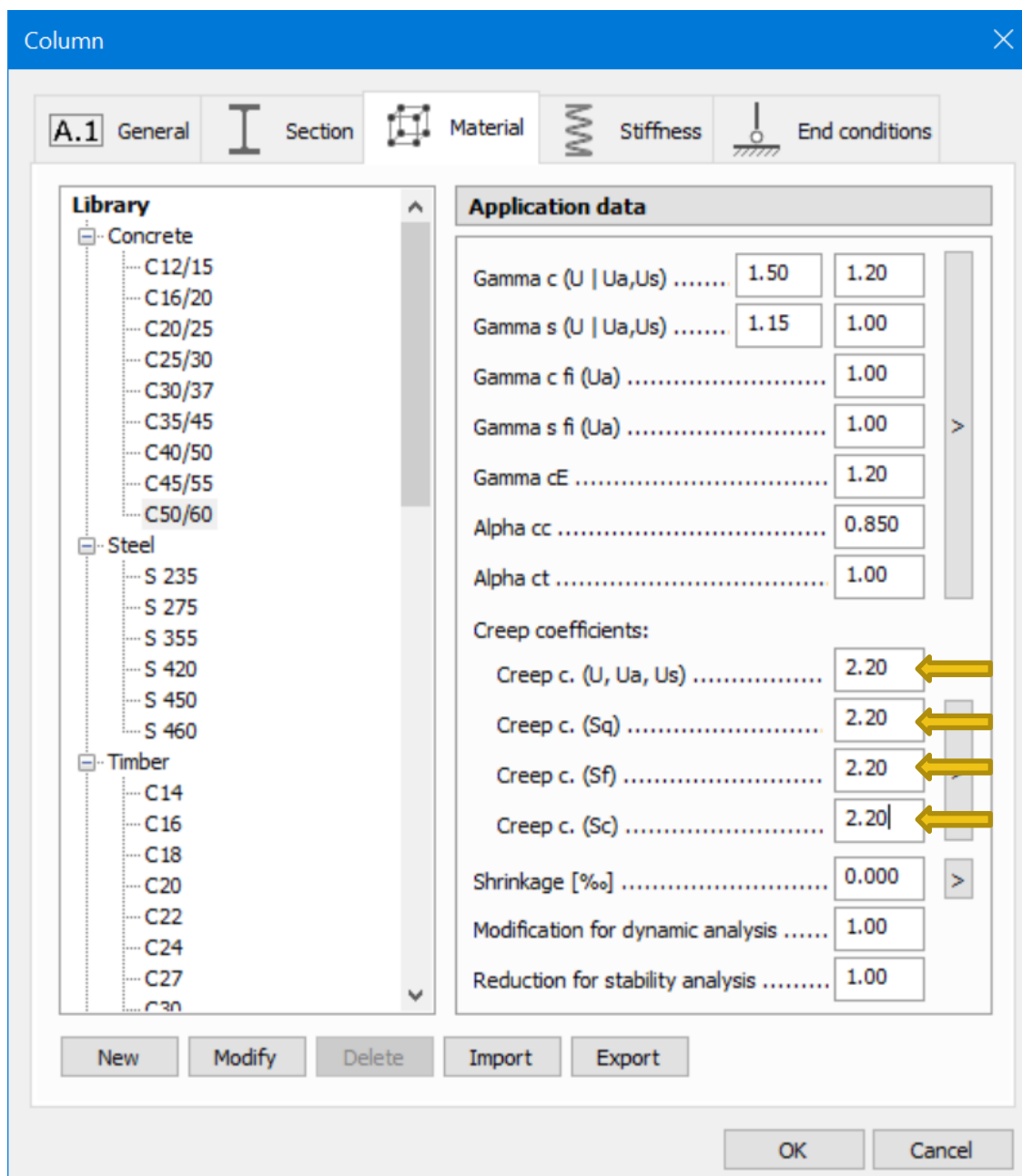
1. Lisää ensin pilarin pituus metreinä. (huomioi Laskennallinen nurjahduspituus)
2. valitse *"Placement"* kohtaan *"Above"*, jotta pilari mallintuu nollatason yläpuolelle.
3. Klikkaa kuvaketta, josta aukeaa uusi ikkuna.

?-Merkki painikkeen kautta voi muokata lisättyjen pilareiden tietoja jälkikäteen. Ei kuitenkaan pilarin pituutta. Pituutta voi muuttaa sivun vasemmassa reunassa olevalla *"Stretch"* komennolla.



KUVA 6.

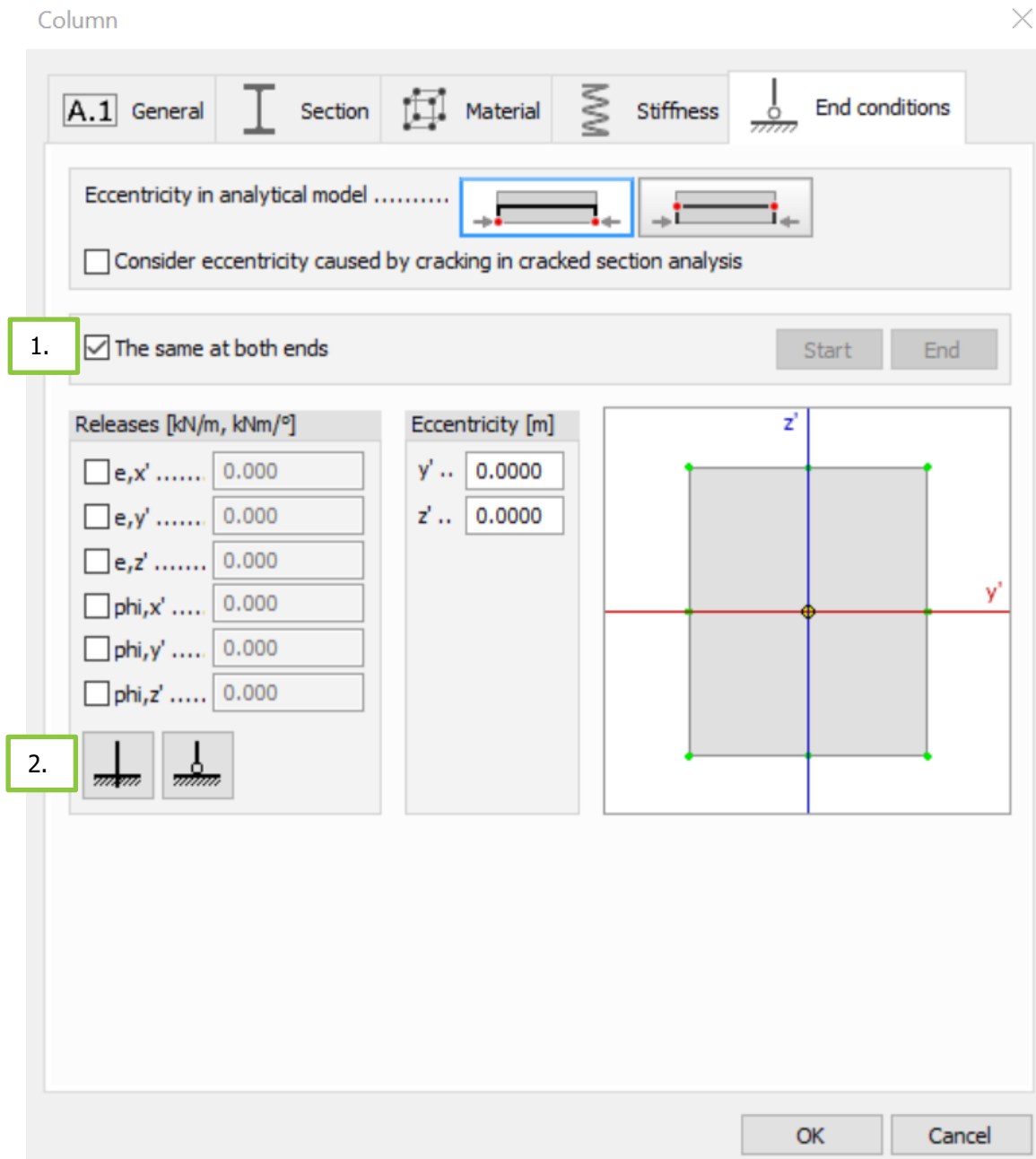
Klikkaa siitä "section"-välilehti, ja kirjastosta "concrete sections". Valitse haluttu profiili listasta ja tarvittaessa lisää uusi "New"-komennolla.



Kuva 7.

Seuraavana klikkaa "Material"-välilehteä ja valitse sieltä oikea betonin lujuusluokka. (C50/60)

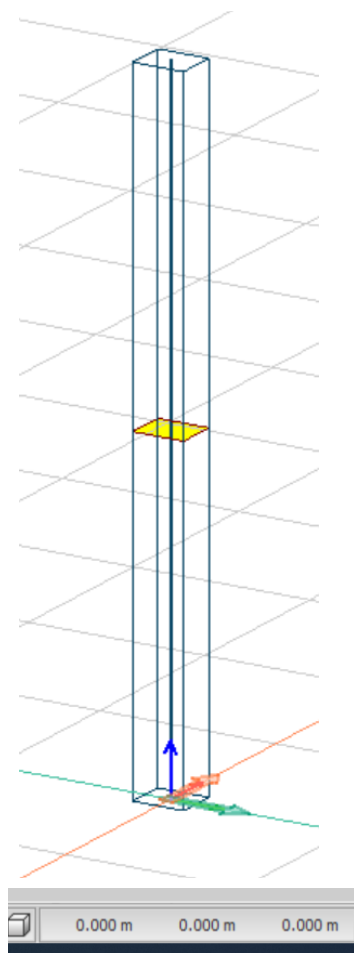
Laske virumaluku "Virumaluku.ods" excelillä ja lisää tulos "Creep"-kohdan laatikoihin. (2,20)



KUVA 8.

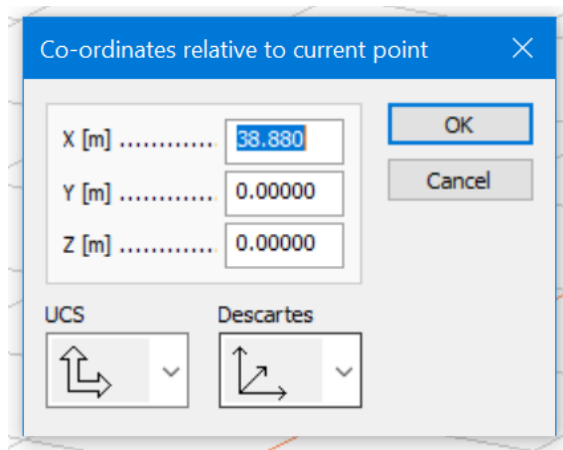
Viimeisenä klikkaa "End conditions" välilehti.

1. Klikkaa ruksi "The same at both ends", jos sitä ei ole valittu.
2. klikkaa jäykkä liitos "Rigid". Sitten valitse OK.




KUVA 9.

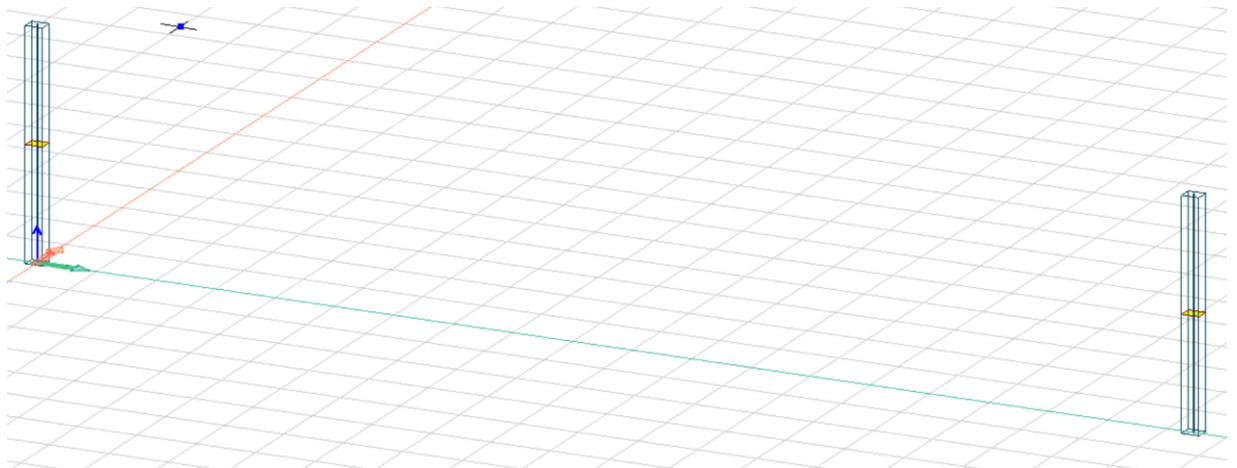
Klikkaa ensimmäinen pilari haluttuun kohtaan (Yleensä nollakohta) ja varmista että pilari tuli oikein päin.



KUVA 10.

Seuraava pilari on helpoin saada kohdalleen, kun laitat kursorin lisätyn pilarin alapäähän (tulee pieni nuoli , kun on kohdallaan) ja painat F12 näppäintä. Tällöin pomppaa ikkuna "Co-ordinates..." näkyville. Syötä koordinaatit metreinä, johon haluat lisätä seuraavan pilarin.

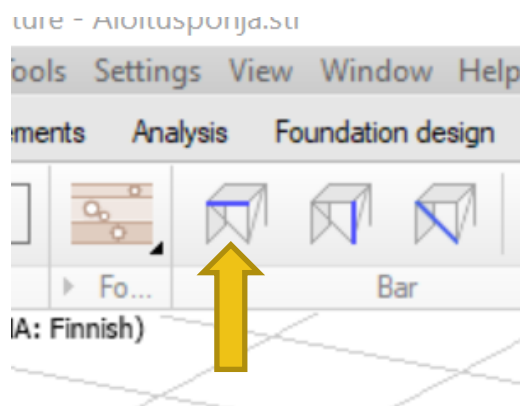
(Koordinaatit laitetaan kursorin kohdan mukaan, joten tämä toimii samalla tavalla, vaikka pilari ei olisi nollakohdassa.)



KUVA 11.

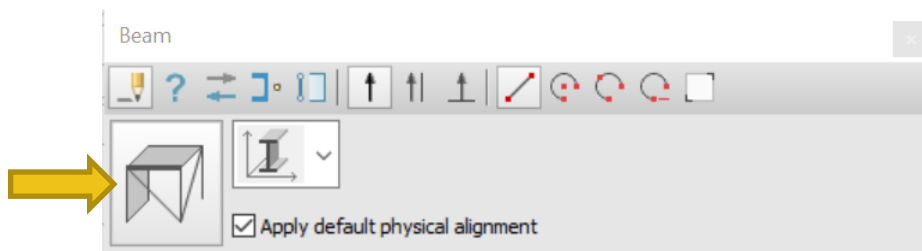
4.2 Palkki

Seuraavana mallinnetaan palkki. Valitaan ylhäältä komento *"Beam"*



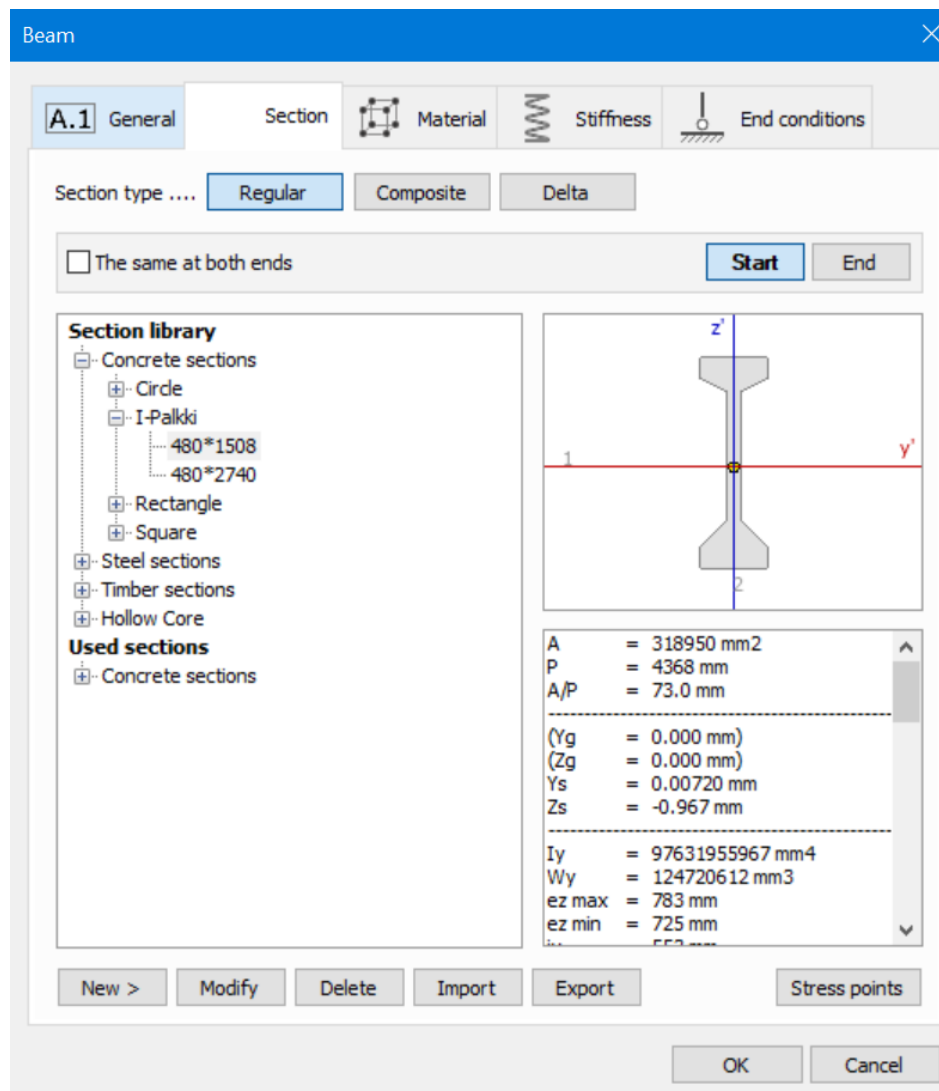
KUVA 12.

Aukeaa tämän näköinen ikkuna.



KUVA 13.

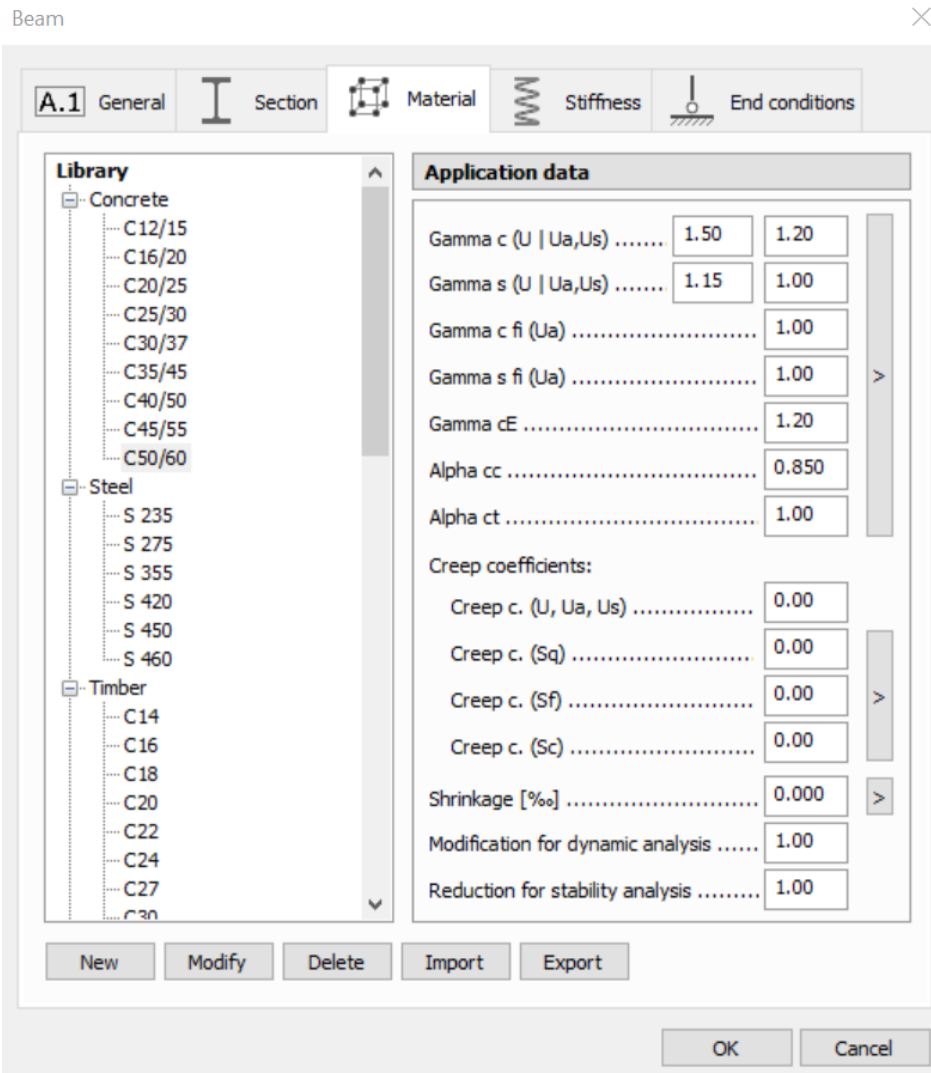
Klikkaa jälleen kynä kuvaketta, jos se ei ole vielä valittuna. Sitten klikkaa nuolen osoittamaa kuvaketta, ja aukeaa uusi ikkuna.



KUVA 14.

Klikkaa "section"-välilehti, ja kirjastosta "concrete sections". Valitse haluttu profiili listalta ja tarvittaessa lisää uusi "New"-komennolla.

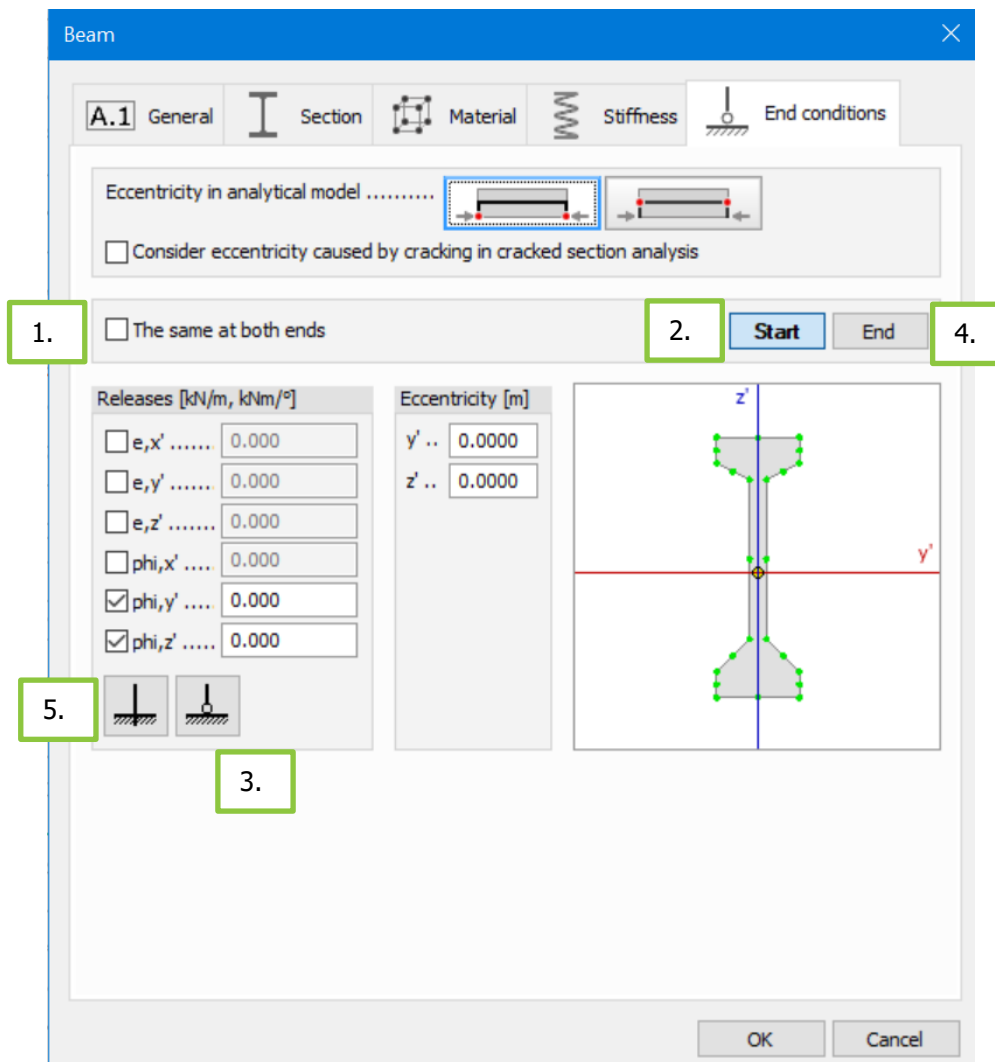
Jos valitaan poikkileikkaus, joka muuttuu palkissa, niin ota pois ruksi kohdasta "The same at both ends". Tällöin voit valita alkupään poikkileikkauksen, ja loppupään poikkileikkauksen erikseen. (Niiden täytyy kuitenkin olla keskenään sopivia, jotta ohjelma osaa yhdistää ne toisiinsa.)



KUVA 15.

Seuraavana klikkaa "Material"-välilehteä ja valitse sieltä jokin betonin lujuusluokka.

Virumalukua ei tarvitse laittaa, kun ei mitoiteta palkkia.



KUVA 16.

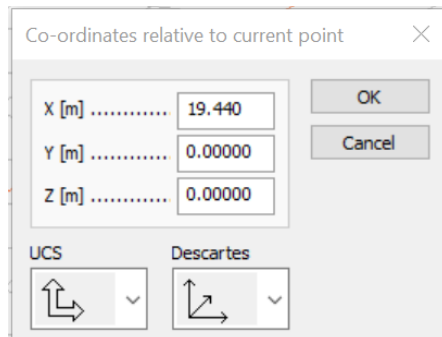
Viimeisenä klikkaa "End conditions" välilehti.

1. Klikkaa ruksi kohtaan "The same at both ends", jos sitä ei ole valittu. (VAIN, JOS EI OLE MUUTTUVA POIKKILEIKKAUS.) Jos taas on muuttuva, niin ota täppä pois.
2. valitse "Start", eli palkin alkupää.
3. Nyt voit valita alkupään liitoksen. (Yleensä niveellinen "Hinged", kuten mallissa.)
4. Seuraavana klikkaa "End", eli palkin loppupää.
5. Valitse jäykkäliitos "Rigid", jotta palkki on itsessään jäykkä kokonaisuus.

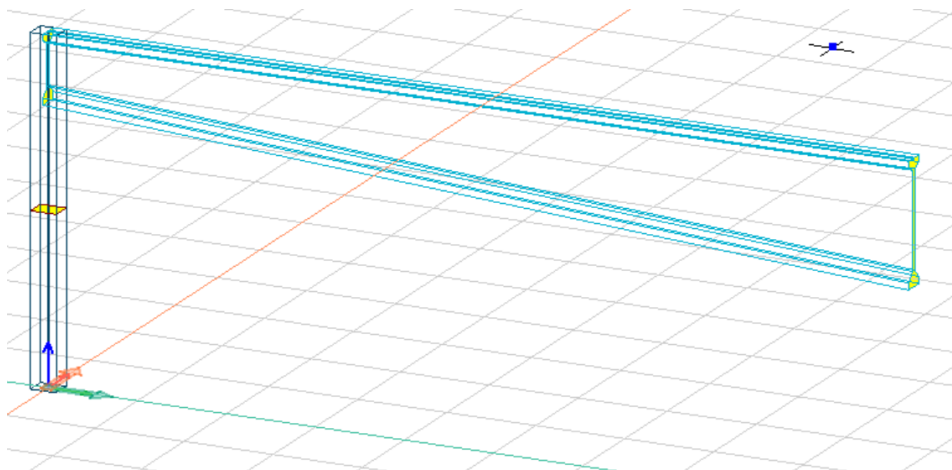
VARMISTA AINA TAPAUSKOHTAISESTI PILARIN JA PALKIN VÄLISEN LIITOKSEN TYYPPI! (Jäykkä vai niveellinen)

Seuraavana mallinnetaan palkki. (Tämä ohje muuttuvalle poikkileikkaukselle.)

Klikkaa pilarin yläpäästä (tulee jälleen näkyviin pieni nuoli, kun on kohdallaan). Klikkauksen jälkeen laita kursori takaisin pilarin yläpäähän ja paina F12 näppäintä. Aukeaa "Co-ordinates..." ikkuna. Täähän ikkunaan syötä koordinaatti, joka on palkin harjan kohdalla. (puoliväli jännevälillä)

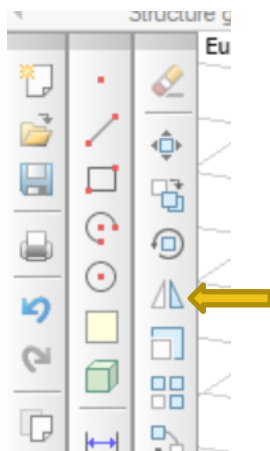


KUVA 17.



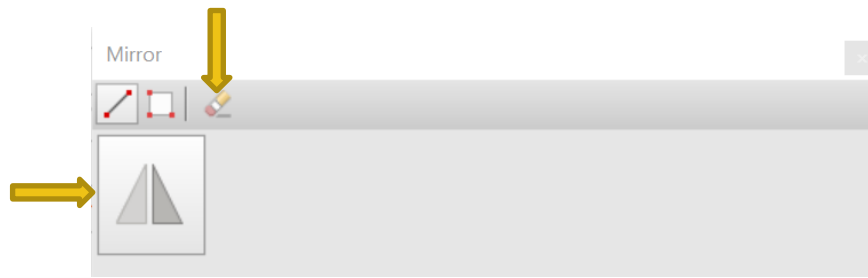
KUVA 18.

Nyt on mallinnettu toinen "lape" palkista.



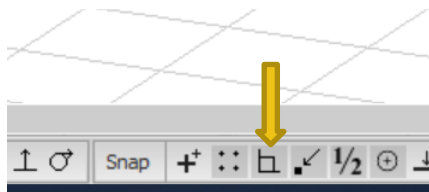
KUVA 19.

Toinen puoli kannatta tehdä "mirror"-työkalulla, joka löytyy vasemmasta laidasta, nuolen osoittama kuvake. Klikkaa kuvaketta, ja aukeaa ikkuna.



KUVA 20.

1. Varmista ensimmäisenä, että "pyyhekumi" painike ei ole päällä.
2. Valitse "mirror to line"komento.

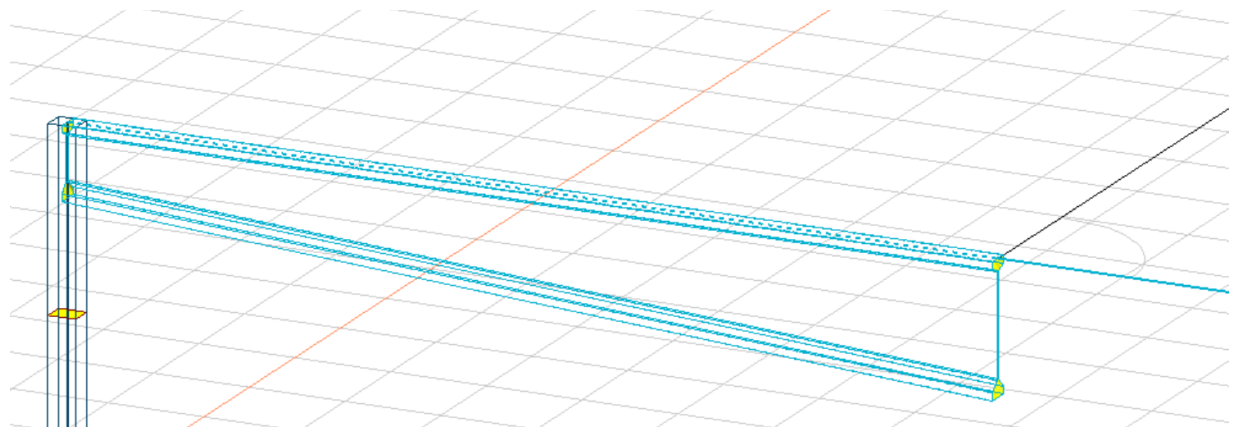


KUVA 21.

Varmista että on päällä "Orthogonal" snap. Saa päälle ja pois F2 napilla tai oikeasta alalaidasta. (KUVA)

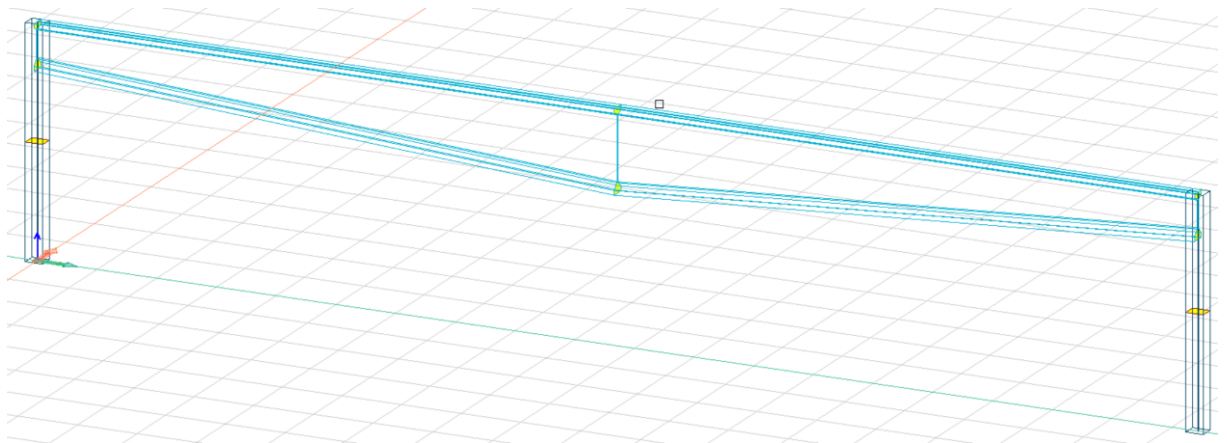
Valitse palkki klikkaamalla hiiren oikeanpuoleista nappia palkin päällä. Seuraavaksi klikkaa palkin harja-/loppupäätä. (varmistu että klikkaat varmasti palkin päästä. Nuoli näkyvässä.)

Vedä kursori sivulle ja tulee näkyviin viiva (kuvassa), joka kertoo minkä suhteen peilataan. Kun viiva on kuvan mukaisesti, klikkaa hiiren vasenta nappia.



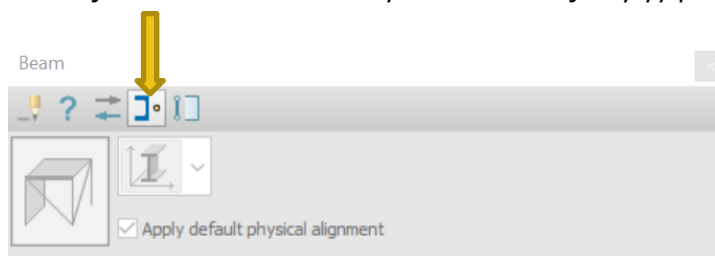
KUVA 22.

Nyt palkki on yksi mahapalkki. Laskenta onnistuu samalla tavalla, vaikka palkki olisi mallissa näinkin, mutta käännetään se oikein seuraavaksi.



KUVA 23.

Valitse jälleen "Beam" komento yläreunasta. Ohje löytyy palkki osion alusta. (KUVA 12.)

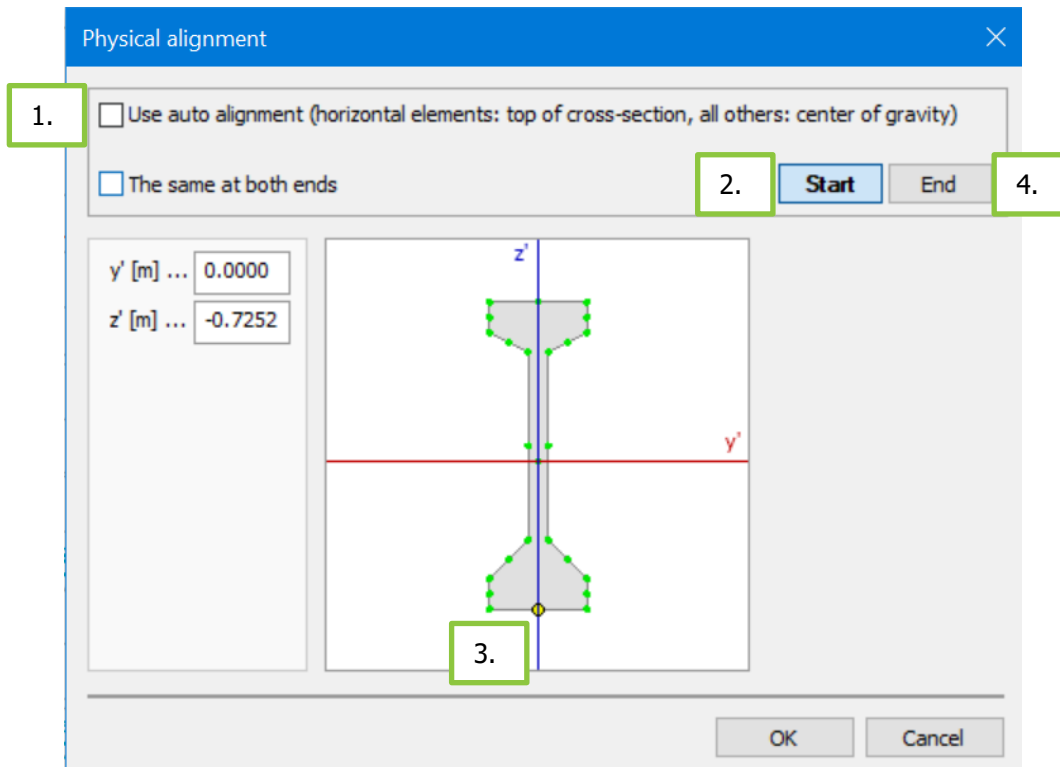


KUVA 24.

Klikkaa aukeavasta ikkunasta "Physical alignment" painiketta.

Sitten klikkaa hiiren oikealla palkin toista lapetta. (Sama kumpaa. Samat tehdään molemmille puolille erikseen.)

Aukeaa jälleen uusi ikkuna.

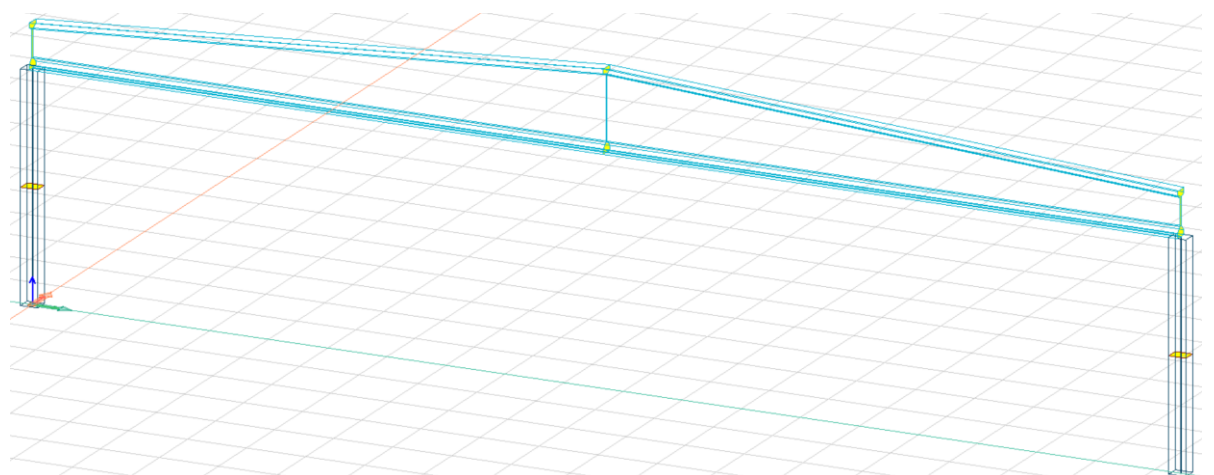


KUVA 25.

1. Klikkaa pois täppä kohdasta "Use auto alignment", jos se on päällä.
2. Klikkaa "Start"(palkin alkupää)
3. klikkaa palkin alareunan keskikohtaa.
4. Klikkaa "End"(loppupää/harja) ja tee sama myös loppupäähän.

Tee samat jutut palkin toisellekin lappeelle.

Nyt palkki pitäisi olla mallissa tämän näköinen:

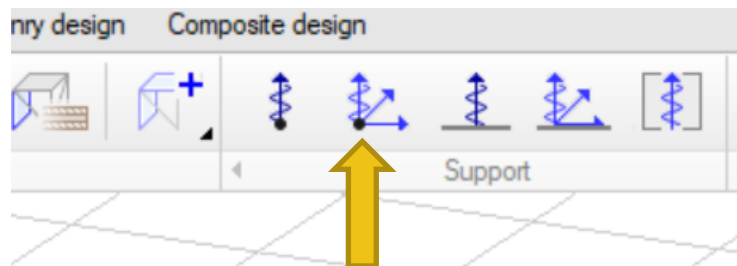


KUVA 26.

4.3 Liitokset

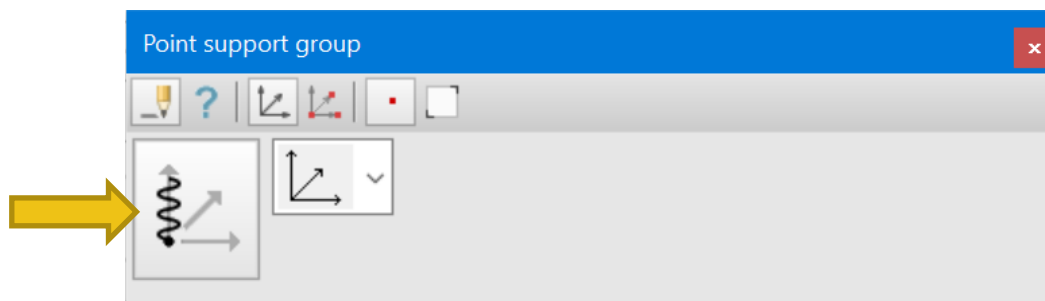
Seuraavaksi lisätään pilareiden alapään liitokset.

Valitse ylälaidasta komento *"Point support group"*.



KUVA 27.

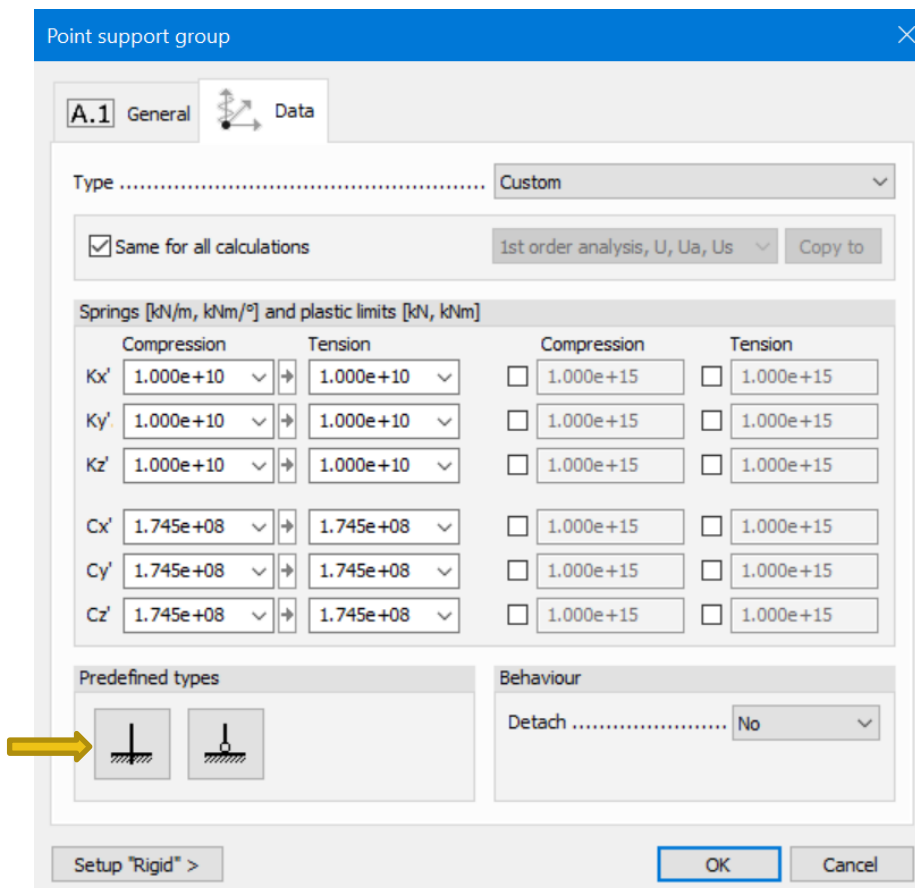
Aukeaa ikkuna, josta valitset kynäkuvakkeen. Ja sitten Nuolen osoittaman painikkeen.



KUVA 28.

?-Merkki painikkeen kautta voi muokata lisättyjen liitosten tietoja jälkikäteen.

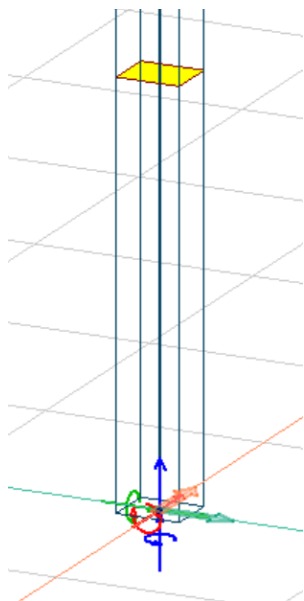
Nyt aukeaa jälleen uusi ikkuna, josta valitse "Data"-välilehti.



KUVA 29.

Klikkaa nuolen osoittamaa "Rigid"(jäykkä) painiketta. Sen jälkeen OK.

(Numeroarvoihin ei tarvitse tehdä muutoksia.)



KUVA 30.

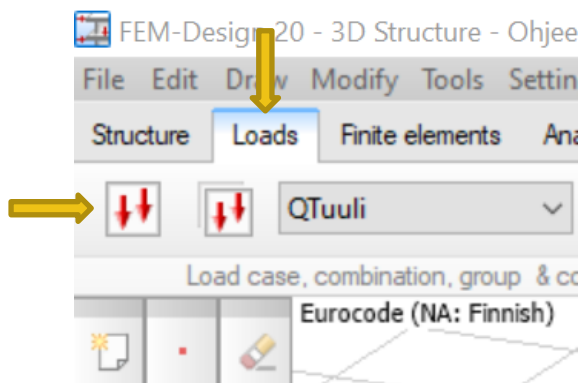
Klikkaa pilarin alapäätä. (Varmista jälleen ennen klikkausta, että näkyy nuoli, jotta liitos on varmasti oikealla kohdalla.) Tee tämä myös toiselle pilarille.

5 KUORMAT

5.1 Load cases

Valitse vasemmasta yläreunasta "Loads"-välilehti.

Klikkaa "Load cases"-painiketta vasemmasta yläkulmasta.

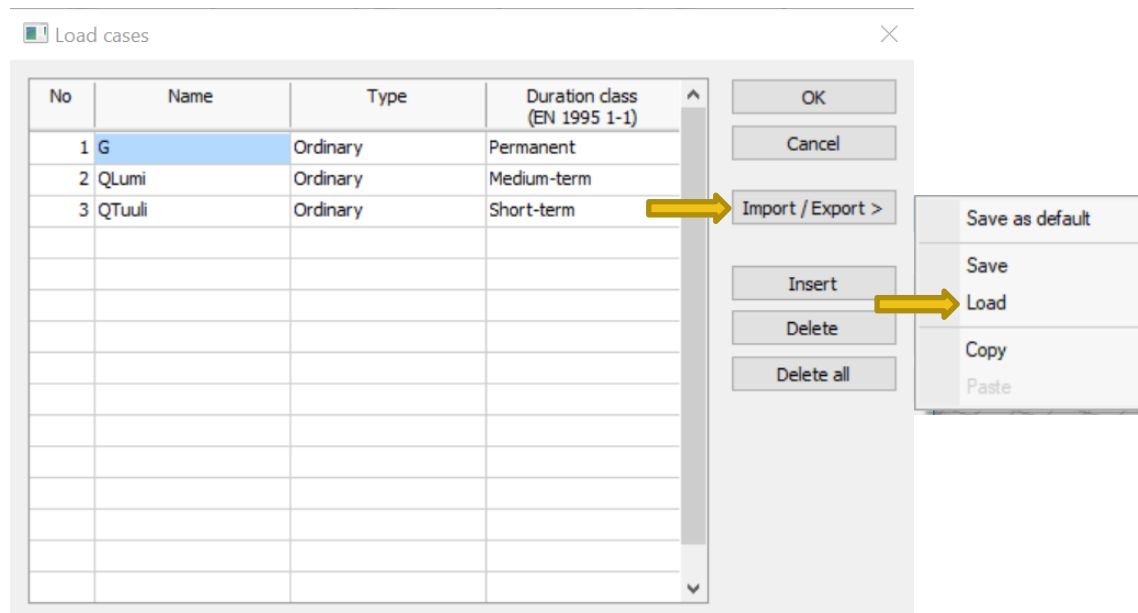


KUVA 31.

Aukeaa ikkuna, jossa näkyy kuormat. Pitäisi olla kuormat valmiina, mutta jos näin ei ole, toimi seuraavan ohjeen mukaan. Jos taas näkyy kuvassa näkyvät kuormat, voit hypätä kohtaan 5.2.

Klikkaa "Import/Export", ja sieltä "Load".

VARMISTA ETTÄ LÖYTYY AINAKIN KUVASSA NÄKYVÄT KUORMAT!



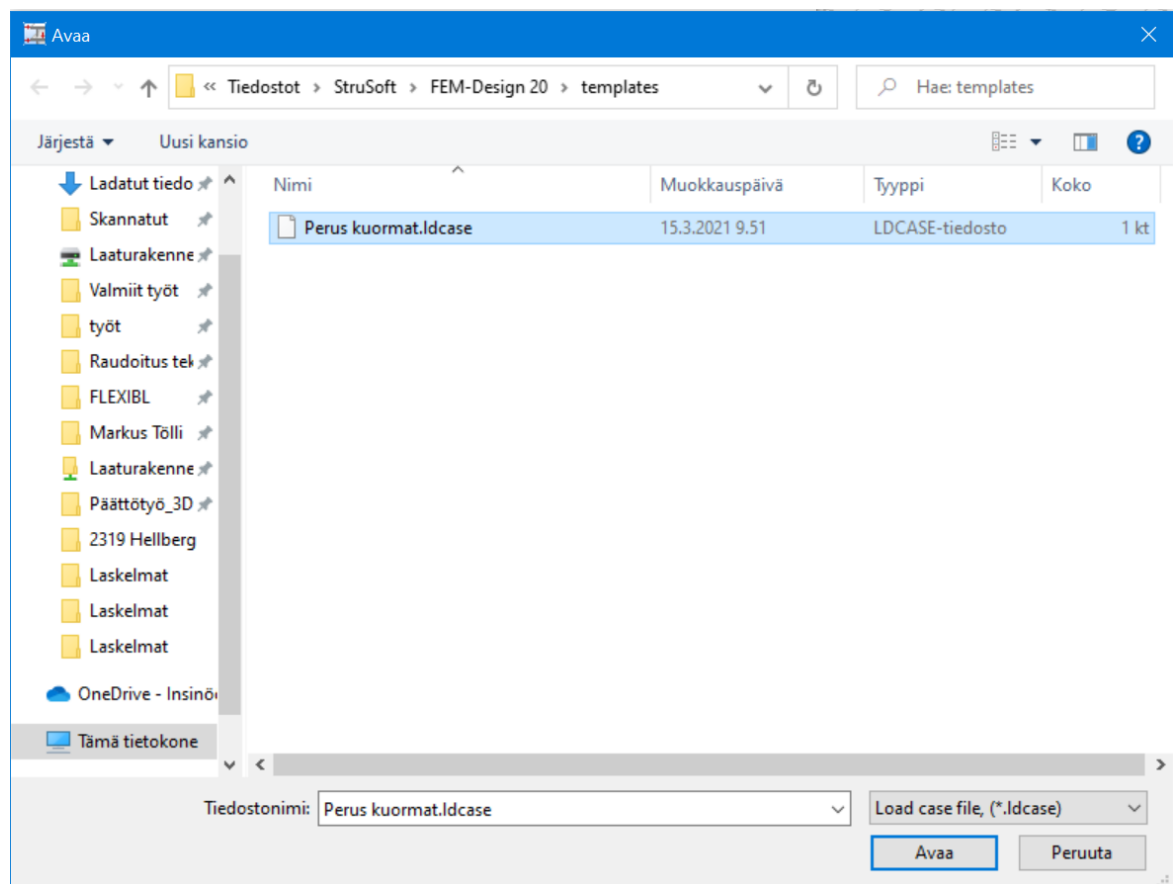
KUVA 32.

G = Pysyvät kuormat

QLumi = Lumikuorman aiheuttamat kuormat

QTuuli = Tuulesta aiheutuvat kuormat

Lisää tarvittaessa muita.



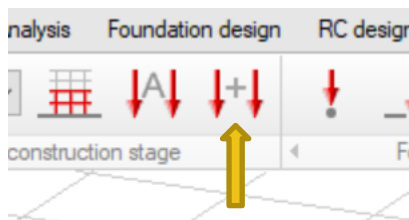
KUVA 33.

Aukeaa uusi ikkuna, josta valitse "Perus kuormat.Idcase"-tiedosto, ja klikkaa OK.

Nyt pitäisi olla näkyvillä edellisen kuvan kuormat.

5.2 Load combinations

Klikkaa ylälaidasta "Load combinations" painiketta.

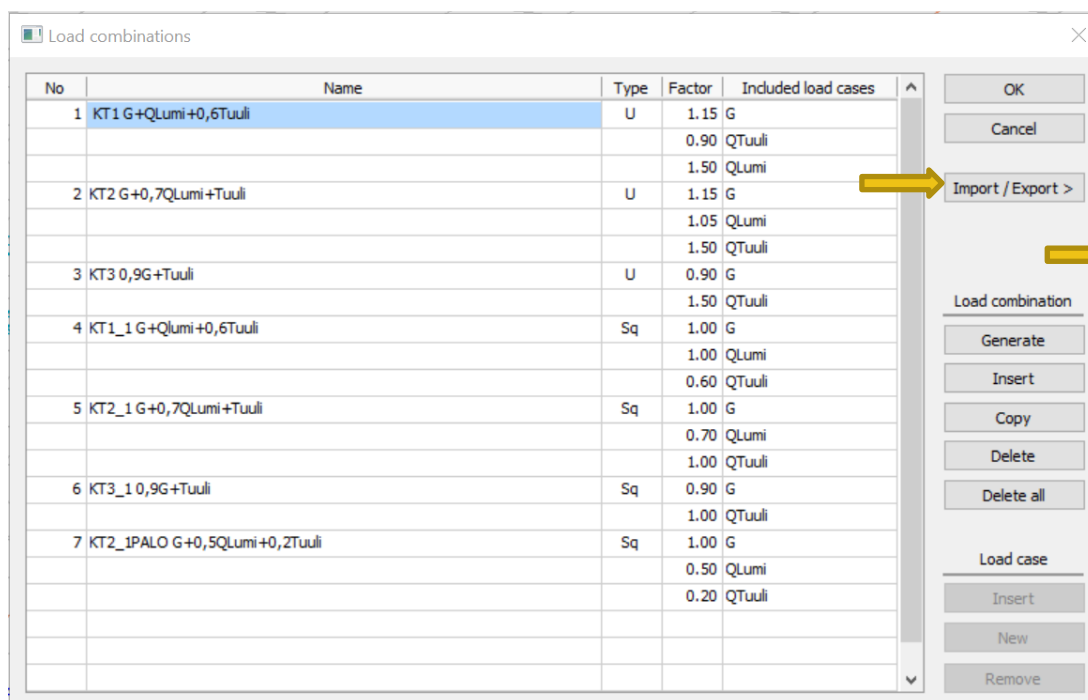


KUVA 34.

Aukeaa ikkuna, jossa pitäisi olla valmiina kuormitusyhdistelyt. Jos näin ei kuitenkaan ole mennään seuraavan ohjeen mukaan. Mutta jos on, niin voit hypätä suoraan kohtaan 5.3.

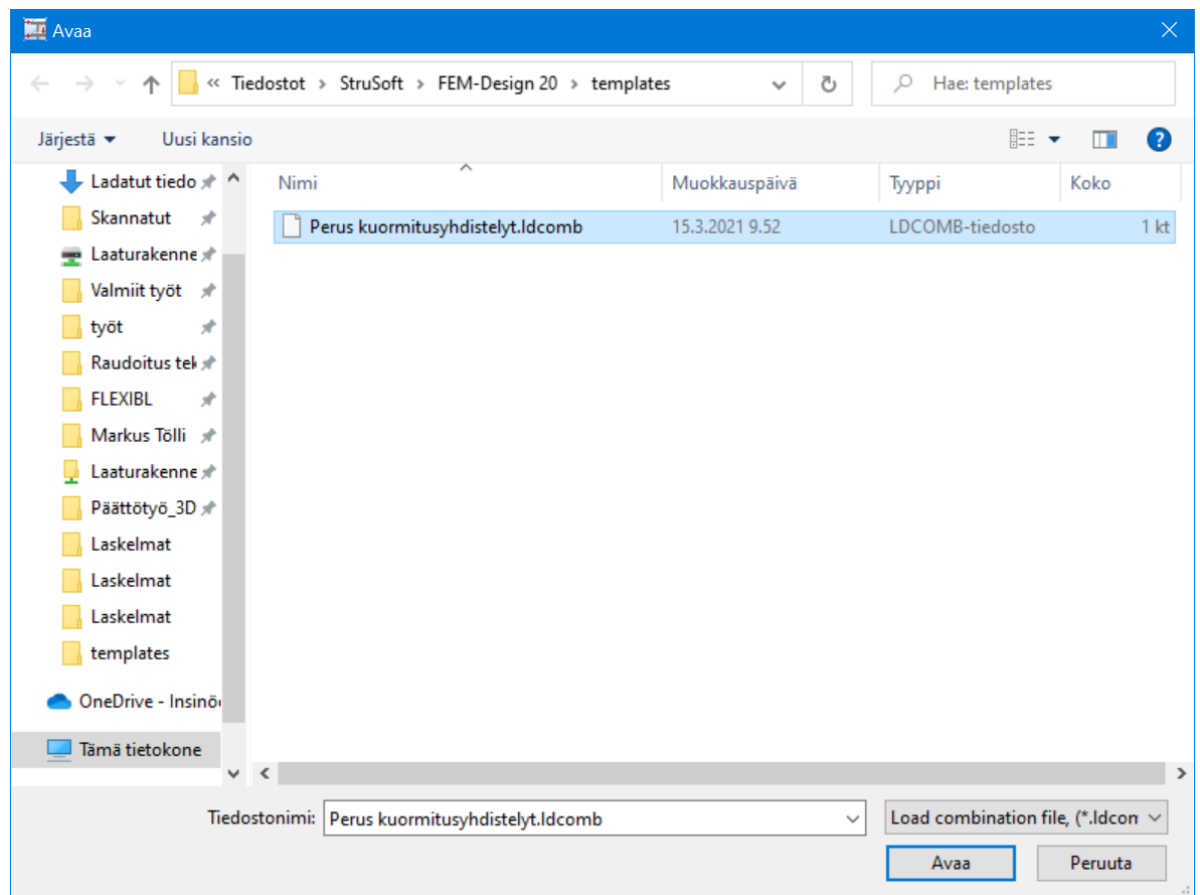
Klikkaa "Import/Export", ja sieltä "Load".

VARMISTA ETTÄ LÖYTYY AINAKIN KUVASSA NÄKYVÄT KUORMITUSYHDISTELYT!



KUVA 35.

Lisää tarvittaessa uusia seuraavalle tyhjälle riville.



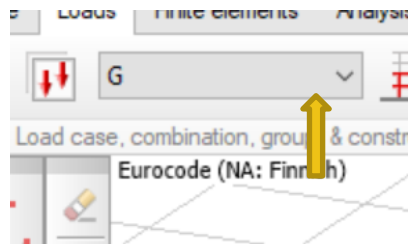
KUVA 36.

Aukeaa uusi ikkuna, josta valitse "Perus kuormitusyhdistelyt.Idcomb" tiedosto, ja klikkaa OK.

Nyt pitäisi olla näkyvillä edellisen kuvan kuormitusyhdistelyt.

5.3 Kuormien lisääminen malliin

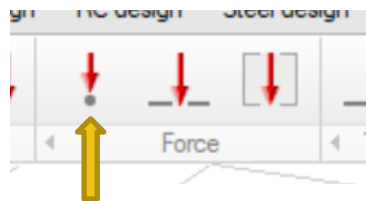
Valitse ensin vasemmasta yläkulmasta kuorma minkä haluat lisätä. (Load case)



KUVA 37.

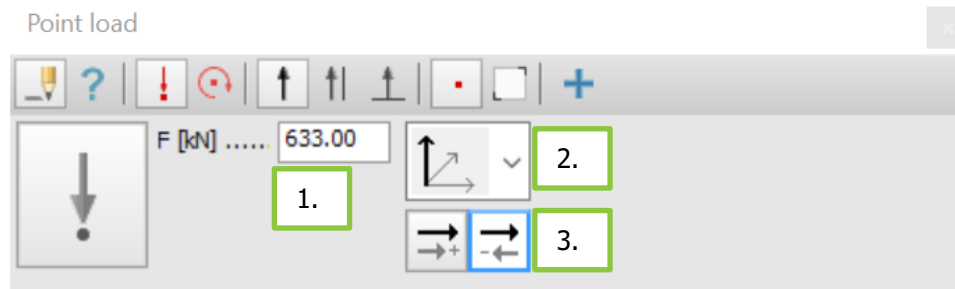
5.3.1 Pistekuorma, Point load

Valitse yläreunasta komento "Point load".



KUVA 38

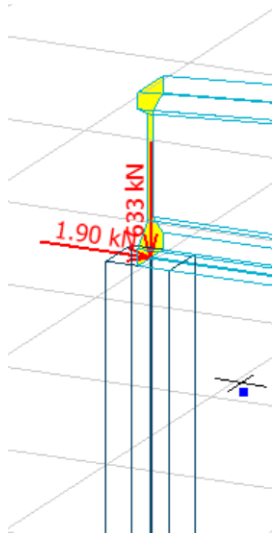
Aukeaa ikkuna, josta klikkaa ensin kynäpainiketta.



KUVA 39.

1. Lisätään kuorma (633kN) Muista aina käyttää ohjelmassa pilkun paikalla pistettä!
2. Valitaan suunta. (Valitaan x- y- tai z-akselin suunta)
3. Valitaan + tai - suunta valitulla akselilla.

Klikkaa pilarin yläpäätä. Muista varmistaa, että kuorma tulee varmasti oikealle kohdalle.

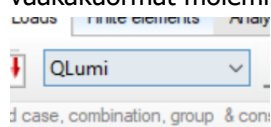


KUVA 40.

Lisää myös pilarin omapaino *"Line load"* komennolla. (Viivakuorma 5.3.2)

Lisää pystykuorma molemmille pilareille. Lisäksi lisää molemmille pilareille, pysyvien kuormien aiheuttama, epäkeskisyydestä johtuva lisävaakakuorma.

Lisää samalla tavalla myös *"QLumi"* pystykuormat molemmille pilareilla, sekä sen aiheuttamat lisävaakakuormat molemmille pilareille.

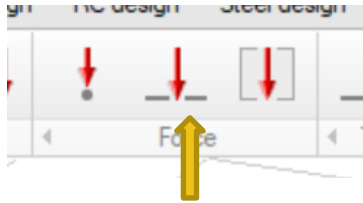


KUVA 41.

?-Merkki painikkeen kautta voi muokata lisättyjen kuormien tietoja jälkikäteen. Ei kuitenkaan suuntaa.

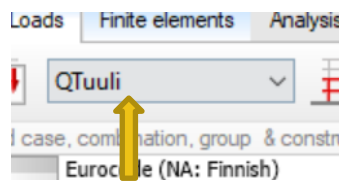
5.3.2 Viivakuorma, Line load

Valitse yläreunasta komento "Line load".



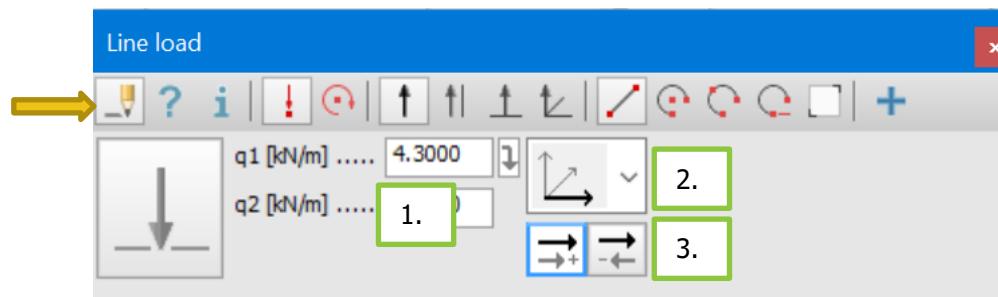
KUVA 42.

Valitaan QLumi.



KUVA 43.

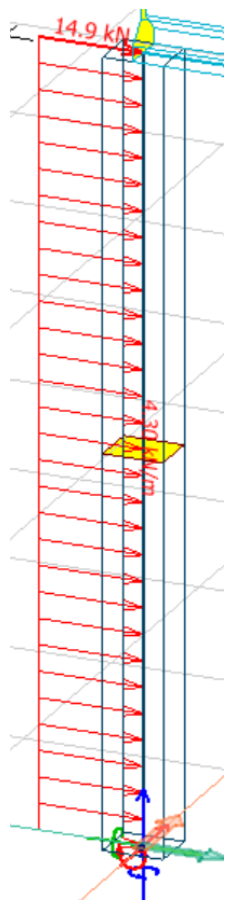
Aukeaa ikkuna, josta klikataan ensin kynäpainiketta.



KUVA 44.

1. Lisätään kuorma (4.3kN/m) Muista aina käyttää ohjelmassa pilkun paikalla pistettä!
2. Valitaan kuorman suunta. (Valitaan x- y- tai z-akselin suunta)
3. Valitaan + tai - suunta valitulla akselilla.

Klikkaa ensin pilarin toista päätä, sitten anna kuormalle suunta ja klikkaa uudestaan. Nuolet näyttävät kuorman suunnan, niin voit tarkastaa, että se tulee varmasti oikeaan suuntaan.



KUVA 45.

Lisää myös pilarin yläpuolisille rakenteille kohdistuvasta tuulesta johtuva pistekuorma pilarin yläpäähän.

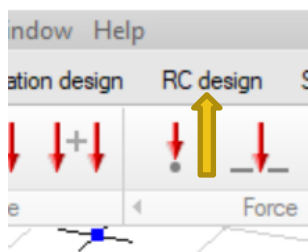
Lisää myös toiseen pilariin (Imu) vaakakuorma, ja vaakavoima.

6 RC-DESIGN

Tässä osiossa käydään läpi ensin nurjahduspituuden asetukset, sekä pilareiden ryhmittely, joka nopeuttaa raudoitusta. Sen jälkeen käydään vaihe vaihteelta läpi pilareiden raudoittaminen parhaimmalla mahdollisella tavalla. Eli helpoin ja nopein tapa, joka pohjautuu omiin havaintoihin, sekä kokemuksiin, eri raudoitus vaihtoehdoista. Ohjelmassa on vaihtoehtona manuaalinen raudoitteiden lisääminen, jossa ensin lisätään haat ja sitten pääteräket yksitellen. Toinen vaihtoehto on, että antaa ohjelman laskea ja tehdä raudoitus automaattisesti, ja muokata niitä sen jälkeen. Vielä kolmas, ja mielestäni nopein ja helpoin tapa on tehdä raudoitteet ensin parametric reinforcement -työkalulla, ja sitten käydä siirtämässä ne täysin oikeille paikoille manuaalisesti. Ohje on tehty tämän tavan mukaisesti.

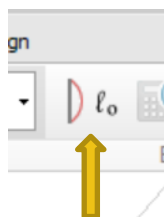
6.1 Nurjahduspituus ja ryhmittely

Valitse yläreunasta välilehti RC design.



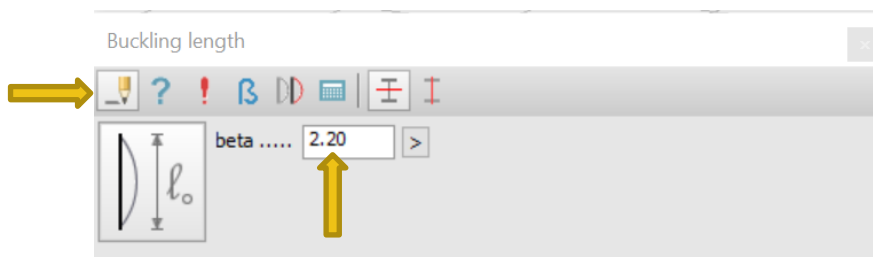
KUVA 46.

Varmista komennon "*Buckling length*" kerroin, että se on 2.2. Tarkistus tapahtuu seuraavasti.

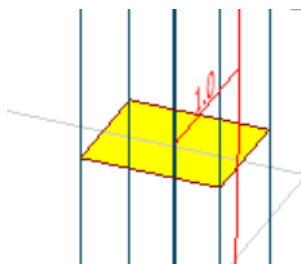


KUVA 47.

Aukeaa ikkuna, josta klikkaa ensin kynäkuvaketta. Zoomaa pilaria lähemmäs ja tarkasta, että sen keskellä on numero 2.2



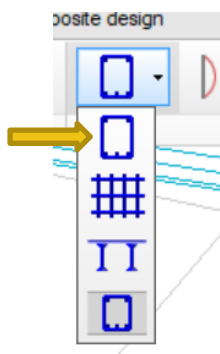
KUVA 48.



KUVA 49.

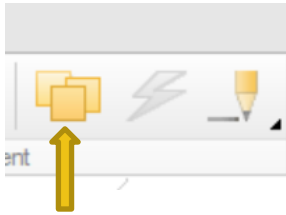
Jos on joku muu niin kirjoita "beta" laatikkon arvo 1.00 ja klikkaa pilaria. (Tarkasta muutkin pilarit)

Seuraavana valitaan yläreunasta "Bar reinforcement" komento.



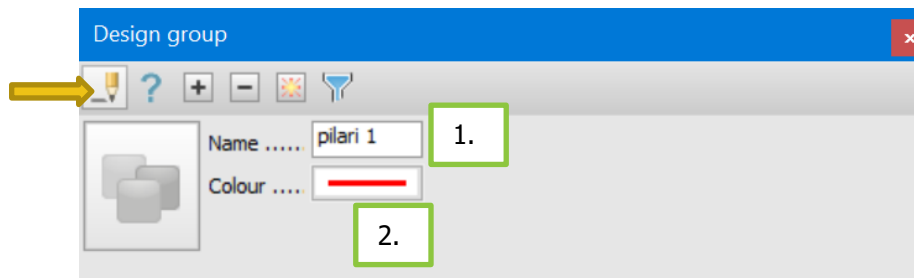
KUVA 50.

Seuraavana tehdään pilareille ryhmittely. Klikkaa ylhäältä komento *"Design group"*. Tällä tehdään kaikista samanlaisista pilareista ryhmä, jotta raudoitusta, ja muita pilarin asetuksia ei tarvitse tehdä kuin yhteen pilariin.



KUVA 51.

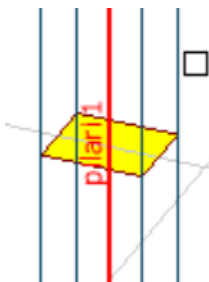
Aukeaa ikkuna, josta klikkaa ensin kynäkuvaketta.



KUVA 52.

1. Anna ryhmälle nimi. (Esim. Pilari 1)
2. Valitse ryhmälle väritunnus
3. Klikkaa pilaria, hiiren oikealla napilla, jonka mukaan ryhmä tehdään

Pilariin tulee lukemaan ryhmän tunnus.



KUVA 53.

Lisätään toinen pilari samaan ryhmään. Valitse "Design group"ikkunasta "Add members"komento.



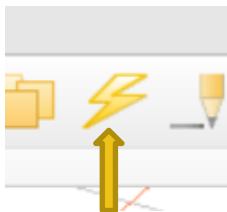
KUVA 54.

1. Klikkaa ensin pilaria, mikä on valittu jo ryhmään, hiiren oikealla napilla.
2. Sitten klikkaa pilaria, jonka hauat lisätä ryhmään, hiiren oikealla napilla.

Tämän voi tehdä myös vetämällä valintalaatikon koko mallin yli. Tällöin ryhmään lisätään kaikki elementit (Tässä tapauksessa pilarit), joissa täsmää poikkileikkaus, pituus yms. asetukset. Tämä on hyödyllinen, jos on mallissa enempi pilareita.

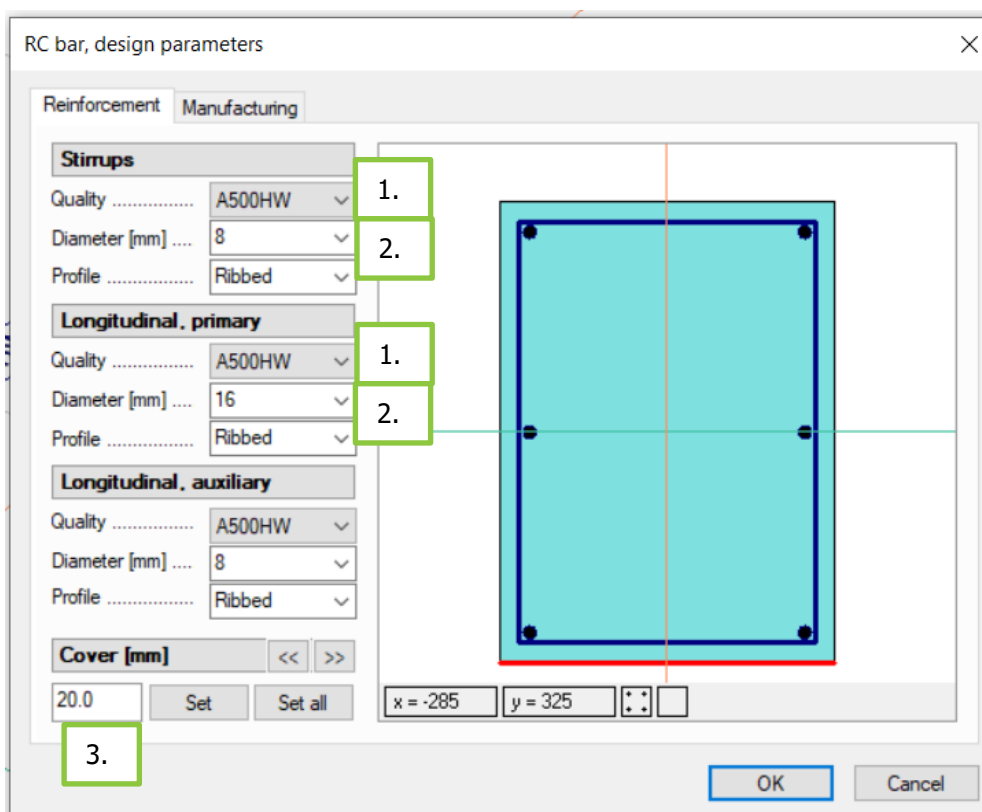
6.2 Raudoitus

Seuraavana Lisätään pilareihin raudoitus. Käydään aluksi läpi raudoituksen esimitoitus automaattisesti. Tämä tapahtuu "Auto Design" työkalulla.



KUVA 55.

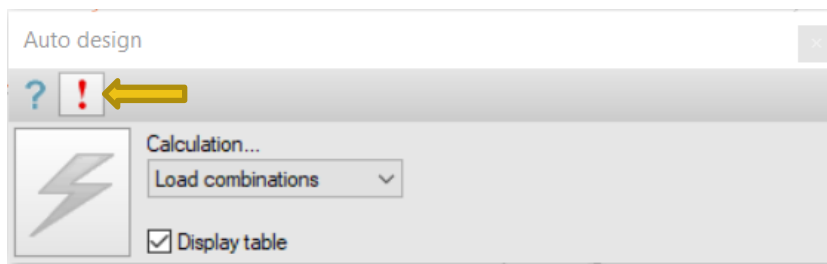
Aukeaa ikkuna. Nyt klikataan hiiren oikealla napilla pilaria, johon raudoitus halutaan. ja aukeaa jälleen uusi ikkuna, johon määritellään seuraavat tiedot.



KUVA 56.

1. Teräslaatu. (A500HW)
2. Haan ja pääterästen koko
3. Terästen suojaetäisyys.
4. Ja lopuksi "OK".

Seuraavaksi klikataan "Design".



KUVA 57.

Aukeaa jälleen uusi ikkuna, josta klikataan uudelleen "Design". Nyt ohjelma lisää pilariin raudoituksen.

Utilization

	Group	Design parameters	Total weight [t]	Max. [%]	Min. [%]	
✓	C. 1.1	d = 8, 8, 8, ...	0.039	17	17	^
						v

	Bar	Max. util. [%]	SEC [%]	ST [%]	C [%]	T [%]	CW [%]	
✓	C. 1.1	17	17	7	5	0	-	^
								v

Show only visible objects in the table

Parameters Design Delete < Hide details

KUVA 58.

Tästä nähdään ohjelman valitseminen terästen mukaiset käyttöasteet pilarissa.

Nyt kun valitaan ylhäältä "Manual design" työkalu ja klikataan pilaria hiiren oikealla napilla, päästään katsomaan minkälaisen raudoituksen ohjelma on valinnut.



KUVA 59.

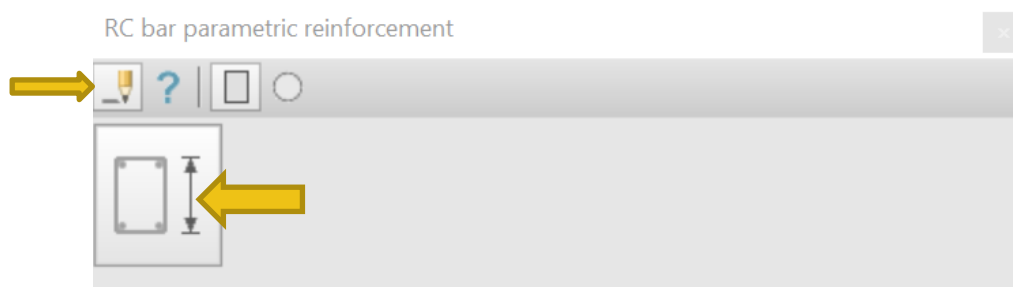
Seuraavaksi käydään läpi raudoituksen määrittäminen pilariin manuaalisesti.

Avaa yläreunasta komento *"Manual design"*; siitä aukeavasta valikosta *"Parametric reinforcement"*.



KUVA 60.

Aukeaa ikkuna, josta klikkaa ensin kynäkuvaketta.



KUVA 61.

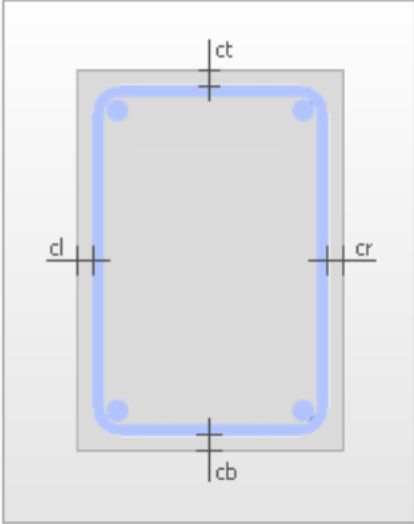
Klikkaa *"Default settings"* painiketta. Aukeaa ikkuna *"RC bar parametric reinforcement"*.

RC bar parametric reinforcement



A.1 General Stirrups Longitudinal bars

Identifier (.position number) R



ct [mm] 20.0

cl [mm] 20.0

cb [mm] 20.0

cr [mm] 20.0

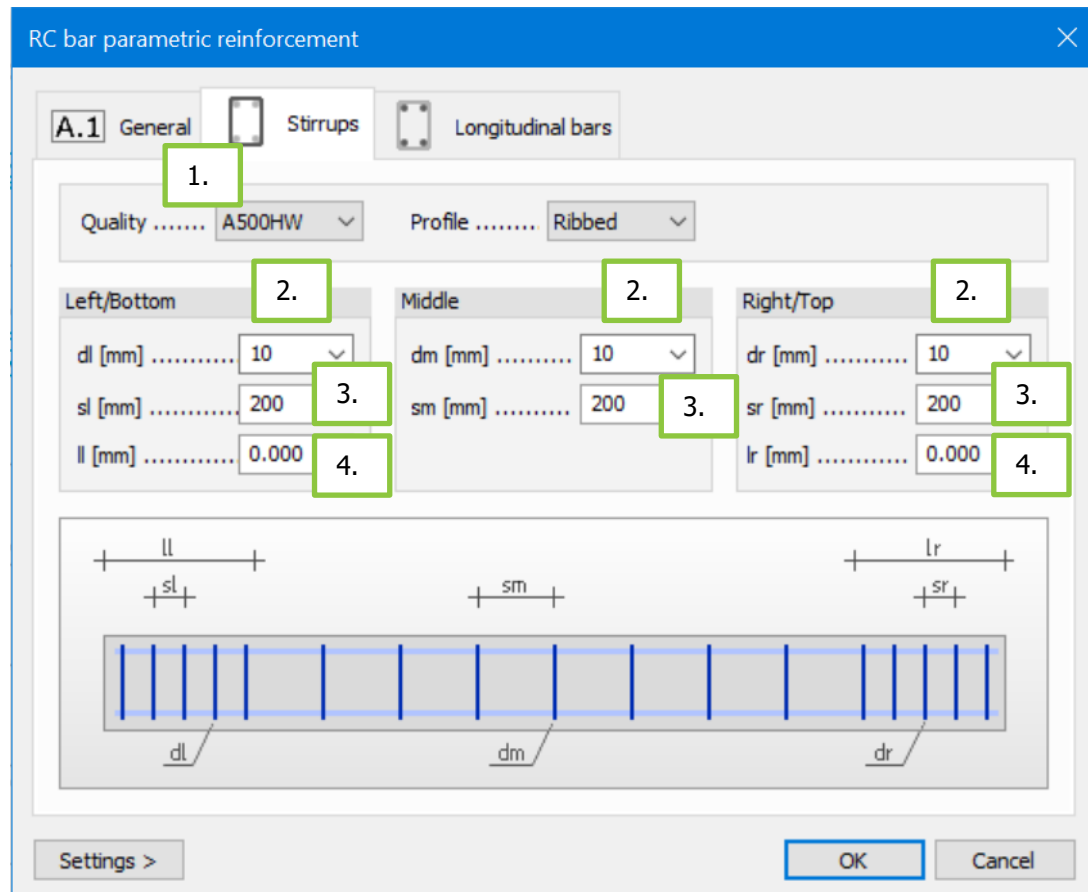
Settings > OK Cancel

KUVA 62.

"General"-välilehdellä valitaan ensin terästen suojaetäisyydet. (20.0mm)

Lisäksi kohtaan "Identifier" voidaan nimetä rauditus, joka tulee näkymään pilarissa.

Seuraavaksi klikataan auki "Stirrups"-välilehti.

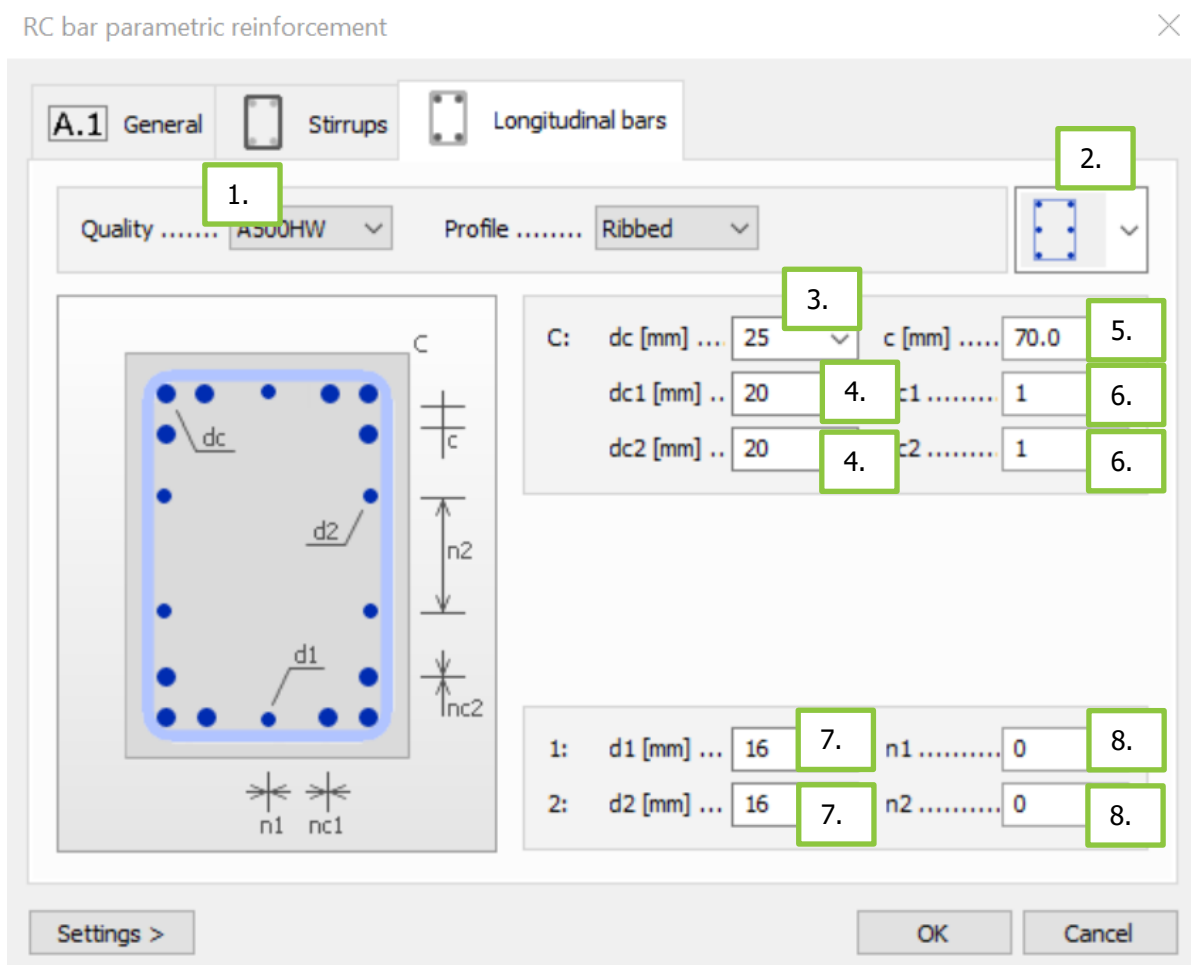


KUVA 63.

5. Valitaan teräslaatu. (A500HW)
6. Hakakoko pilarin alapäässä "dl", keskellä "dm" ja yläpäässä "dr".
7. Hakaväli pilarin alapäässä "sl", keskellä "sm" ja yläpäässä "sr".
8. Kohtiin "ll" ja "lr" laitetaan pituus, mille matkalle tihennetty hakaväli pilareiden päissä tulee.

"Settings"-napin alta voi tallentaa, tai ladata valmiita tallennettuja raudoituksia.

Seuraavana klikkaan välilehti "Longitudinal bars".



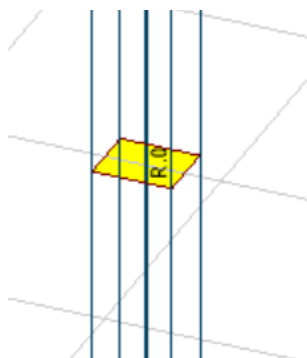
KUVA 64.

1. Valitaan teräslaatu. (A500HW)
2. Valitaan, onko pilari vai palkki raudoitus (Pilari)
3. Valitaan pääterästen koko "dc".
4. Jos kohteessa on muitakin kuin nurkkateräkset niin valitaan niiden koko "dc1" ja "dc2".
5. Nurkkaterästen ja lisäterästen väli "c". (Tähän voi laittaa jotain, kun näitä joudutaan myöhemmin siirtämään.)
6. Lisäterästen lukumäärä "nc1" ja "nc2". Katso kuva!
7. Jos tulee vielä lisää teräksiä, niin niiden koko "d1" ja "d2".
8. Ja lukumäärä "n1" ja "n2".
9. Lopuksi OK

"Settings" napin alta voi tallentaa, tai ladata valmiita tallennettuja raudoituksia.

Nyt klikataan hiiren oikealla napilla pilaria, johon raudoitus halutaan asettaa.

Pilariin ilmestyy raudoitukselle annettu tunnus. (KUVA)



KUVA 65.

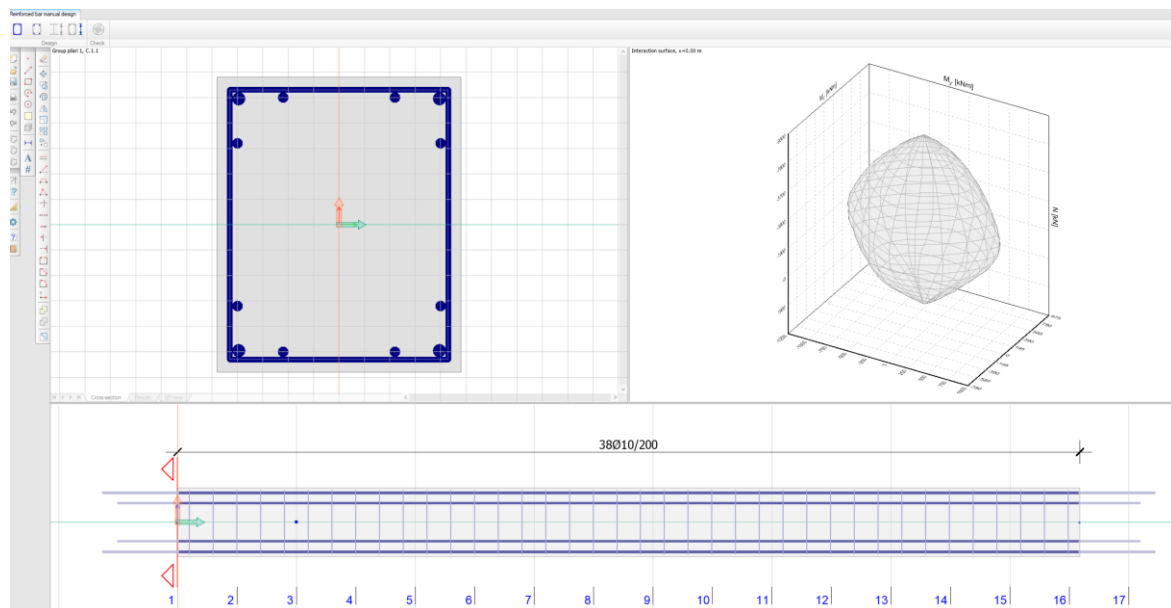
Raudoitus tulee automaattisesti myös kaikkiin saman ryhmän pilareihin, joten jokaisesta ryhmästä tarvitsee klikata vain yhtä pilaria.

Klikataan ylhäältä *"manual desing"*, siitä aukeavasta valikosta *"Draw"*.



KUVA 66.

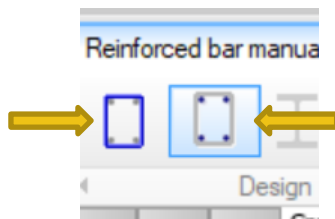
Sitten klikataan hiiren oikealla napilla pilaria. Aukeaa uusi sivu, jossa raudoitusta voi muokata.



KUVA 67.

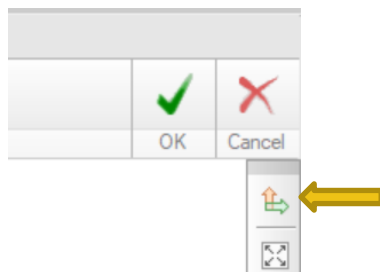
Tässä näkymässä siirretään pääraudoitus oikean etäisyyden päähän pilarin reunasta. Voit käyttää "move" ja "Stretch", sekä tarvittaessa "mirror" työkaluja.

Klikkaa ensin ylhäältä joko *Stirrup* tai *Longitudinal bars* painiketta, riippuen siitä kumpia olet muokkaamassa.



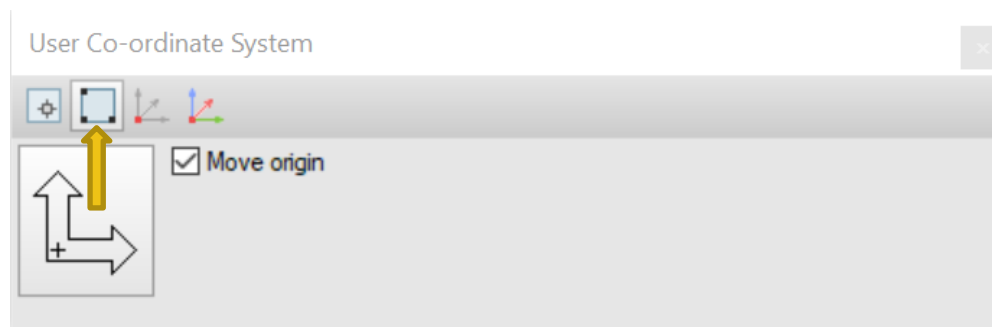
KUVA 68.

Siirtämistä helpottaa, kun siirtää koordinaatiston nollakohdan vasempaan alakulmaan. Koordinaatien käyttö raudoituksen siirtämisessä on tällöin helpompaa. Klikkaa oikeasta yläkulmasta *UCS* kuvaketta. Aukeaa ikkuna.



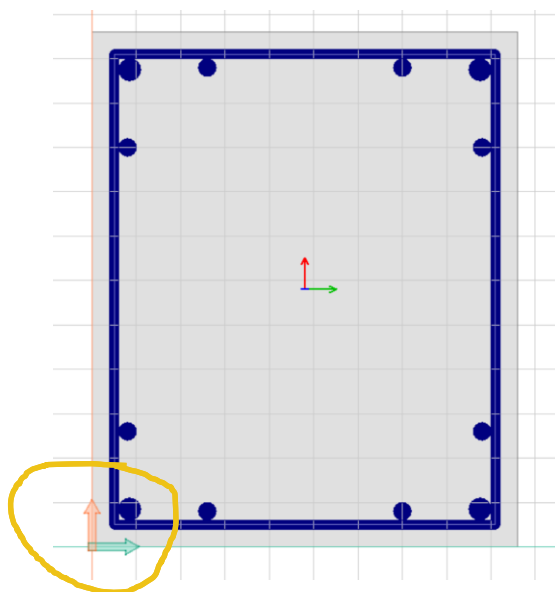
KUVA 69.

Klikkaa komentoa *3 Points*.



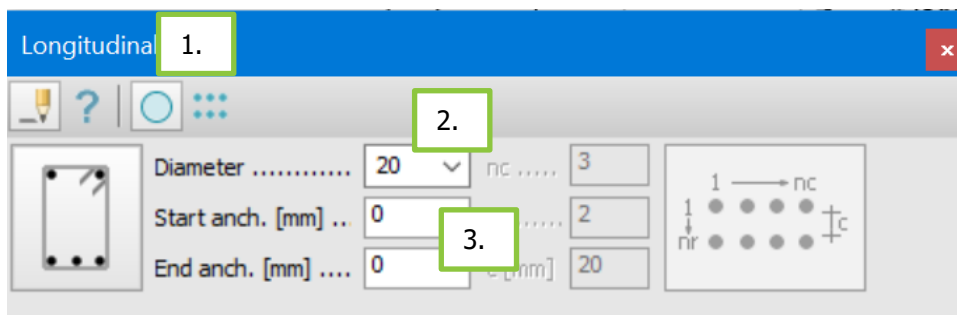
KUVA 70.

Seuraavaksi Klikkaa poikkileikkauskuvasta ensin pilarin vasenta alakulmaa, toisena X-akselin suuntaan ja viimeisenä Y-akselin suuntaan. Nyt "nollakohta" on vasemmassa alakulmassa. (KUVA)



KUVA 71.

Jos taas raudoituksia tarvitsee lisätä, klikkaa ylhäältä *"Longitudinal bars"*. Aukeaa ikkuna.



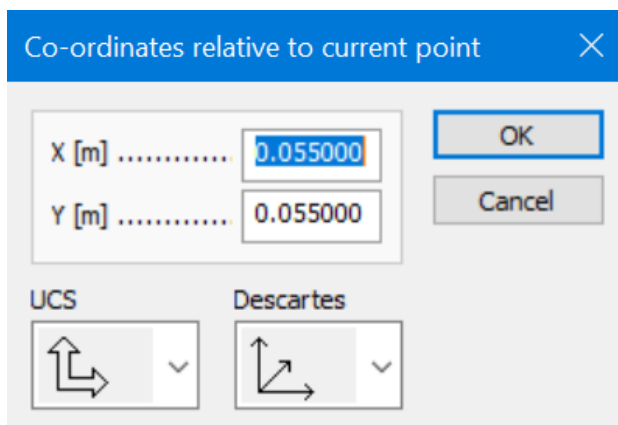
KUVA 72.

Klikataan ensin kynäkuvaketta.

1. Valitaan, lisätäänkö yksi vai useampi raudoitus kerrallaan. *"Single bars"* tai *"Group of bars"*
2. Valitaan raudoitteen koko.
3. Näihin laitetaan raudoituksen ylitys alku- ja loppupäässä. Voidaan laittaa molempiin 0.

Kun nämä on tehty, voidaan raudoite lisätä. Se tapahtuu seuraavasti.

Vie kursori pilarin nollakohtaan, ja paina *"F12"* nappia. Aukeaa ikkuna.



KUVA 73.

Laita etäisyys X- ja Y-akselin suunnassa laatikoihin metreinä. (0.055 m ja 0.055 m)

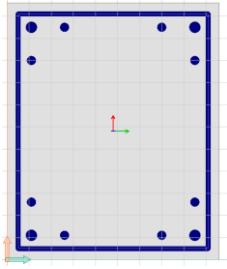
Tässä helpottaa, jos on AutoCad:lla tehty poikkileikkaus, johon on mitoitettu raudoitteiden paikat nollakohdasta.

Sitten vain OK.

Tätä komento voi käyttää myös raudoitteiden siirtämisessä!

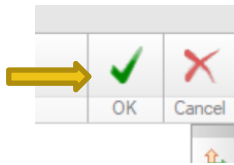
"F12" komento ottaa nollakohdaksi aina sen kohdan, missä kursori klikkaus hetkellä on!

HUOM! Teräksen voi myös lisätä muillakin tavoilla. Tällä tavalla ne tulevat varmasti oikeille paikoille.



KUVA 74.

Kun haat ja pääteräkset ovat oikeilla paikoillaan, painetaan oikeasta yläkulmasta "OK" painiketta.



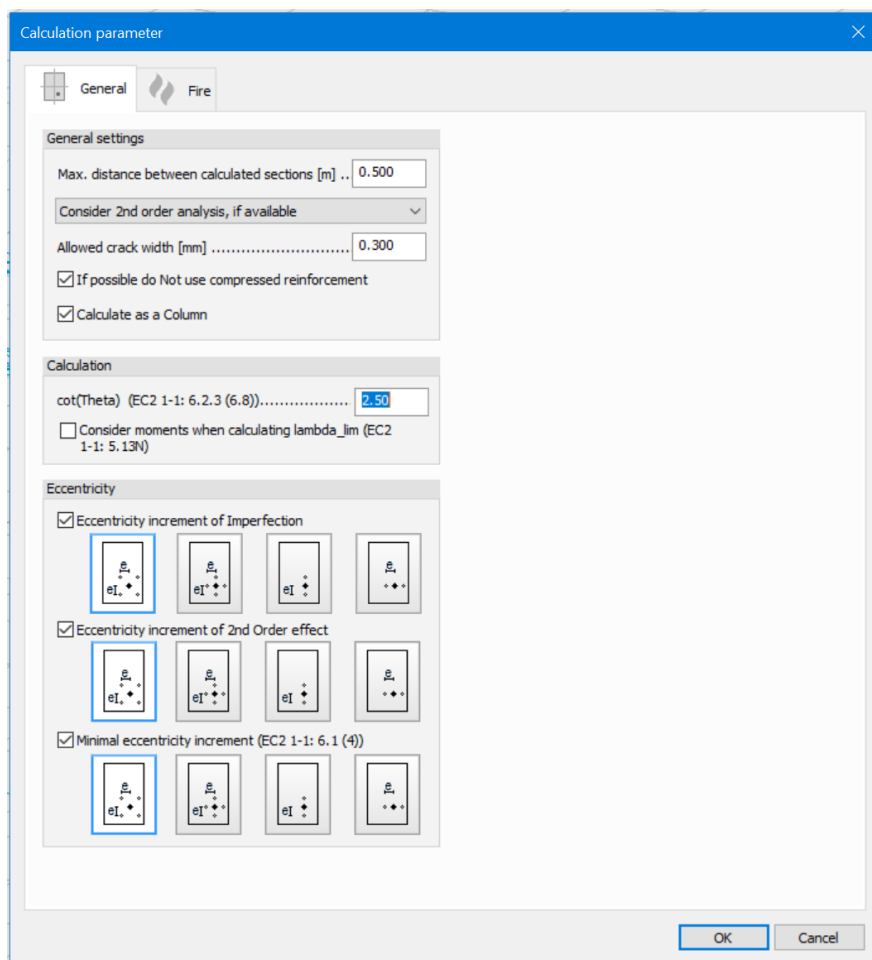
KUVA 75.

7 MITOITUS

Tässä osiossa käydään läpi, miten malliin tehdään edellä mallinnettujen kuormien ja kuormitusta-pausten mukaiset laskennat, sekä tarkastetaan, onko valittu rauditus riittävä ja muutenkin sopiva. Laskennasta saadaan selville jokaisen pilarin taipuma, voimasuureet, sekä käyttöaste. Mitoituksessa on mukana epäkeskisyyks (20 mm), sekä pilarin alkukaarevuus $L/400$. Nämä voi halutessaan jättää pois laskelmista calculation parameric -työkalun kautta.

7.1 Epäkeskisyyks ja alkukaarevuus

Tarkastetaan, että epäkeskisyyks ja pilarin alkukaarevuus $L/400$ ovat mukana mitoituksessa. Klikataan ylhäältä "Calculation parameter"-työkalua. Aukeaa ikkuna, josta nähdään mitä laskennassa on mukana. Kuvan mukaiset ruksit pitää olla valittuna, jotta epäkeskisyyks, sekä alkukaarevuus otetaan huomioon.

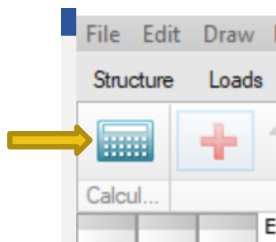


Kuva 76.

Saman voi tarkastaa myös mitoituksen lopussa "Detailed result"-työkalun avulla.

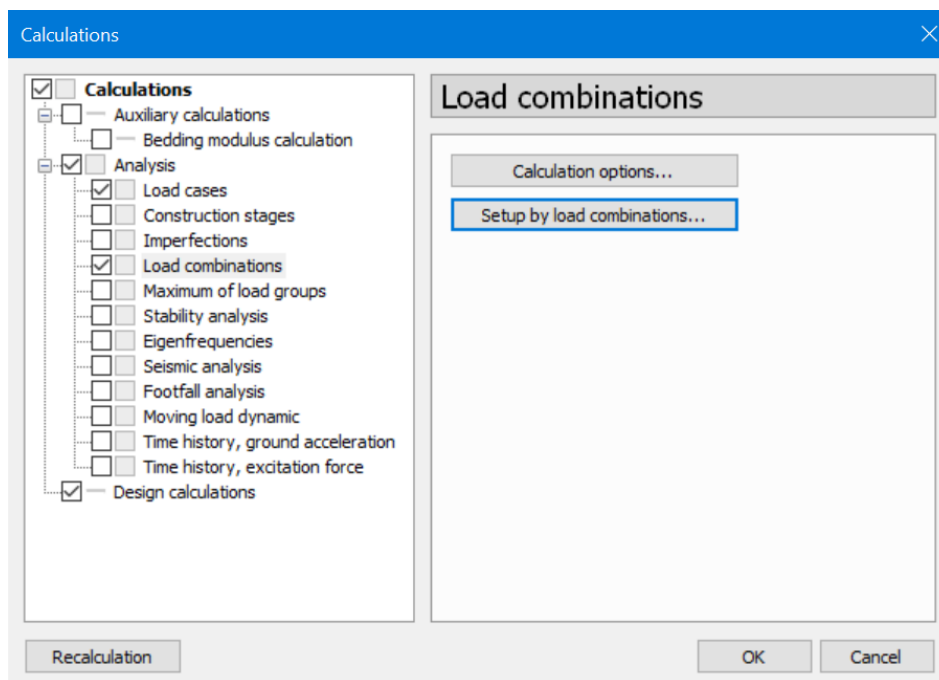
7.2 Laskenta

Klikataan vasemmasta yläkulmasta *"Calculate"*.



KUVA 77.

Aukeaa ikkuna, josta valitaan laskettavaksi *"Load cases"*, *"Load combinations"* ja *"Desing calculation"*. (KUVA)



KUVA 78.

Jos lasketaan sekä 1.kertaluvun, että 2.kertaluvun mukaan, niin klikataan *"load combinations"* ja sieltä *"Setup by load combinations."*. Aukeaa seuraavanlainen ikkuna.

No	Type	Load combination	Calc	CS	NLE	PL	NLS	Cr.	2nd	Im.	GW level
1	U	KT1 G+QLumi+0,6Tuuli	X		X	X					
2	U	KT2 G+0,7QLumi+Tuuli	X		X	X					
3	U	KT3 0,9G+Tuuli	X		X	X					
4	Sq	KT1_1 G+QLumi+0,6Tuuli	X		X	X					
5	Sq	KT2_1 G+0,7QLumi+Tuuli	X		X	X					
6	Sq	KT3_1 0,9G+Tuuli	X		X	X					
7	Sq	KT2_1PALO G+0,5QLumi+0,2Tuuli	X		X	X					

Buttons: Add to documentation, Set, Clear, OK, Cancel

KUVA 79.

Kuvassa ainoastaan 1.kertaluvun mukainen laskenta.

Setup by load combinations

No	Type	Load combination	Calc	CS	NLE	PL	NLS	Cr.	2nd	Im.	GW level
1	U	KT1 G+QLumi+0,6Tuuli	X		X			X	X		
2	U	KT2 G+0,7QLumi+Tuuli	X		X			X	X		
3	U	KT3 0,9G+Tuuli	X		X			X	X		
4	Sq	KT1_1 G+QLumi+0,6Tuuli	X		X			X	X		
5	Sq	KT2_1 G+0,7QLumi+Tuuli	X		X			X	X		
6	Sq	KT3_1 0,9G+Tuuli	X		X			X	X		
7	Sq	KT2_1PALO G+0,5QLumi+0,2Tuuli	X		X			X	X		

Add to documentation Set Clear OK Cancel

KUVA 80.

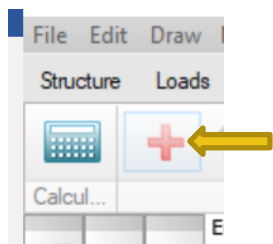
Jos taas halutaan tehdä laskenta myös 2.kertaluvun, sekä haljenneessa tilassa, valitaan tuplaklikkaamalla kohdat "Cr." ja "2nd".

Aina ei kannata laskea 2.kertaluvun ja haljenneen tilan mukaan, koska laskenta kestää huomattavasti pitempään, kuin 1. kertaluvun mukaan.

Lopullinen laskenta tulee kuitenkin tehdä 2.kertaluvun, sekä haljenneen tilan mukaan!

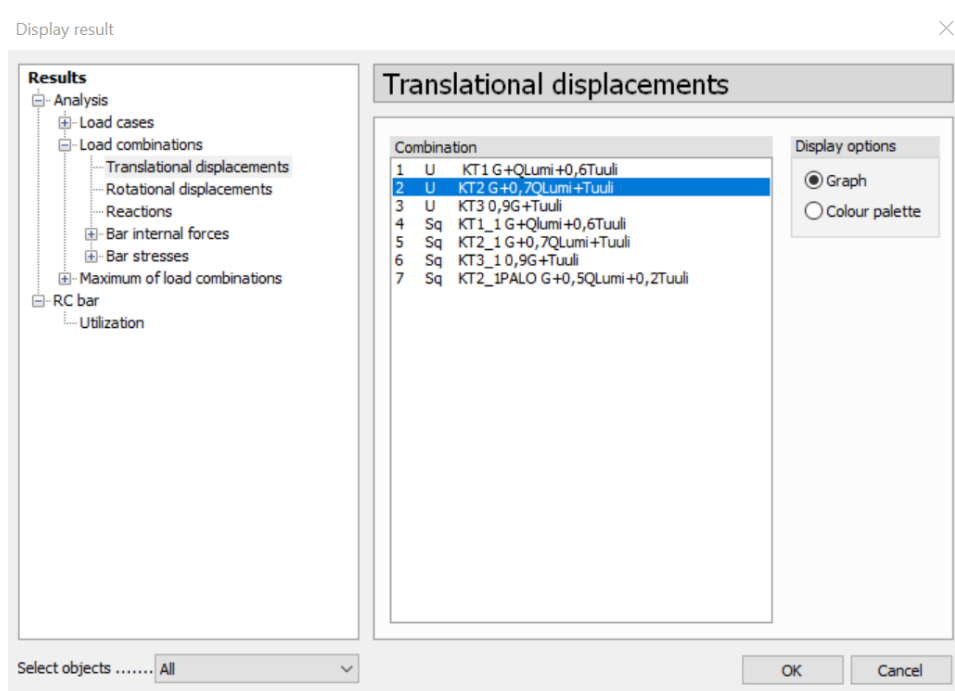
Sitten vain klikataan "OK". Laskenta käynnistyy.

Kun laskenta on suoritettu loppuun, klikkaa ylhäältä "New results" painiketta.



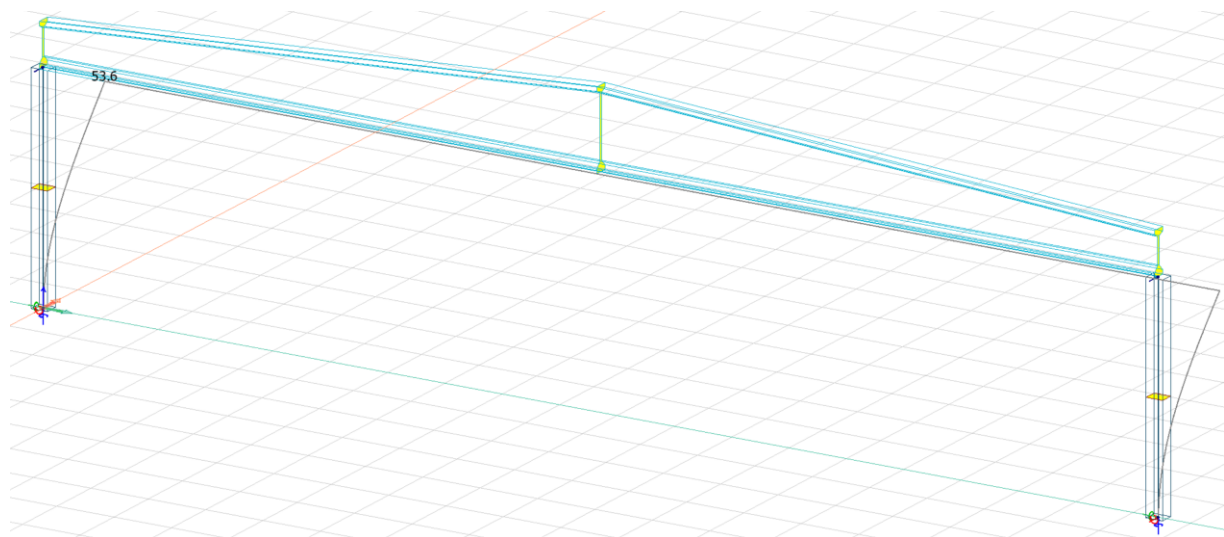
KUVA 81.

Aukeaa ikkuna "Display results".



KUVA 82.

Valitaan ensin esim. "Translational displacements", eli Siirtymä. Seuraavana valitaan mitoittava kuormitusyhdistely. (Tässä tapauksessa KT2) Ja klikataan "OK"



KUVA 83.

Nyt malliin tulee näkyviin maksimi siirtymä. (KUVA 77.)

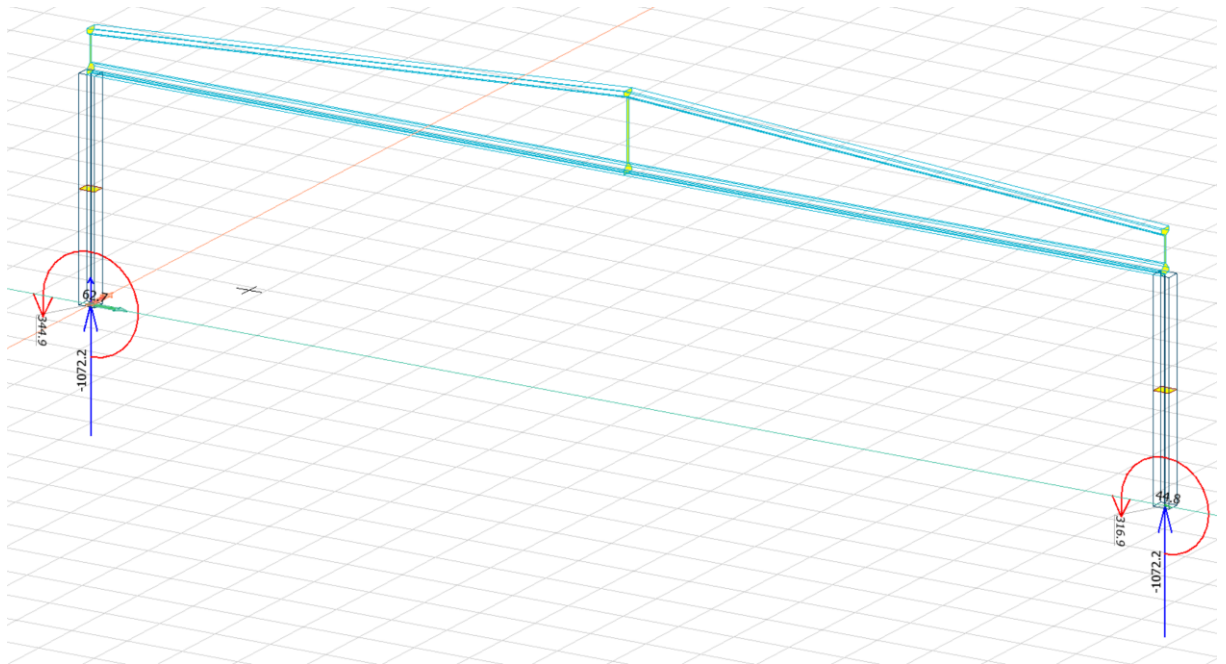
Tallennetaan laskenta muistiin. Klikataan ylhäältä "Select result" ja sen nuolta.



KUVA 84.

Ja sieltä "Keep current result". Nyt laskenta jää muistiin "Select result" painikkeen alle.

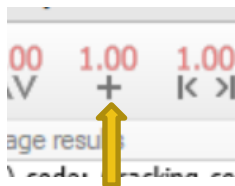
Seuraavana lasketaan "New results" painikkeen alta "Reactions", eli voimasuureet. Jälleen valitaan mitoittava kuormitusyhdistely. (KT2) Ja "OK".



KUVA 85.

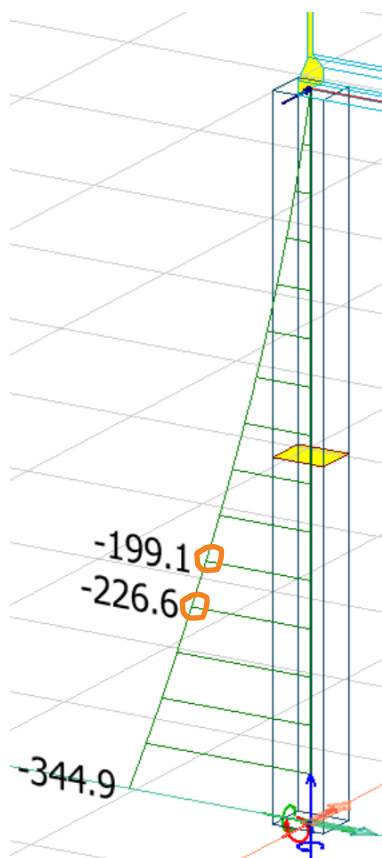
Nyt malliin tulee näkyviin voimasuureet. (KUVA 79.)

Jos halutaan katsoa muitakin, kuin maksimi arvoja, klikataan ylhäältä "Numeric value" painiketta.



KUVA 86.

klikkaa joko hiiren oikealla napilla, tai vedetään vasemmalla napilla laatikkoon halutut kohdat. Näkyviin tulee numeroarvo.



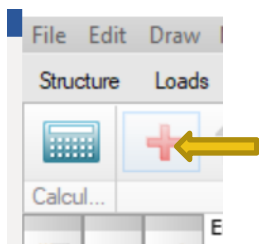
KUVA 87.

Kuvassa pilarin momentit. Näkyvissä maksimi arvo, sekä kaksi muuta arvoa.

Huom! Tämä toiminto toimii kaikissa laskennoissa!

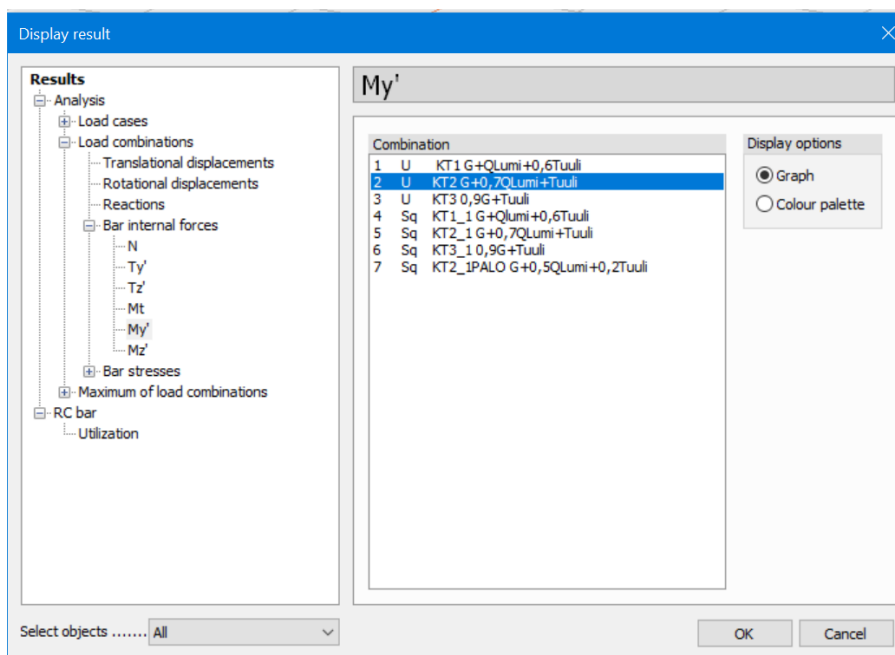
Tallennetaan myös tämä laskenta samalla tavalla kuin edellinen.

Seuraavaksi klikkaa jälleen "New results" painiketta.



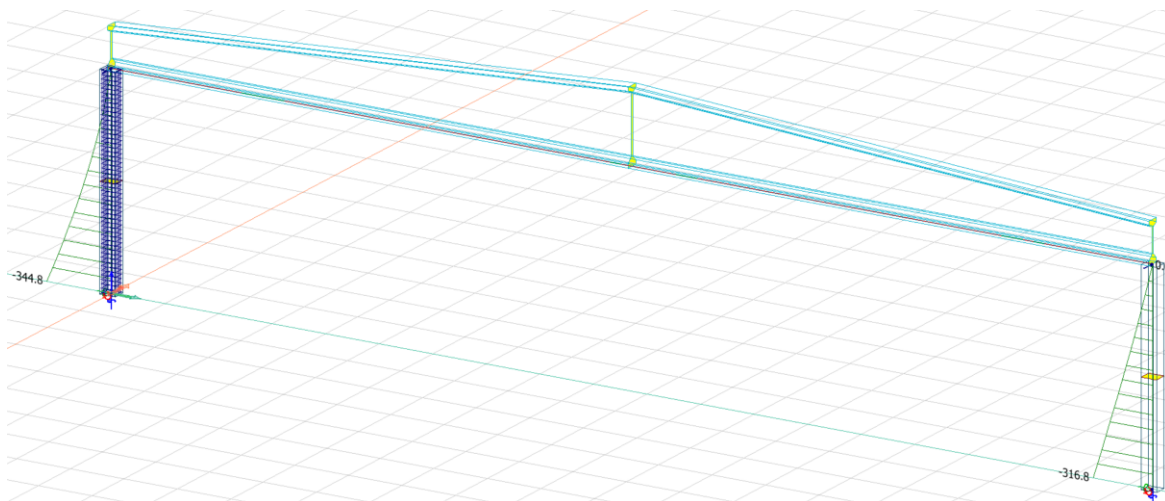
KUVA 88.

Aukeaa ikkuna "Display results".



KUVA 89.

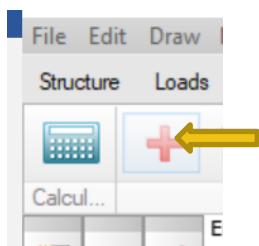
Valitaan "load combinations", sieltä "Bar internal forces", ja sieltä "My". Seuraavana valitaan mitoitettava kuormitusyhdistely. (KT2) Ja Klikataan "OK"



KUVA 90.

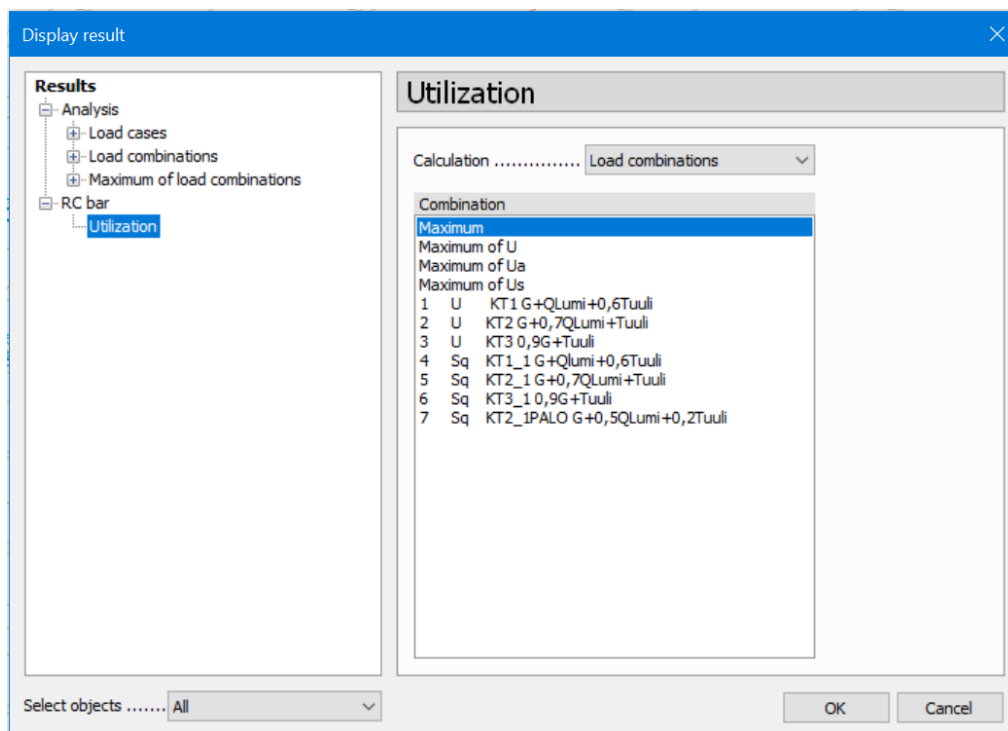
Nyt mallissa näkyy pilareiden momentit.

Klikataan jälleen "New results" painiketta.



KUVA 91.

Aukeaa ikkuna "Display results".



KUVA 92.

Valitaan sieltä "RC bar" ja sen alta "Utilization". Valitaan luettelosta "maximum", jotta näyttää kuormittavimman tapauksen mukaan.

Aukeaa ikkuna, jossa näkyy elementtien käyttöasteet. Näkyy myös hakojen ja pääraudoitteiden käyttöasteet.

Utilization

Group	Total weight [t]	Max. [%]	Min. [%]
✓ Pilari 1	0.652	59	55

Bar	Max. util. [%]	SEC [%]	ST [%]	C [%]	T [%]	CW [%]
✓ C. 1.1	59	59	12	7	0	40
✓ C. 2.1	55	55	8	5	0	34

Show only visible objects in the table

Check Delete < Hide details

KUVA 93.

8 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä tarkastellaan FEM-laskennan ja excel laskelmien voimasuureita toisiinsa. Tällä varmistettiin, että FEM laskennassa ei tullut mitään virheitä, sekä pystyttiin vertailemaan, saatiinko FEM laskennasta, kuinka lähelle samoja tuloksia. Alla taulukko, jossa laskelmien lopputuloksia. Liitteenä excel laskelmat. (LIITE 2)

Taulukko 1. 1.Kertaluvun voimasuureiden vertailu.

	Excel	3D-Structure	Yksikkö	Ero
N _{ed}	1072,6	1072,2	kN	1,00033
M _{ed}	549,6	551,9	kNm	0,99583
A _{s,vaad}	4064		mm ²	

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mastopilarikehän laskeminen 3D-Structure ohjelmalla. Sekä lisäksi selvittää helpoin ja nopein tapa tehdä mallin raudoitus kyseisellä ohjelmalla. Samalla tein valmiit kuormitusyhdistely-, ja kuorma tiedostot vastaaville laskelmille, jotta tulevaisuudessa vastaavanlaiset laskelmat olisivat mahdollisimman helppo ja nopea tehdä.

Ohjelmalla laskettaessa vaadittu kokonaisraudoitemäärä pienenee excel-laskelmiin verrattuna jonkin verran. Tämä tuo säästöjä kustannuksiin, ja on yksi hyvä syy siirtyä ohjelman käyttämiseen vastaavissa mitoituksissa.

Ohjetta tehdessä huomasin joitain pieniä juttuja, joita kyseisellä ohjelmalla tehdessä ovat hitaita. Näistä olin yhteydessä ohjelman valmistajaan Strusoft:n Suomen yhteyshenkilöihin, ja he aikovat selvittää asiaa vielä pääkonttorilta Ruotsista. Mahdollisesti näihin tullaan kiinnittämään huomiota tulevaisuudessa ohjelman päivityksissä. Opinnäytetyön lopputulokseen olen itse tyytyväinen. Sein opia pilarin mitoituksesta reilusti, sekä kyseisen ohjelman käytöstä. Tilaaja yritys on ottanut jo ohjelman käyttöön monipuolisemmin, ja sen käyttöä lisätään koko ajan. Sitä käytetään tänä päivänä myös moniaukkoisten palkkien mitoituksessa apuna.

10 LÄHTEET

Betonipilarin MRT-mitoitus (2021). Kuopio: Otto Heikkinen.

Suomen Betoniyhdistys ry. (2015). BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 2 2014. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

EN1992-1-1: Eurocode 2: Betonirakenteiden suunnittelu: Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. (2015). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

LIITE 1: KUORMAT EXCEL LASKELMAT

Pilari-palkki kehän mastojäykistys

Päättötyön osa, kevät 2021, Markus Tölli

Kuormat

(kuormat ovat ominaiskuormia)

palkkien ja pilareiden keskiöväli 6,665 m
palkkien jänneväli 38,88 m

Tällä värillä merkattuja ruutuja
ei tarvitse muuttaa!

PystykuormatOmapaino

kattorakenteet, eristys etc	0,6 kN/m ²
saumatut ontelolaatat, h=150mm (TT-Laatta)	1,95 kN/m ²
asennukset, kattojen alaslaskut etc	0,5 kN/m ²
	<hr/>
	3,05 kN/m ²

HI -kattopalkin omapaino 472 kN

pilarit

	reunapilari:	g_{pilari}
pilarin leveys	b = 0,48	48,0
pilarin korkeus	h = 0,58	
pilarin pituus	l = 6,9	

lumikuorman ominaiskuorma

$S_k =$	2,5 kN/m ²
$\mu =$	0,8
$Q_{k,lumi} =$	2,00 kN/m ²

ominaislaskentakuormaOmapaino

	reunapilari
$N_{kg} =$ (katon omapaino*palkkien keskiöväli*kattopalkkien	631,2 kN
Lisäkuorma räystäältä	2,0 kN
	633,2

Lumikuorma

$N_{klumi} =$ lumikuorman ominaiskuorma	259,1 kN
Lisäkuorma räystäältä	11,0 kN
	270,1

VaakakuormatRakennuksen mittasuhteet (Kuva 7.5)

h= 9,8 m, korkeus maanpinnasta
b= 75 m, tuulipinnan leveys
d= 40 m, rakennuksen pituus tuulen suunnassa

Tuuli, kokonaistuulikuorma **Pintapaine menetelmä**

Seinän tuulikuorma käyttörajatilassa

		d/b	
lamda	0,5	0,53	0,7
<1	1,37	1,38	1,44

Maastoluokka

2

puuskanopeuspaine $q_p(z)=$ 0,65 kN/m² $c_s \cdot c_d$ 1,0 kun $h < 15\text{m}$ (SFS-EN 1991-1-4, s.46) c_f 1,40Tehollinen hoikkuus $\lambda = \frac{2 \cdot h}{b}$ 0,26 kun $h < 15\text{m}$ ($h < 15\text{m}$)(RIL 201-1-2008 luku 6.2)Sivusuhte $\frac{d}{b}$ 0,53Tuulenpaineen jakautuminen
h/d

0,25

Ulkopuolisen paineen kertoimet

 $c_{pe,10t} =$ 0,7 Tuuli Vyöhyke D $c_{pe,10i} =$ 0,3 imu Vyöhyke E

Tuulipinnan leveys

 $b_0 =$ 6,67 m

Tuulen puoli

 $P_{q1k} = c_f \cdot q_p(z) \cdot b_0 \cdot c_{pe,10t} =$ 4,25 kN/m

Imu puoli

 $P_{q1k} = c_f \cdot q_p(z) \cdot b_0 \cdot c_{pe,10s} =$ 1,82 kN/m

yhteensä 6,07 kN/m

pistekuorma tuulesta pilarin yläpään yläpuolellakuormitusala $h_0 =$ 3,5 m

Tuulen puoli

 $F_{q1k} = P_{q1k} \cdot h_0 =$ 14,86 kN

Imu puoli

 $F_{q2k} = P_{q2k} \cdot h_0 =$ 6,37 kN**Voimakerroinmenetelmä** $q_{w,k} = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref} =$ 21,23 kN**Momenttivaikutuksen suurennus** $q_{w,k, \text{korotettu}} =$ 26,61 kN**Mittaepätarkkuuksien vaikutus ja poikittaisvoimat**

Vinouden perusarvo

$$\theta_0 = \frac{1}{200} \quad 0,005$$

Rakennuksen korkeus, L=

9,8 m

Korkeuteen perustuva piennennyskerroin

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{L} \quad 0,64 \text{ raja-arvo} \quad 0,67 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

Rakenneosien määrään perustuva pienennyskerroin

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

0,866

m=pystyrakenneosien määrä

2 kpl

Vinous

$$\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m$$

0,002887

346

1/346

l=

7,59 m

Poikittaisvoimien ominaisarvot pilareille

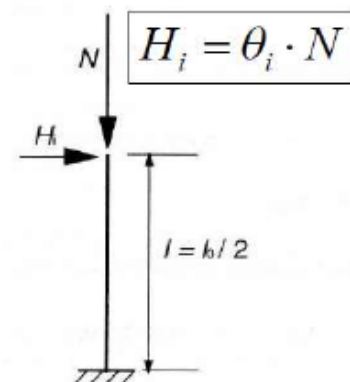
reunapilari

Omapaino

1,83 kN

Lumi

0,78 kN



Kuormitusyhdistelyt 1.kertaluun momentit															
pilari	Rakenteet		pystykuor ma, N		lisävaakavoit ma, H _i		M _{yk}	osavamuus kerroin	M _{9E_d}	N _{9E_d}	Momentit yhteensä	KY1 Lumi pääkuorma Rakenteet+Lu mi + Tuuli*0.6	KY2 Tuuli pääkuorma Rakenteet+Lu mi*0.7 + Tuuli		
	1	2	G	Q	G	Q								N _{9E_d}	M _{9E_d}
pilari	1	7,59 m	633,2 kN		1,83 kN		13,87 kNm	1,15	15,95 kNm	728,2 kN	31,9 kNm	0,6	0,7		
	2	7,59 m	633,2 kN		1,83 kN		13,87 kNm	1,15	15,95 kNm	728,2 kN	31,9 kNm	0,6	0,7		
Lumi															
pilari	1	7,59 m	270,1 kN		0,78 kN		5,92 kNm	1,5	8,88 kNm	405,2 kN	17,8 kNm				
	2	7,59 m	270,1 kN		0,78 kN		5,92 kNm	1,5	8,88 kNm	405,2 kN	17,8 kNm				
Tuuli															
pilari	1	7,59 m	4,30 kN/m		14,86 kN		7,59 m	236,6 kNm	1,5	355,0 kNm	505,2 kNm				
	2	7,59 m	1,80 kN/m		6,37 kN		7,59 m	100,2 kNm	1,5	150,3 kNm	505,2 kNm				
Pilari															
pilari	pituus	Omapaino													
		1	7,59 m	60,8 kN											
		3	7,59 m	60,8 kN											
KY2	N _{ed}	N _{ed} +9_pilari		FEM/frame											
		1	1011,8 kN	1072,6 kN	1072,2 kN										
3	1011,8 kN	1072,6 kN	1072,2 kN												
Yhteensä											505,2 kNm	303,1	505,2 kNm	352,8 kNm	549,6 kNm
Mitoitettava															549,6 kNm

LIITE 2: SIVUSIIRTYMÄTTÖMÄN PILARIN EXCEL LASKELMAT

Päättötyön osa, kevät 2021, Markus Tölli

Pilarin mitoitus**Geometria ja muita tietoja**

Rasitusluokka XC2
Suunnitteluvuosi 50 v

pilarin pituus, L 6,9 m

suorakaidepilari 480*580:

pilarin leveys, b 0,48 m

pilarin korkeus, h 0,58 m

A_c 278400 mm²

Materiaalit

Betoni C40/50 40 N/mm²

Teräs f_{yk} 500 N/mm²

f_{cd} 22,7 MPa

f_{yd} 435 MPa

E_s 200000 N/mm²

Tällä värillä merkattuja ruutuja ei tarvitse muuttaa!

Huom! Jos 100v, niin taulukko kertoo automaattisesti luonnonkuormat 1,1!

6900 mm

480 mm

580 mm

25 kN/m²

$$f_{cd} = a_{cc} * f_{ck} / \gamma_c =$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$$

Kuormat

Pilarille tuleva kuorma N_{ed}

Ominaiskuormat

omapaino 631,2 kN

lumi 259,1 kN

Murtorajatilan laskentakuorma

$N_{Ed} =$ Tuuli pääkuorma
1,15*omapaino+1,05*lumi
1012 kN

$M_{Ed} =$ 283,4 kNm

$M_{Ed} =$ 572 lopullinen mitoitusmomentti

Pilarin mitoitus

1. kertaluvun voimasuureet lasketaan lineaarisella menetelmällä

- taivutusmomentti M_{d0}
- normaalivoima N_{ed}

2. kertaluvun voimasuureiden laskennassa käytetään nimelliseen kaarevuuteen perustuvaa menetelmään

Alustava raudoitus

4T25 + 8T20	n1	4	8	
	ϕ	25	20 mm	
	A_{ϕ}	491	314 mm ²	yhteensä
	A_s	1963	2513 mm ²	4477 mm ²

Hakojen koko

$$\phi_t = \max(6 \text{ mm}; 0,25 * \phi_l) = \begin{matrix} 6 \text{ mm} \\ 6,25 \text{ mm} \end{matrix} \gg 8 \text{ mm}$$

Mekaaninen raudoitussuhde

$$\omega = A_s * f_{yd} / (A_c * f_{cd}) = 0,00$$

Betoniteräksen tartuntavaatimus

$$c_{min,b} = \max\{\phi_{päätanko} - \phi_{haka}; \phi_{haka}\} = \max\left\{ \begin{matrix} 17 \text{ mm} \\ 8 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = 17 \text{ mm}$$

Vähimmäisbetonipeite

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = \max\left\{ \begin{matrix} 17 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{matrix} \right\} = 17 \text{ mm}$$

Betonipeitteen nimellisarvo

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 27 \text{ mm} \gg 30 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm} \quad (\text{Toleranssiluokka 1})$$

Raudoituksen keskiöetäisyys pilarin reunasta

$$d' = 83,0 \text{ mm} \quad (\text{Laskettu käsin})$$

Poikkileikkauksen tehollinen korkeus

$$d = 497,0 \text{ mm}$$

Nurjahduspituus

Laskentaan valittu

$$k_0 = 2,2 \quad (\text{Kuva, tapaus b}) \quad k_0 = 1 / (1 + (L_0 / 3b)^2) = 0,0417$$

Jos 3:ltä reunalta tuettu

$$l_0 = k_0 * L = 15,18 \text{ m}$$

Epäkeskisyydet

$$e_i = l_0/400 \quad 38 \text{ mm} \quad (\text{Jäykistetyt seinät ja erillispilarit})$$

Kuormien epäkeskisyyden sijainnista ei tarkempaa tietoa.

käytetään arvoa $e_a = 20 \text{ mm}$

Suurempi päätemomentti

$$M_{02} = \max(M_{ylä}, M_{ala}) + (e_i + e_a) * N_{Ed} \quad 342 \text{ kNm}$$

Ensimmäisen kertaluvun momentti

$$M_{0Ed} = M_{02} \quad 342 \text{ kNm}$$

Momentti käyttörajatilan pitkäaikaisella yhdistelmällä

$$M_{0Eqp} = (e_i + e_a) * N_k \quad 37 \text{ kNm}$$

Poikkileikkauksen muunnettu paksuus

$$h_0 = 2A_c/u \quad 263 \text{ mm}$$

Virumaluku

$$\varphi(\infty, t_0) \quad 1,8$$

Virumisaste

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) * M_{0Eqp}/M_{0Ed} = 0,19$$

Jäyhyysäde, suorakaide

$$i = h/\sqrt{12} \quad 0,167 \text{ m} \quad 167 \text{ mm}$$

Hoikkuus, λ

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad 90,7$$

Suhteellinen normaalivoima

$$n = N_{Ed}/(A_c * f_{cd}) = 0,160$$

Hoikkuuden raja-arvo

$$\text{Tekijä A: } A = 1/(1 + 0,2 * \varphi_{ef}) = 0,96$$

$$\text{Tekijä B: } B = \sqrt{1 + 2 * \omega} = 1,00$$

$$\text{Tekijä C: } C = 1,7 - r_m = 1$$

$A = 1/(1 + 0,2\varphi_{ef})$ (jos virumisastetta φ_{ef} ei tunneta, voidaan käyttää arvoa $A=0,7$)

$B = \sqrt{1 + 2\omega}$ (jos mekaanista raudoitussuhdetta ω ei tunneta, voidaan käyttää arvoa $B = 1,1$)

$C = 1,7 - r_m$ (jos päätemomenttien suhdetta r_m ei tunneta, voidaan käyttää arvoa $C = 0,7$)

$$\lambda_{lim} = 20 * A * B * C / \sqrt{n} = 48,1$$

$\lambda_{lim} < \lambda$, joten otettava huomioon 2.kertaluvun vaikutukset.

Normaalivoimasta riippuva korjauskerroin

$$K_r = (n_u - n)/(n_u - n_{bal}) = (1 + \omega - n)/(1 + \omega - n_{bal}) < 1 \quad 1,40$$

$$\text{joten } K_r = 1$$

Viruman huomioiva kerroin

$$K_\varphi = 1 + \beta * \varphi_{ef} = 1 + (0,35 + f_{ck}/200 \text{ MPa} - \lambda/150) * \varphi_{ef} > 1 \quad 0,99$$

$$\text{joten } K_\varphi = 1$$

Kaarevuus

Muotovenymä

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd}/E_s = 0,0022$$

Tasapainomurtoa vastaava kaarevuuden likiarvo

$$1/r_0 = \varepsilon_{yd}/(0,45 * d) = 0,00972 \text{ 1/m}$$

$$1/r = K_r * K_\varphi * 1/r_0 = 0,00972 \text{ 1/m}$$

Taipuma

$$c = \pi^2 = 9,8696$$

$$e_2 = (1/r) * l_0^2 / c = 0,2269 \text{ m}$$

Lisämomentti

$$M_2 = N_{Ed} * e_2 = 230 \text{ kNm}$$

,kun muuttumaton
symmetrinen
poikkileikkaus ja
raudoitus

Vakiopoikkileikkausess
a voidaan myös käyttää
arvoa $c=10$

Vähimmäismomentti

Vähimmäisepäkeskisyyss

$$e_0 = \max(h/30, 20 \text{ mm}) = \max\left\{ \begin{array}{l} 19,33 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right.$$

>> 20 mm 0,02 m

$$M_{min} = e_0 * N_{Ed} = 20,2 \text{ kNm}$$

Mitoitusmomentti

$$M_{Ed} = \max(M_{02} + M_2; M_{min}) = \max\left\{ \begin{array}{l} 572 \text{ kNm} \\ 20,2 \text{ kNm} \end{array} \right.$$

$$M_{ed} = 572 \text{ kNm}$$

Suhteellinen momentti

$$\mu = M_{Ed} / (A_c * h * f_{cd}) = 0,156$$

Raudoituksen keskiöetäisyyden suhde tarkasteltavan sivun sivumittaan

$$d'/h = 0,143$$

$$\omega_{vaad} = 0,28$$

Vaadittu teräsmäärä

$$A_{s,vaad} = \omega_{vaad} * A_c * f_{cd} / f_{yd} = 4064 \text{ mm}^2$$

Vähimmäis teräsmäärä

$$A_{s,min} = \max(0,10 * N_{Ed} / f_{yd}; 0,002 * A_c) = \max\left\{ \begin{array}{l} 233 \text{ mm}^2 \\ 557 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$$

>> 557 mm²

Raudoituksen enimmäisala

$$A_{s,max} = 0,06 * A_c = 16704 \text{ mm}^2$$

Hakaraudoituksen enimmäisjakoväli

$$s_{cl,t,max} = \min(15 * \phi_l; 400 \text{ mm}; \text{pilarin pienin sivumitta}) = \min\left\{ \begin{array}{l} 300 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \\ 480 \text{ mm} \end{array} \right.$$

>> 300 mm

Hakojen tihennetty jakoväli palkin päissä

$$0,6 * s_{cl,t,max} = 180 \text{ mm}$$

Vähintään pilarin pitemmän sivunmatkalle 580 mm