

Vapaamuotoisen teräsbetoni- poikkileikkauksen kestävyys- laskenta

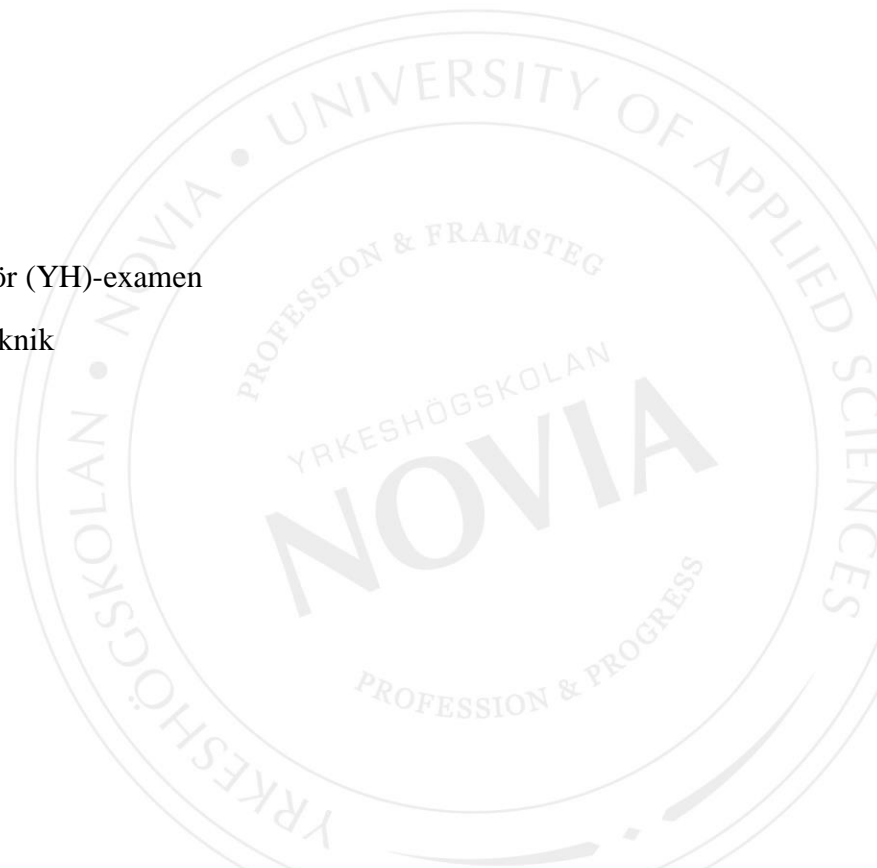
**Vertailu käsinlaskentamenetelmän ja laskentaohjelman
välillä.**

Niklas Nordström

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Raseborg 2020



EXAMENSARBETE

Författare: Niklas Nordström

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Ingenjör YH, Raseborg

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Projektering och byggnadskonstruktion

Handledare: Johan Degerlund, Yrkeshögskolan Novia och Janne Hanka, Sweco Rakennetekniikka Oy

Titel: Dimensionering av friformat tvärsnitt i armerad betong.

Datum 16.3.2020

Sidantal 60

Bilagor 7

Abstrakt

Eftersom betong är ett mycket vanligt byggnadsmaterial i Finland, finns det skäl till att sträva till optimering av såväl materialanvändning samt för planeringen och dimensioneringen av betongkonstruktioner.

Betongplaneringen är väl utvecklad, men då det kommer till optimering av tvärsnittet är den vanliga praxisen att förenkla beräkningarna och tvärsnittet, i och med att exakta beräkningar är svåra och tidskrävande. Detta kan leda till en grov överdimensionering, vilket betyder att materialanvändningen är större än vad som skulle krävas.

Ett friformat tvärsnitt använder tvärsnittets form till godo på det bästa sättet. Nackdelen med dessa är dock att de svåra beräkningarna blir mera komplicerade och det går inte nödvändigtvis att använda sig av de förenklade beräkningarna mera.

Detta arbete kommer att gå in på hur man kan underlätta dimensionering och optimering av friformade tvärsnitt genom att använda sig av beräkningsprogram. Förutom detta behandlas programmets bakomliggande teori, som baserar sig på handberäkningsmetoden.

Syftet med detta arbete är att utgående från denna undersökning kunna framställa en teknisk guide för ett förbestämt beräkningsprogram, Dlubal Shape Massive.

Arbetet är gjort i samarbete med Sweco Rakennetekniikka Oy

Språk: Finska

Nyckelord: Friformat tvärsnitt, Shape Massive,

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Niklas Nordström

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Insinööri AMK, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Rakennesuunnittelu

Ohjaaja(t): Johan Degerlund, Yrkeshögskolan Novia ja Janne Hanka, Sweco

Rakennetekniikka Oy

Nimike: Vapaamuotoisen teräsbetonipoikkileikkauksen kestävyyslaskenta

Päivämäärä 16.3. 2020

Sivumäärä 60

Liitteet 7

Tiivistelmä

Koska betoni on hyvin yleinen rakennusmateriaali Suomessa, betonirakenteiden suunnittelussa ja mitoituksessa on pyrittävä optimoimaan. Vaikka betonisuunnittelu on pitkälle kehittynyttä, teräs-betonipoikkileikkauksien mitoitus on usein toteutettu pelkistetyillä laskelmilla ja poikkileikkauksilla, mikä johtaa ylimitoitukseen ja isompaan materiaalimenekkiin, kuin mitä tarvitsisi. Pelkistämisiä käytetään, koska tarkemmat laskelmat ovat vaikeita ja aikaa vieviä.

Käyttämällä vapaamuotoista poikkileikkausta on mahdollista hyödyntää poikkileikkauksen muoto parhaimmalla tavalla. Vaikeat laskelmat kuitenkin vaikeutuvat ennestään käyttäessä vapaamuotoista poikkileikkausta, ja pelkistettyjä laskelmia ei voida enää välttämättä käyttää.

Tässä työssä perehdytään tarkemmin siihen, miten laskentaohjelman käyttö helpottaa vapaamuotoisten poikkileikkauksien laskentaa ja optimointia. Lisäksi käsitellään laskentaohjelman taustalla olevaa teoriaa, joka perustuu käsinlaskentamenetelmään.

Työn tavoite on, että tämän työn tutkimuksen pohjalta laadittaisiin tekninen ohje Dlubal Shape Massive-laskentaohjelmaan

Työ on tehty yhteistyössä Sweco Rakennetekniikan kanssa.

Kieli: Suomi

Avainsanat: Vapaamuotoinen poikkileikkaus, Shape Massive

BACHELOR'S THESIS

Author: Niklas Nordström

Degree Programme: Construction and Civil Engineering, Raseborg

Specialization: Structural Engineering

Supervisor(s): Johan Degerlund, Novia University of Applied Sciences and Janne Hanka, Sweco Rakennetekniikka Oy

Title: Calculation of Resistance in a Free Formed Reinforced Concrete Cross Section

Date 16 March 2020

Number of pages 60 Appendices 7

Abstract

Since concrete is a common material used in construction in Finland, it is encouraged to strive towards optimization in both material usage and in designing reinforced concrete. The design of concrete structures is well developed, but when it comes to the design of a cross section, it is common to simplify the calculations, due to their difficulty and the time spent doing them. This can lead to a gross over dimensioning of the cross section, which means more materials used than necessary, and the structure being heavier than needed, which in turn can lead to the rest of the building being over dimensioned.

A free formed cross section can optimize the usage of materials, and thus avoid over dimensioning of the structure.

Free formed reinforced concrete cross sections can also be besides structural, architectural and aesthetic, in which case a free formed cross section can be the only option for the designer.

This thesis will show how one can use computer programs to make the design and optimization of a cross section easier and explain the theory behind the program.

The goal of the thesis is that based on this research, a technical guide can be made for the specific program, Dlubal Shape Massive, so that also more inexperienced designers can more easily design and optimize free formed cross sections for their constructions.

This thesis is made in collaboration with Sweco Rakennetekniikka Oy

Language: Finnish

Key words: Free formed cross section, Shape Massive

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tausta.....	1
1.2	Tavoite	2
1.3	Menetelmä.....	2
1.4	Työn rajaus	2
2	Raudoitettun betonin ominaisuudet ja vapaamuotoinen poikkileikkaus	3
2.1	Raudoitettun betonin ominaisuudet	3
2.2	Vapaamuotoinen poikkileikkaus.....	4
3	Laskentaohjelma Shape Massive.....	6
3.1	Shape Massive.....	6
3.1.1	Shape Massive ja RFEM/RSTAB.....	6
3.1.2	Shape Massive ja CAD ohjelmat	7
3.1.3	Shape Massive-teoriamalli	7
3.1.4	Shape Massive ja raudoitettun betonin mitoitus	7
4	Laskennan yleinen teoria	8
4.1	Betonin oikea käyttäytyminen puristettuna.....	8
4.2	Betonin materiaalimallit.....	9
4.2.1	Suorakaiteen muotoinen jännitys jakauma.....	9
4.2.2	Puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio.....	10
4.3	Raudoitusterästen materiaalimalli.....	11
4.3.1	Vetoteräksien venymän rajoittaminen	12
4.4	Laskennan teoria yhden suunnan taivutukselle	13
4.5	Mitoituskulku, puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio.....	15
5	Shape Massive-laskelmat	17
5.1	T-Poikkileikkaus	18
5.1.1	Mitoitus.....	18
5.2	Suorakaide poikkileikkaus.....	34
5.2.1	Mitoitus.....	35
5.3	I-poikkileikkaus	39
5.3.1	Mitoitus.....	40
6	Tulosten vertailu	45
6.1	T-Poikkileikkaus tulosvertailu	45
6.1.1	Analyysi	45
6.2	Suorakaide poikkileikkauksen tulosvertailu	46
6.2.1	Analyysi	46
6.3	Oma Esimerkki, I poikkileikkaus.....	46
6.3.1	Analyysi	46

6.4	Erot menetelmien välillä	47
7	Case: Swecon suunnitteleman toimitilarakennuksen runkopilari.....	48
7.1	Alkuperäinen laskenta Ø32	51
7.2	Shape Massive vertailutarkistus Ø32	52
7.3	Alkuperäinen laskelma pienentyillä teräksillä	56
7.4	Shape Massive vertailutarkistus pienentyillä teräksillä	56
7.5	Päätelyt ja vertailu.....	58
8	Lopputulokset ja yhteenveto	60
8.1	Shape Massive-ohjelman hyödyt.....	60
8.2	Shape Massive-ohjelman heikkoudet.....	60
8.3	Yhteenveto	61
	Lähteet	62

Liite 1:	Betonin materiaaliominaisuudet
Liite 2:	Raudoitusterästen materiaaliominaisuudet
Liite 3:	Teräksen Materiaalimalli
Liite 4:	T-Poikkileikkauksen käsilaskenta
Liite 5:	Suorakaide poikkileikkauksen käsilaskenta
Liite 6:	I-Poikkileikkauksen käsilaskenta
Liite 7:	Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa

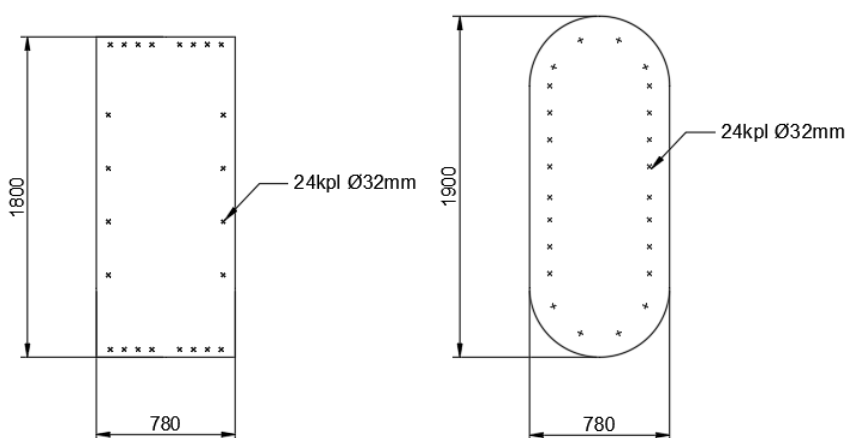
1 Johdanto

Tässä työssä käsitellään vapaamuotoisten teräsbetonipoikkileikkausten laskentaa ja mitoittamista murtorajatilassa. Työssä vertaillaan perinteistä käsinlaskentamenetelmää Dlubal Shape Massive-laskentaohjelmaan (Jatkossa Shape Massive-ohjelma), joka pohjautuu käsinlaskentamenetelmään. Tämä työ on tehty yhteistyössä Sweco Rakennetekniikka Oy:n kanssa.

1.1 Tausta

Vapaamuotoisen poikkileikkauksen laskenta perinteisellä käsinlaskentamenetelmällä on haastavaa, aikaa vievää ja se altistaa laskuvirheille. Työn tilaaja on pyytänyt katsausta käsilaskentamenetelmään pohjautuviin, laskelmia helpottaviin ohjelmiin, sekä ohjeistusta niiden käyttöön.

Laskelmien haastavuuden ja ajan säästämisen vuoksi päädytään usein pelkistettyyn laskelmaan, jos se on mahdollista arkkitehtonisten ja rakenteellisten rajojen sisällä.



Kuva 1.1 1 Oikealla haluttu muoto poikkileikkaukselle, vasemmalla yksinkertaistettu poikkileikkaus laskentaa varten. (Ks. luku 7: Case Swecon suunnittelema toimitilarakennuksen runkopilari) (Autocad -ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tämä johtaa melkein aina ylimitoitettuun rakenneosaan, jolloin materiaalimenekki on tarvittua isompi.

1.2 Tavoite

Tilaajan toiveena on, että kyseisten poikkileikkausten mitoittaminen onnistuisi helpommin kokeneiden ja vähemmän kokeneiden suunnittelijoiden toimesta käyttäen mitoittamiseen Shape Massive-laskentaohjelmaa mitoittamiseen. Ohjelmaa käyttäessä optimointi paranee verrattuna pelkistettyyn laskentaan. Verrattuna perinteiseen käsinlaskentaan mitoittaminen nopeutuu ja laskuvirheiden vaara minimoituu.

Tämän työn tavoitteena on avartaa vapaamuotoisen poikkileikkauksen käsinlaskennan takana olevaa teoriaa, ja perehtyä laskentaohjelman laskentamalliin, teoriaan sekä materiaalimalleihin. Perehtyminen teoriaan on oleellinen osa ohjelman ymmärtämistä. Lopputuloksena on selvä kuva käsinlaskennan ja laskentaohjelman eroista, hyödyistä ja haitoista, sekä miten kumpaakin menetelmää kuuluu käyttää käytännössä.

1.3 Menetelmä

Tässä työssä tutustutaan tarkemmin laskentatapojen taustalla olevaan teoriaan, joka pohjautuu Eurokoodin ohjeeseen. Ilman tätä osuutta on vaikeaa havainnollistaa mitä laskennassa tapahtuu.

Erojen näyttämiseksi vertaillaan ennestään käsinlaskettuja poikkileikkauslaskelmia Shape Massive-ohjelmalla tehtyihin laskelmiin samoista poikkileikkauksista. Esimerkilaskelmat pohjautuvat kirjallisuudesta löydetyistä laskelmista.

Shape Massive-laskelmat esitetään kuvakaappauksina seliteteksteineen, ja käsinlaskennat ovat työn liitteinä. Tämän lisäksi pyritään näyttämään miten Shape Massive-ohjelma olisi voinut olla hyödyksi raudoitusteräksien optimoinnissa vapaamuotoisessa pilarissa case-laskelmassa.

1.4 Työn rajaus

Tässä työssä rajoitetaan tarkistus taivutettuun palkkipoikkileikkaukseen, vaikka Shape Massive-ohjelmalla on mahdollista laskea muutakin.

Ohjelmisto pystyy myös laskemaan jännitettyjä poikkileikkauksia, mutta ne on rajattu pois.

2 Raudoitettun betonin ominaisuudet ja vapaamuotoinen poikkileikkaus

Työn ja laskelmien ymmärtämiseksi parhaiten on hyvä avartaa, miten raudoitettu betoni toimii rakennusmateriaalina. Lisäksi on tärkeää ymmärtää myös sitä, että poikkileikkauksen muoto sekä materiaalien sijoitus ovat ratkaisevia tekijöitä poikkileikkauksen toiminnassa.

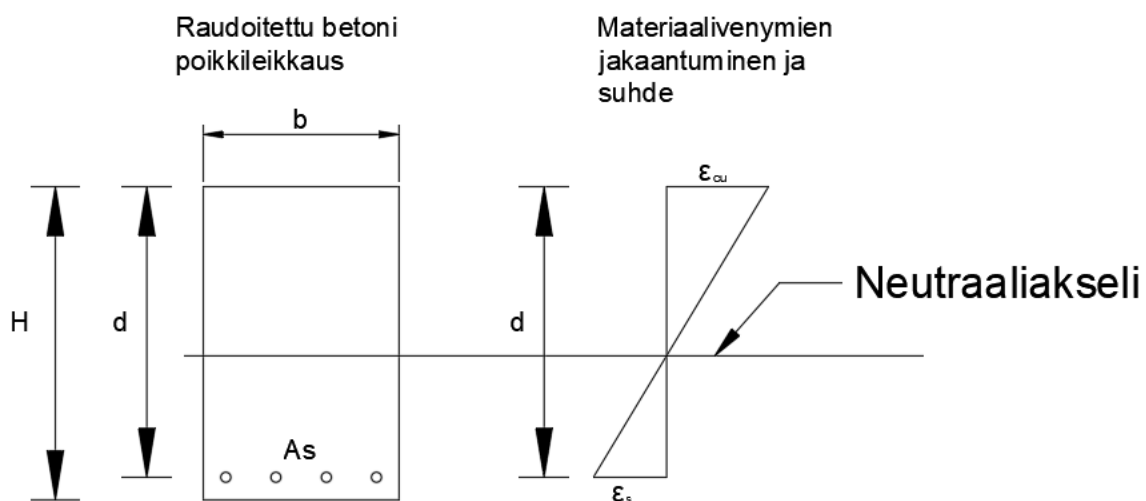
2.1 Raudoitettun betonin ominaisuudet

Suomessa käytetään Eurokoodia rakennelmien mitoittamiseen, ja sitä käytetään useimmissa Euroopan maissa. Eurokoodia ylläpitää suomessa Suomen standardisointiliitto (SFS). Betonirakenteissa seurataan Eurokoodi 2:ta, ”Betonirakenteiden Suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt”. Standardin nimi on suomessa SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodeihin on myös olemassa kansallisia liitteitä, joten koko standardin nimi on suomessa SFS-EN 1992-1-1 + A1 +AC. Kyseinen standardi on se, jota seurataan tässä työssä.

Kun perehdytään siihen, miten ylhäältä kuormitettu poikkileikkaus toimii, voidaan todeta, että poikkileikkauksen yläosassa tulee esiintymään puristusta, kun alaosassa tulee esiintymään vetoa. Sitä kohtaa poikkileikkauksesta missä puristusjännite muuttuu vetojännitteeksi, kutsutaan neutraaliakseliksi.

Neutraaliakselin sijainti poikkileikkauksessa voidaan määrittää suhteuttamalla betonin puristumaa (ϵ_c) teräksen venymään (ϵ_s), ja vertailemalla sitä poikkileikkauksen geometriaan. (Kuva 2.1 1). Tämän suhteen perusteella voidaan laskea poikkileikkauksen voimatasapaino ulkoisen kuormituksen kanssa.

ϵ -arvot ovat Eurokoodista otettuja taulukkoarvoja, joiden suuruus määräytyy käytetyn betonin lujuusluokan sekä teräksen laadun mukaan. (ks. Liite 1: Betonin lujuus ja muodonmuutosominaisuudet, ja Liite 2: Raudoitusterästen materiaaliarvot)



Kuva 2.1 1 Neutraaliakselin määrittäminen (SFS-EN 1992-1-1 +A1 +AC, Kuva 3.5)

Aluetta poikkileikkauksen puristetusta pinnasta neutraaliakseliin voidaan kutsua puristusalueeksi. Aluetta neutraaliakselin ja vedetyn pinnan välillä voidaan kutsua vedetyksi alueeksi.

Betonin tärkeimmät materiaaliominaisuudet ovat korkea puristuslujuus mutta heikko vetolujuus. Korkea puristuslujuus on hyödyksi puristetussa alueessa, mutta heikko vetolujuus vedetyssä alueessa aiheuttaisi betonissa murron.

Teräksellä on puolestaan hyvä vetolujuus. Jotta aiheutunut veto voidaan ottaa vastaan, käytetään niin kutsuttuja vetoteräksiä betonin sisällä lähellä palkin vedettyä pintaa. Yhdistämällä molempia materiaaleja oikein saadaan aikaan vahva poikkileikkaus, joka kestää sekä puristusta että vetoa.

Tämä tarkoittaa, että betoni neutraaliakselin alapuolella ei hyödynnä poikkileikkauksen kestävyttä käytännössä ollenkaan. Voidaan todeta, että betonin lisääminen neutraaliakselin yläpuolelle parantaa poikkileikkauksen puristuskestävyyttä ja neutraaliakselin alapuolella olevan betonin vähentäminen ei pienennä poikkileikkauksen puristuskestävyyttä.

2.2 Vapaamuotoinen poikkileikkaus

Vapaamuotoinen poikkileikkaus on yhteisnimitys kaikille poikkileikkauksille, jotka eivät ole suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä.

Vapaamuotoinen poikkileikkaus voi olla minkä muotoinen tahansa, mutta yleisimmät muodot ovat T-poikkileikkaukset, I-poikkileikkaukset ja erilaiset soikeat poikkileikkaukset.

Eurokoodi SFS-EN 1992-1-1 + A1 +AC:n mukaan mikään ei suoraan velvoita mitoittamaan teräsbetonipalkkeja suorakaiteen muotoisiksi. Tästä huolimatta perinteinen betonipalkki on suorakaiteen muotoinen, ja vapaamuotoiset poikkileikkaukset mitoitetaan usein pelkistetyillä laskelmilla, missä korvataan vapaamuoto suorakaiteella (ks. luku 7: Case Swecon suunnittelema toimitilarakennuksen runkopilari). Syy pelkistämiseen on ajan säästö ja helpommat laskelmat.

Vapaamuotoinen poikkileikkaus voi olla tarpeellinen rakennesyistä tai arkkitehtonisista syistä.

Esimerkiksi T-poikkileikkauksissa on enemmän betonia yläosassa ja vähemmän alaosassa, jolloin betonin korkeaa puristuslujuutta hyödynnetään yläosassa, missä puristusta esiintyy, ja sitä on vähennetty alaosassa, jossa esiintyy vetoa. Optimoimalla poikkileikkauksia saadaan aikaiseksi pienempi materiaalimenekki.

Pienessä mittakaavassa rakenteellinen optimointi on harvoin kannattavaa tehdä perinteisellä käsinlaskennalla, koska suunnittelija joutuu käyttämään paljon aikaa mitoittamiseen. Lisäksi standardikokoinen poikkileikkaus on usein helpompi ja halvempi tuottaa kuin vastaava vapaamuotoinen. Isossa mittakaavassa materiaalimenekin pienentäminen voi olla kannattavaa.

3 Laskentaohjelma Shape Massive

Vapaamuotoisten poikkileikkausten laskemisen ja mitoittamisen helpottamiseksi on kehitetty tietokoneohjelmia, jotka oikein käytettynä nopeuttavat, helpottavat ja tekevät mitoituksista optimoidun sekä turvallisen. Ohjelmia löytyy muutama, joista miltei kaikki ovat lisenssipohjaisia ja maksullisia täysiversioina. Tässä työssä keskitytään ainoastaan yhteen ohjelmaan, Dlubal yhtiön kehittämään Shape Massive-ohjelmaan. Dlubal kuuluu maailman johtaviin laskentaohjelmistojen kehittäjiin rakennesuunnittelun alalla. Mainittakoon tunnetuimmat ohjelmat, RFEM ja RSTAB, jotka ovat yrityksen kehittämiä.

3.1 Shape Massive

Shape Massive on tietokoneohjelma, joka on kehitetty analysoimaan erilaisten poikkileikkauksien ominaisuudet kuormitettuna tai kuormittamattomina, sekä mitoittamaan kyseistä poikkileikkausta erilaisten suunnittelunormien mukaan. (dlubal,2019)

Ohjelmaan kuuluu kattava materiaalikirjasto, missä on mukana materiaaliominaisuudet yleisimmistä rakennuksissa käytetyistä materiaaleista, kuten erilaisia betonin lujuusluokkia ja erivahvuisia teräksiä. Lisäksi ohjelmalla on tietokannassa standardimuotoisia poikkileikkauksia, joihin voi syöttää haluttuja mittoja ja käyttää mitoituksessa. Jos ei käytä valmista mallia, poikkileikkauksen geometria voidaan syöttää ohjelmaan joko graafisesti ohjelmassa tai esimerkiksi Autocad-ohjelmalla tuotetuilla dxf-tiedostoilla. (dlubal.com)

Shape Massive on kokonaan erillinen ohjelma, mutta se on kehitetty toimimaan saumattomasti muidenkin ohjelmien kanssa. (dlubal,2019)

3.1.1 Shape Massive ja RFEM/RSTAB

Vaikka Shape Massive ei tarvitse RFEM- tai RSTAB-ohjelmia toimiakseen, ohjelmat tukevat toisiaan ja suunnitteluprosessia. Koska ohjelmistojen kehittäjä on sama, palkin mitoitus poikkileikkauksineen onnistuu käyttämällä molempia ohjelmia rinnakkain. Esimerkiksi voidaan luoda palkki ohjelmassa RFEM, joka sitten tuodaan Shape Massive-ohjelmaan. Shape Massive-ohjelmaa käyttäen voidaan analysoida ja muokata palkin poikkileikkausta parhaimman optimoinnin saavuttamiseksi. Päivitetty palkkipoikkileikkaus voidaan sitten tuoda takaisin RFEM-malliin, osana isompaa mallia. Tämä edesauttaa koko RFEM-mallin optimointia. Shape Massive toimii vastaavalla tavalla RSTAB-ohjelman kanssa. (dlubal,2019)

3.1.2 Shape Massive ja CAD ohjelmat

Poikkileikkauksen geometrian määrittämiseksi Shape Massive-ohjelmassa on kaksi vaihtoehtoa. Voidaan joko käyttää ohjelman omaa graafista tiedonsyöttöominaisuutta, tai piirtää geometria esim. Autocad ohjelmalla, ja tuoda piirretty geometria Shape Massive-ohjelmaan dxf-tiedoston muodossa. (dlubal,2019)

Molemmissa vaihtoehdoissa voi myös lisätä merkintöjä poikkileikkaukseen niihin kohtiin mihin raudoitusteräket sijoitetaan.

3.1.3 Shape Massive-teoriamalli

Shape Massive-ohjelmisto antaa mitoitusparametreiksi erilaisia vaihtoehtoja, kuten Eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 + A1 +AC:n mukaista mitoitusta, mitä tässä työssä tullaan käyttämään.

Eurokoodin täydentämiseen löytyy useimmat kansalliset liitteet, sekä Saksan ja Itävallan vanhat rakennussäädännöt, joita voidaan tarvita esimerkiksi tarkastaessa vanhoja rakennelmia. Olemassa olevien normien lisäksi käyttäjä voi halutessaan itse määrittää parametrit mitoitukseen. (dlubal,2019)

Shape Massive-ohjelmisto käyttää raudoitettujen betonipoikkileikkauksien laskennassa ”puristetun suorakaiteen paraabelin” materiaalimallia, (Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa) ja laskee kaikki aikaa vievät ja haasteelliset laskelmat, antaen vain tulokset kestävydestä. Tämä edellyttää toki, että ohjelmaan syötetyt arvot ovat oikein.

3.1.4 Shape Massive ja raudoitetun betonin mitoitus

Jos poikkileikkauksen materiaali on homogeeninen, ohjelma pystyy antamaan poikkileikkauksen tiedot ja ominaisuudet kuormittamattomana. Jos poikkileikkauksen materiaali on heterogeeninen, edellytetään kuormitusta, että Shape Massive-ohjelma pystyisi antamaan tietoja poikkileikkauksesta. Koska raudoitetussa betonissa on kahta erilaista materiaalia, se on heterogeeninen.

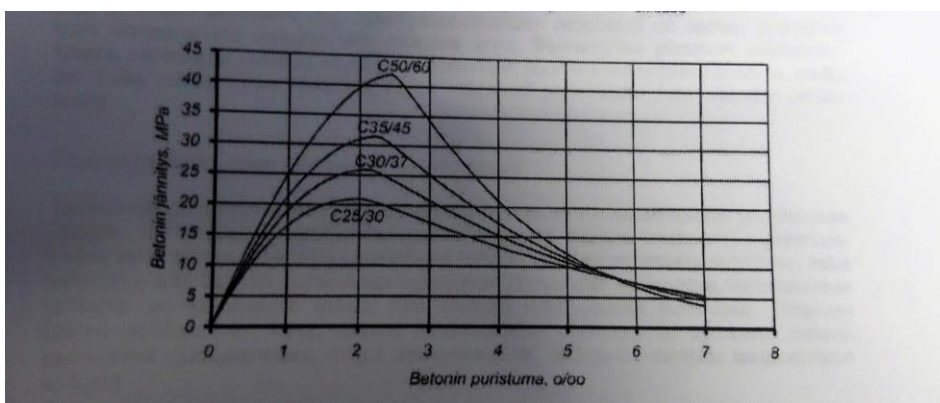
Kuormitettu poikkileikkaus voidaan sitten mitoittaa poikkileikkauksen maksimaalista kestävyyttä mieltien, sekä analysoida poikkileikkauksen ominaisuudet. (Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa)

4 Laskennan yleinen teoria

Poikkileikkauksia voi mitoittaa usealla eri tavalla. Tässä työssä keskitytään mitoitukseen katsoen poikkileikkauksen maksimaalista momenttikestävyyttä, eli paljonko taivutusmomenttia poikkileikkaus voi enintään kestää ennen kuin joko betoni murtuu tai vetoteräksset saavuttavat myötörajan.

4.1 Betonin oikea käyttäytyminen puristettuna

Betonin todellinen muodonmuutos jännityksen noustessa voidaan todeta tekemällä koepuristuksia betonikuutioista, jotka on valettu eri lujuusluokkien betonista. Leskelä, By210, 2002, on otettu esimerkki siitä miten eri betonien muodonmuutokset tapahtuvat jännitteen noustessa (Kuva 4.1 1)



Kuva 4.1 1 Betonin jännitys-puristumakuvaaja (Leskelä, by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 kuva 4/2.1)

Käyrä, joka on esitetty kuvassa 4.1 1, näyttää, että jännitteen noustessa betonin puristuma tulee nousemaan. Muodonmuutos suhteessa puristukseen vaihtelee betonin lujuuden mukaan. Kun maksimaalinen puristuma on saavutettu jännitys ei voi enää nousta.

Näitä mitoituskäyriä ei kuitenkaan normaalisti käytetä mitoituksessa. Sen sijaan käytetään Eurokoodista löytyviä yksinkertaistettuja materiaalimalleja.

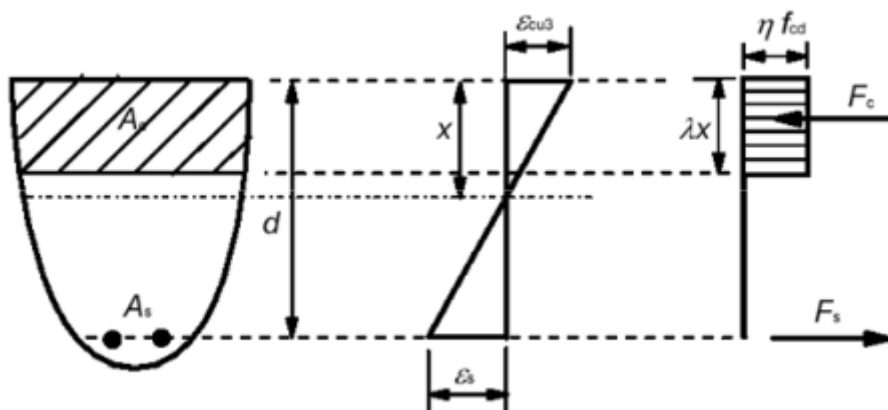
4.2 Betonin materiaalmallit

Suunnittelijalla on mahdollisuus valita mitä betonin materiaalmallia hän käyttää tutkiessa betonin poikkileikkauksia. Määrittäessä betonin käyttäytymistä puristuksen alla voidaan käyttää Eurokoodin yksinkertaistettuja käyriä. Useimmiten käytetyt jännitys-jakaumakäyrät, joista arvioidaan betonin käyttäytymistä puristuksen alla, ovat:

- Suorakaiteen muotoinen jännitys-jakauma
- Puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio

Suorakaiteen muotoinen jännitys-jakauma on pelkistetty materiaalmalli, ja puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio on tarkempi materiaalmalli. Molemmissa vaihtoehdossa otetaan huomioon missä poikkileikkauksen puristettu osuus on, minkä laajuinen alue on kyseessä sekä miten raudoitusteräksot ottavat vedon vastaan suhteessa puristukseen betonissa. Raudoitusteräksien käyttäytyminen vetojännityksen alla selviää raudoitusteräksien omasta materiaalmallista. Huomattavimpana erona materiaalmallien välillä on, miten lähellä oikeata puristusjakaumaa on. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

4.2.1 Suorakaiteen muotoinen jännitys-jakauma



Kuva 4.2.1 1 Suorakaiteen muotoinen jännitys-jakauma, (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, kuva 3.5)

Kaikista helpoin tapa mitoittaa poikkileikkausta, on käyttää suorakaiteen muotoista jännitys-jakaumaa. (Kuva 4.2.1 1). Tässä materiaalmallissa oletetaan, että koko puristettu alue on kokonaisuudessaan täydessä puristuksessa, eli puristusjännite on yhtä kuin mitoittava puristusjännite. Mitoitustapa ei ota huomioon vähentyvää jännitettä lähempänä

neutraaliakselia, eikä betonin maksimaalista muodonmuutosta. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

Tämä materiaalimalli on yleisin sen helppokäyttöisyyden sekä varmuutensa takia. Varmuus tarkoittaa tässä tapauksessa, että materiaalimallia käyttäessä laskelmat tulevat antamaan pienemmän kestävyuden poikkileikkaukselle kuin mitä oikea kestävyys on. Materiaalimallia käyttäen ylimitoituksen mahdollisuus on suuri, mutta poikkileikkauksesta tulee tällöin varmasti käyttöturvallinen. Tätä mitoitus tapaa saa toisin sanoen aina käyttää mitoittaessa palkkipoikkileikkauksia. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

Rajoittavana tekijänä tässä mitoitus tapavassa on se, että poikkileikkauksen maksimaalisen puristuman on pakko olla asetettu murtopuristumaan (ϵ_{cu}), mikä tarkoittaa, että kyseistä materiaalimallia ei voida käyttää poikkileikkauksien tarkasteluissa, jossa maksimaalinen puristuma on pienempi kuin murtopuristuma.

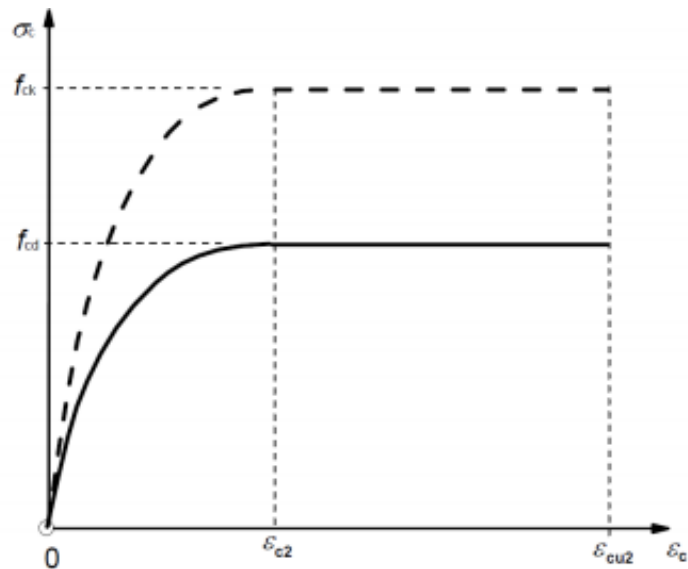
Tämä laskentatapa on yleisesti käytetty käsilaskentoja tehdessä, mutta laskentaohjelmat pystyvät helpommin käsittelemään monimutkaisempia ja tarkempia materiaalimalleja. Shape Massive-ohjelma ei käytä kyseistä materiaalimallia mitoitukseen.

4.2.2 Puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio

Käytettäessä puristetun betonin paraabeli-suorakaide-kuviota saa kaikista tarkimman tuloksen, joka vastaa todellista jännitteenjakaumaa poikkileikkauksessa. Tämä on vaikein ja työläin tapa selvittää betonin jännitteenjakaumaa, monimutkaisien laskentojen takia.

Monimutkaisin osuus tämän materiaalimallin käytössä laskemisessa on selvittää puristusalueen kokoa, sekä siihen kohdistuvaa jännitettä. Tämä lasketaan paraabelin geometrian kautta, joka voi olla hyvinkin haastavaa. Suurin syy minkä takia suunnittelija valitsee pelkistetyn laskentatavan tämän sijasta, on paraabelin laskemisen haastavuus perinteisellä käsinlaskennalla. Optimoinnin kannalta tämä on tosin paras tapa mitoittaa poikkileikkauksia, sillä ylimitoituksen mahdollisuus pienenee tämän laskutavan myötä. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

Toisin kuin suorakaiteen muotoinen jännitys jakauma, paraabeli-suorakaidekuvio sallii tarkastelua poikkileikkauksille, joiden maksimaalinen puristus on alle murtopuristuman. Tämä antaa mahdollisuuden laajempaan ja tarkempaan tarkistukseen kuin mitä yksinkertaistettu menetelmä antaa. Materiaalimallia voi myös käyttää murtorajatilan laskelmien lisäksi myös käyttörajatilan laskelmien tekemiseen.



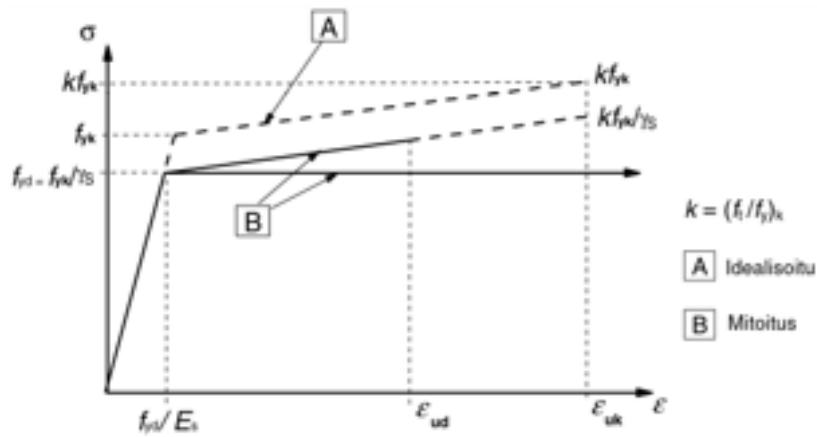
Kuva 4.2.2 1 Puristetun betonin paraabeli-suorakaide-kuvio, betonin oletettu käyttäytyminen poikkileikkauksessa. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, kuva 3.3)

Raudoitetun poikkileikkauksen puristettu alue oletetaan käyttäytyvän niin kuin kuva 4.2.2 1 näyttää. Origo viittaa neutraaliakseliin, ja käyrästä voidaan nähdä, että jännitys voi nousta voimakkuudessa tiettyyn pisteeseen asti, jolloin betoni on saavuttanut maksimaalisen muodonmuutoksen (ϵ_c). Tämän jälkeen muodonmuutosta ei enää tapahdu jännitteen noustessa siitä pisteestä eteenpäin. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

Perehdytään tarkemmin ainoastaan puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvion materiaalimallin mukaiseen laskentaan, (ks.luku 4.5: Mitoituskulku puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio) sen ollessa työläin ja tarkin kaikista. Lisäksi Shape Massive-ohjelma käyttää kyseistä materiaalimallia laskentaan. (Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa) Materiaalimalleja on olemassa näiden lisäksi muita, niin kuin Bi-Lineaarinen jännitysjakautuma, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä. (SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, luku 3.1.7)

4.3 Raudoitusterästen materiaalimalli

Vastaavalla tavalla kuin betonin materiaalimallit, myös raudoitusteräksille on olemassa materiaalimalli siitä, miten teräs käyttäytyy jännityksen alla, ja miten teräksen muodonmuutos tapahtuu. Teräksien muodonmuutos on riippuvainen teräksen laatuluokasta (A, B tai C luokka. Teräksien taulukkoarvoja venymälle (ϵ_{uk}) voidaan käyttää sellaisenaan tarkistaessa käyttörajatilaa, tai käyttämällä eurokoodin suositusarvoa ($0.9\epsilon_{uk}$) tarkistaessa murtorajatilaa (ϵ_{ud}) (Ks. Liite 2 ja 3).



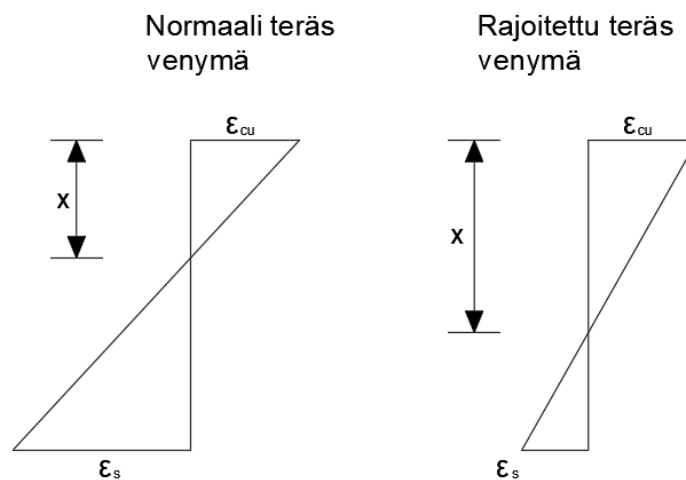
Kuva 4.3.1 Raudoitusterästen jännitys-venymä materiaaalimalli.

(SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, kuva 3.8)

4.3.1 Vetoteräksien venymän rajoittaminen

Eurokoodi SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC antaa meille mahdollisuuden rajoittaa vetoteräksien venymää, mutta se edellyttää puristetun betonin paraabelisuorakaide materiaaalimallin käytön mitoituksessa.

Suunnittelija voi päättää suunnitteluvaiheessa, että vetoteräs ei saa venyä yli tietyn rajan kuormitettuna. Tämä päätös voi johtua eri syistä, kuten esimerkiksi rajoittavista materiaaliominaisuuksista. Palkkipoikkileikkauksien kannalta tämä tarkoittaa, että jos teräksen venymä on rajoitettu pienemmäksi kuin mitä se on normaalisti, neutraaliakseli tulee kasvamaan pituudessa, ja puristusalue tulee kasvamaan. (Kuva 4.3.1.1)



Kuva 4.3.1.1 Neutraaliakselin siirtyminen venymän rajoituksen myötä. (Autocad-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tämä tarkoittaa käytännössä, että vetoteräksien poikkitaipinta-alaa joudutaan laajentamaan, että ne pysyisivät tasapainossa isomman puristusalueen kanssa, mikäli terästen venymä on rajoitettu. (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC, luku 3.2.7)

4.4 Laskennan teoria yhden suunnan taivutukselle

Tässä työssä keskitytään yksisuuntaisesti taivutettuihin palkkeihin, missä lasketaan määrätyn poikkileikkauksen maksimaalinen momenttikestävyys.

Yksiakiaalisesti taivutetun poikkileikkauksen mitoitus

<p>Ratkaistavat suuret</p> <ul style="list-style-type: none"> Betonin puristusvoima $F_{cd} = \int_{y=0}^x \sigma_c(y)b(y)dy = A_s f_{sd}$ Puristusresultantin sijainti $a = x - \frac{\int_{y=0}^x \sigma_c(y)ydy}{F_{cd}}$ Jännitysresultanttien etäisyys $z = d - a$ Tasapainoyhtälöstä vetoterästen pinta-ala $A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{sd}z}$ 	<p>Poikkileikkauksen parametrit</p> <ul style="list-style-type: none"> Vetoterästen painopisteen sijainti eli poikkileikkauksen hyötykorkeus d Betonin laskentalujuus Raudoituksen laskentalujuus Betonin murtovenymä Teräksen myötövenymä <p>Mitoitus on iteratiivinen</p>
--	--

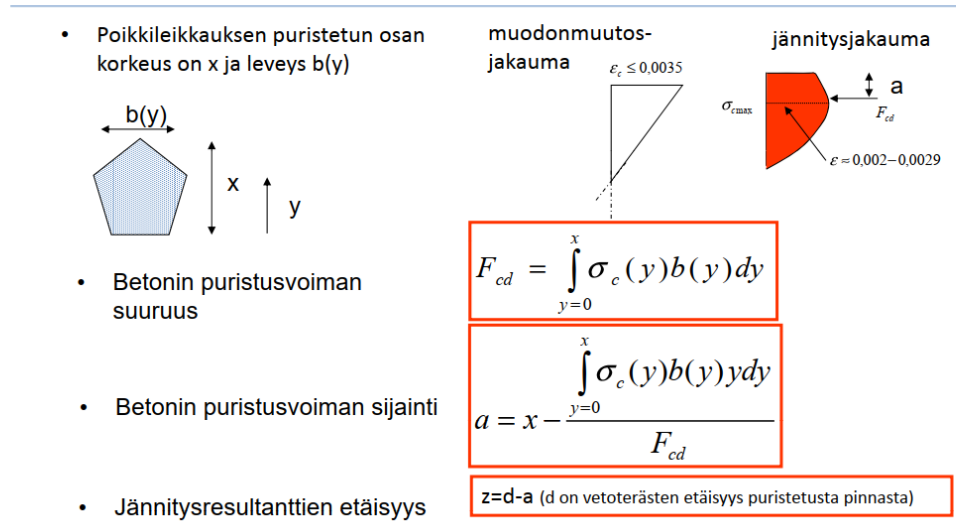
Kuva 4.4 1 Yksiakiaalisesti taivutetun poikkileikkauksen mitoitus(Aalto yliopisto, kurssi teräsbetonirakenteet, talorakennustekniikka opetusmateriaali, Jari Puttonen)

Momenttikestävyyttä saadaan vertailemalla betonin ja raudoituksen materiaalimalleja ja niiden yhteistoimivuutta. Poikkileikkauksen voimatasapaino betonin ja raudoitusteräksien välillä on mitoitusehto taivutetun palkin maksimaalisen kestävyuden laskennassa, eli poikkileikkauksen sisäisten voimien pitää olla tasapainossa.

Tämä tarkoittaa sitä, että voimatasapainon ehdon avulla voidaan laskea poikkileikkauksen maksimaalinen momenttikestokyky, jos molempien materiaalien murtorajatilojen muodonmuutokset ovat käytössä laskennassa.

Kun käytetään puristetun betonin paraabeli-suorakaidemallia mitoitukseen, joudutaan myös ottamaan paraabeliosuuden huomioon laskennassa.

Betonin puristusvoiman määrittäminen

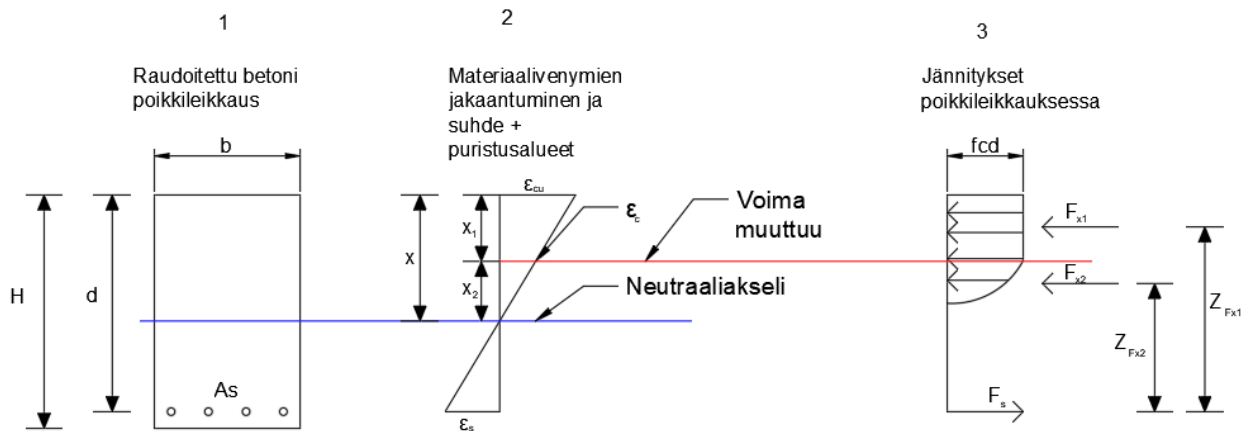


Kuva 4.4 2 Betonin puristusvoiman määrittäminen (Aalto yliopisto, kurssi teräsbetonirakenteet, talorakennustekniikka opetusmateriaali, Jari Puttonen)

Käytännössä tämä tarkoittaa, että paraabeliosuuden jännityksen suuruuden määrittämiseksi joudutaan paraabeli jakamaan integrointia käyttämällä vaakasuoriin ”siivuihin”, jolloin jokaisen siivun voimarelevantin ja painopisteen avulla saadaan oikea voimajakauma selville poikkileikkauksen puristetun paraabelin kohdalla.

4.5 Mitoituskulku, puristetun betonin paraabeli-suorakaidekuvio

Mitoituskulkua on kaikista helpointa havainnollistaa kuvalla:



Kuva 4.2.3 1 Geometrian, venymän ja jännityksen yhteisvaikutus poikkileikkauksessa (Aalto yliopisto, kurssin CIV-E4040, Reinforced Concrete Structures 2017, opetusmateriaali, Janne Hanka)

Kuvan 4.2.3 1 perusteella voidaan todeta seuraavia asioita:

- Ensimmäinen kuva vasemmalla (1) kuvastaa poikkileikkauksen geometriaa (H ja b), vetoraidoituksien etäisyyttä yläpinnasta, tai tehollista korkeutta (d), sekä vetoraidoituksien poikkittaispinta-alaa (A_s).
- Seuraava kuva (2) kuvastaa materiaalien venymiset ja muodonmuutokset, (ϵ -arvot). Se kuvastaa vetoterästen myöntymisen (ϵ_s) suhteessa betonin murtopuristumaan (ϵ_{cu}) poikkileikkauksessa. Se kohta missä puristus muuttuu vedoksi, on neutraaliakselin sijainti. Puristusalue on matka neutraaliakselista puristettuun pintaan. Tästä selviää neutraaliakselin pituus sekä puristusalueen koko (x). Puristusalue jaetaan kahteen osaan (x_1 ja x_2) betonin maksimaalisessa muodonmuutosrajassa (ϵ_c). Alue on jaettava useampaan osaan (x_n), mikäli poikkileikkauksen geometria muuttuu puristusalueen sisällä.
- Kolmas kuva (3) kuvastaa poikkileikkauksen vetojännitystä vetoteräksissä (F_s), puristusjännitykset betonissa (F_{x1} ja F_{x2}) sekä niiden jakautumisen. Puristus- ja vetovoimien pitää olla tasapainossa, jotta on mahdollista laskea enimmäismomenttikestävyys poikkileikkauksessa. Enimmäismomenttia laskettaessa voidaan olettaa täysi puristusjännite (f_{cd}) kunnes betonin maksimaalinen muodonmuutosraja (ϵ_c) tulee vastaan, jolloin puristus alkaa hiipua.
- Viimeisenä kuvaillaan poikkileikkauksen puristusvoimien sisäiset momenttivarret suhteessa vetoteräksiin ($Z_{F_{x1}}$ ja $Z_{F_{x2}}$).

Eurokoodin antama kaava puristusjännitteen määrittämiseksi on:

$$\sigma_c = fcd \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{kuin } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

ja:

$$\sigma_c = fcd \quad \text{kuin } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

(SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, kaava 3.17 ja 3.18)

Missä:

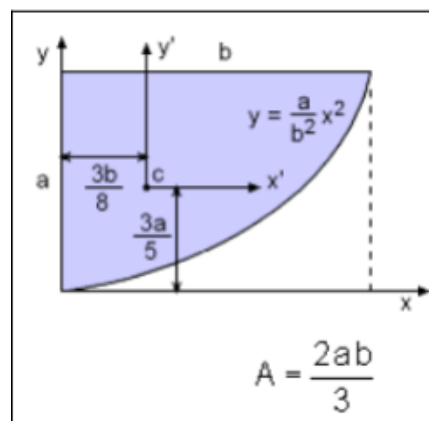
fcd on betonin puristuskestävyyden mitoitusarvo

(SFS-EN 1992-1-1 + A1+ AC, kaava 3.15)

n on eurokoodista saatu taulukkoarvo, joka riippuu betonin lujuusluokasta (ks. Liite 1 Betonin lujuus ja muodonmuutosominaisuudet).

Momenttikestävyyttä poikkileikkauksessa määritetään laskemalla voimaresultantti puristusalueista, ja laskemalla momentti raudoitusteräksiin verrattuna. Momenttivarsi on etäisyys raudoitusteräksistä resultantin painopisteeseen.

Paraabeli-suorakaidemenetelmää käyttäessä pitää kuitenkin huomioida paraabelin geometria, sekä jännityksen että painopisteen määrittämisen yhteydessä.



Kuva 4.4 3 1 Paraabelin geometriaan kuuluvat osat. (Aalto yliopisto, kurssin CIV-E4040, Reinforced Concrete Structures 2017, opetusmateriaali, Janne Hanka)

5 Shape Massive-laskelmat

Seuraavassa osiossa perehdytään erilaisten poikkileikkauksien mitoittamiseen Shape Massive-ohjelmalla. Laskelmat perustuvat jo ennalta laskettuihin esimerkkeihin poikkileikkauksista. Käsinlaskelmat löytyvät tämän työn lopusta liitteinä. Esimerkeissä keskitytään ainoastaan poikkileikkaukseen itsessään, ja sen momenttikestävyyteen, eikä oteta huomioon muita kuormituksia ollenkaan. Esimerkit ovat:

- T-Poikkileikkaus
(Designer's Guide to EN 1992-2, Eurocode 2: Design of Concrete structures. Part 2: Concrete bridges, Worked example 6.1-4: Flanged reinforced concrete beam)
- Suorakaide-Poikkileikkaus
(Aalto yliopisto, kurssin CIV-E4040, Reinforced Concrete Structures 2017, opetusmateriaali, Janne Hanka)
- I-Poikkileikkaus
(Oma esimerkki, Niklas Nordström)

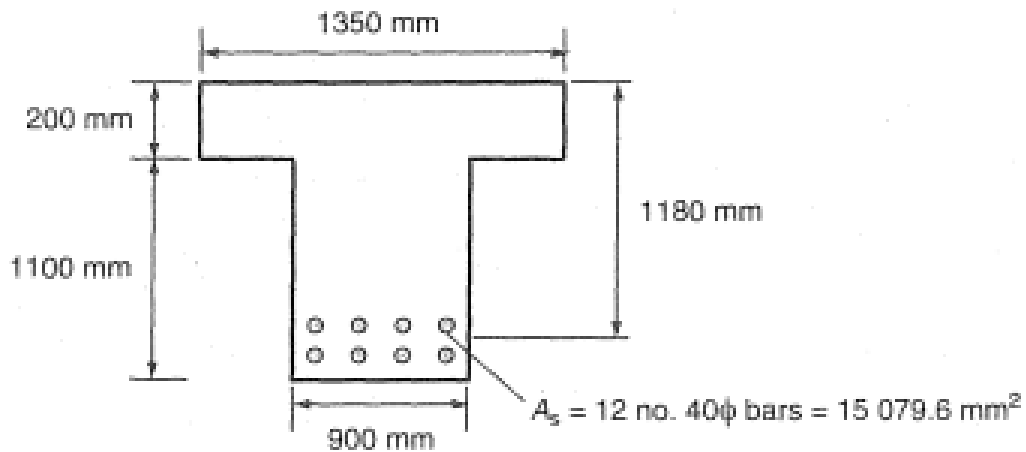
Kun Shape Massive-ohjelmaa käytetään raudoitetun betonipoikkileikkauksen mitoittamiseen, niin pitää ennestään tietää seuraavat asiat:

- poikkileikkauksen geometria
- raudoituksen koko (halkaisija), määrä (kpl.) ja sijoitus.
- betonin tyyppi
- raudoituksen tyyppi
- mahdollinen kuormitus.

Ohjelmisto osaa itse poimia tarvittavat osavarmuusluvut Eurokoodista sekä kansallisten liitteiden mukaiset kertojat, olettaen että ne syötetään ohjelmaan mitoituksen alussa.

Laskenta on esitetty ohjelmasta otetuilla kuvankaappauksilla sekä niihin liittyvien selitetekstien avulla.

5.1 T-Poikkileikkaus



Kuva 5.1.1 T-Poikkileikkaus raudoitettu betonista (Designer's Guide to EN 1992-2, Eurocode 2: Design of Concrete structures. Part 2: Concrete bridges, Worked example 6.1-4: Flanged reinforced concrete beam)

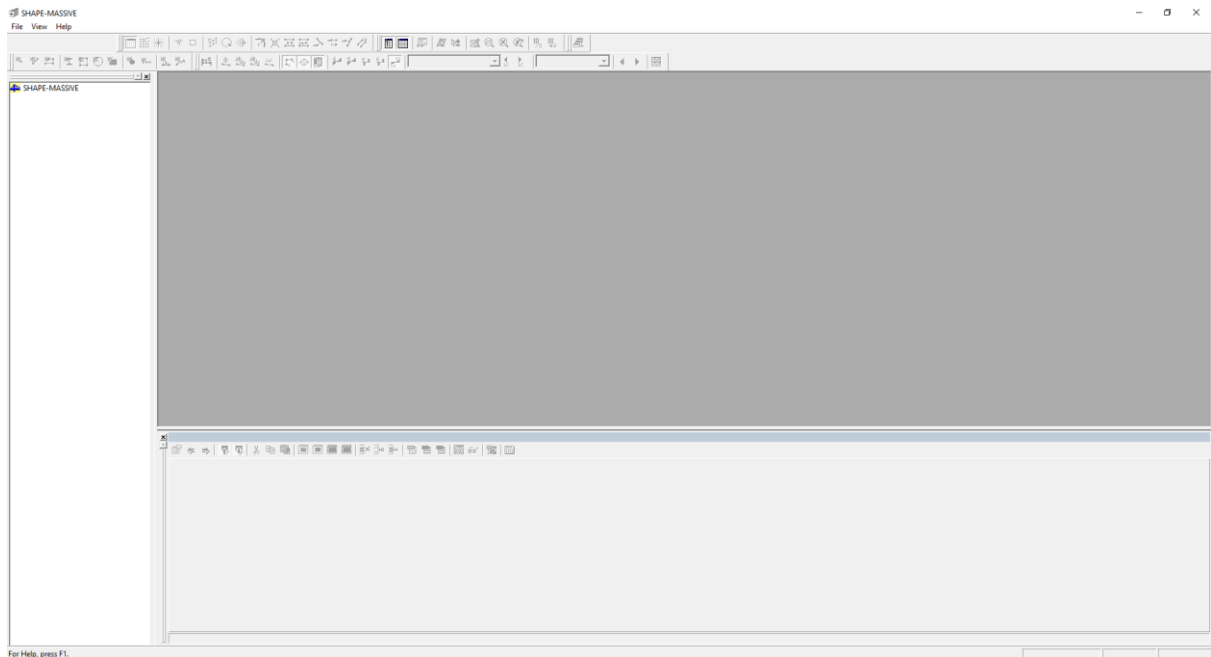
Ensimmäisessä vertailulaskelmassa tutkitaan suhteellisen yleistä T-muotoista teräsbetonipoikkileikkausta. Niin kuin aiemminkin mainittu, tämä poikkileikkaustyyppi hyödyntää puristusta kestävää betonia palkin yläpinnassa ja vetoa kestävää terästä palkin alapinnassa optimoidulla tavalla. Tämä tarkoittaa, että turha betoni on poistettu alhaalta missä sitä ei tarvita muuhun kuin saamaan korkeutta poikkileikkaukselle ja suojaamaan vetoteräksiä.

Poikkileikkaus on 1350 mm leveä ja 1300 mm korkea, josta laippojen osuus on 200 mm. Poikkileikkauksen uuma on 900 mm leveä. Alaosan raudoitus on toteutettu käyttäen 12kpl. D40 raudoitustankoa, joka antaa $15079,6 \text{ mm}^2$ pinta-alaa terästä alaosassa. Poikkileikkauksen tehollinen korkeus on määritetty 1180 mm korkeaksi. Laskelmassa pyritään löytää poikkileikkauksen teoreettinen maksimaalinen momenttikestävyys.

5.1.1 Mitoitus

Shape Massive-ohjelman avattua näkymä on seuraavanlainen (kuva 5.1.1 2). Laskentaa pitää aloittaa joko valitsemalla uusi projekti listalta tai luomalla uusi. Avataan "Project manager".

(File → Project manager)

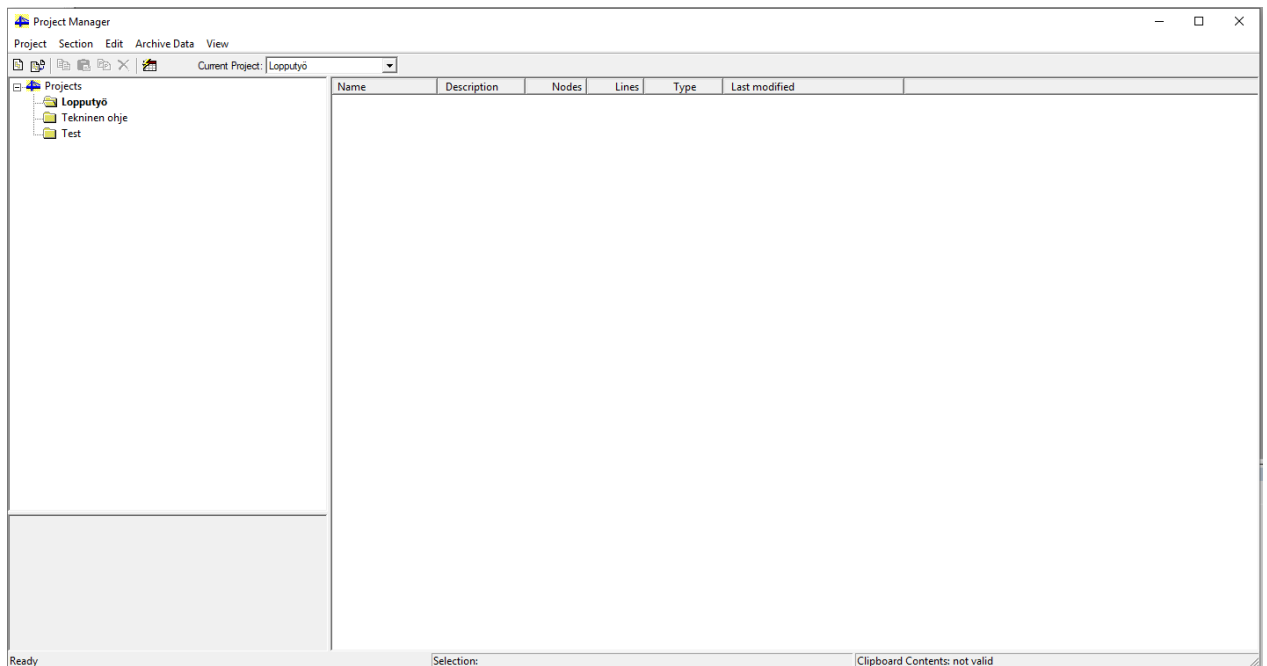


Kuva 5.1.1 2 Aloitusnäkö (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Jolloin aukeaa näkö ”Project Manager” (kuva 5.1.1 3).

Seuraavaksi valitaan listasta projekti tai luodaan uusi projekti. Luodaan uusi projekti.

(Project→New)



Kuva 5.1.1 3 Project manager (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Näkymä ”New Cross Section” aukeaa (kuva 5.1.1 4). Luodaan uusi poikkileikkaustapaus ohjelmassa. Nimetään poikkileikkaus nimellä ”T-Poikkileikkaus” ja tarkistetaan että muut parametrit ovat oikein. Tässä tapauksessa mitoitetaan raudoitettua betonipoikkileikkausta, joten pitää valita ”Reinforced concrete design”. Jatketaan ”Concrete design” valikkoon

(→ Concrete Design)

Kuva 5.1.1 5 New cross section (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

” Concrete Design” näkymä aukeaa (kuva 5.1.1 6). Valitaan minkä eurokoodin mukaan ollaan mitoittamassa, tässä tapauksessa EN 1992-1-1:2004/AC:2010, mukaan lukien suomen kansallinen liite.

Kuva 5.1.1 6 Concrete design (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

”Type of Design” valikossa (kuva 5.1.1 7) on 3 vaihtoehtoa:

- ”Strain stress diagram”
 - o Ohjelma laskee muodonmuutoksen betonissa ja teräksissä
- ”Existing Safety”
 - o Ohjelma laskee lisäksi turvakertoimen poikkileikkaukselle
- Design
 - o Ohjelma mitoittaa raudoituksen poikkileikkaukselle itse parametrien sisällä

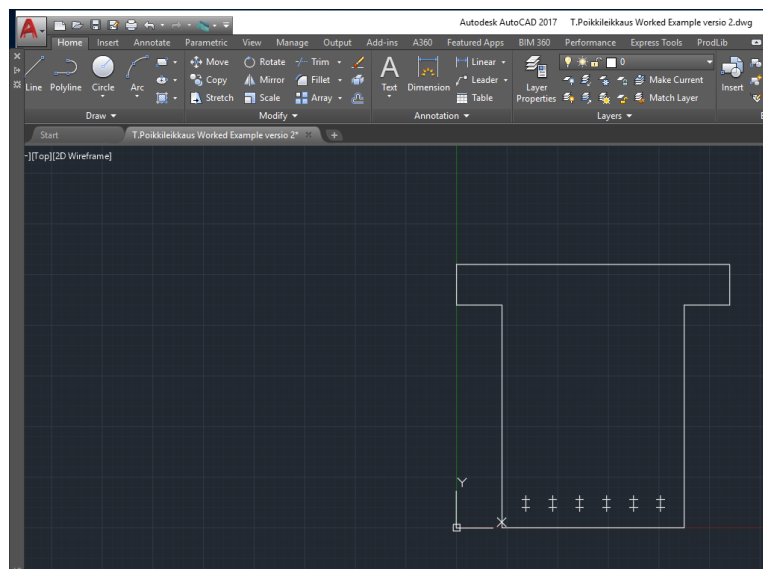
(Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa)

Kuva 5.1.1 7 Type of Design (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Määritetään suunnittelutyypiksi ”Existing safety” ja tarkistetaan että muut parametrit ovat oikein. Kertoimet ja rajoitukset tulevat automaattisesti mukaan oikean Eurokoodin valittua. Tässä laskelmassa ei rajoiteta teräksien muodonmuutosta. Hyväksytään parametrit ja mitoitusvaihtoehto klikkaamalla ”ok”, jolloin palataan ohjelman aloitusnäkyyn.

(→ OK→alotusnäky)

Seuraavaksi pitää tuoda T-poikkileikkauksen geometria ohjelmaan. Poikkileikkauksen geometria ja raudoituksen sijainti on piirretty Autocad ohjelmalla etukäteen (Kuva 5.1.1 8) ja tallennettu dxf. muotoon. Raudoituksien sijainnit kannattaa piirtää poikkileikkaukseen risteinä, jolloin niiden sijoittaminen Shape Massive-ohjelmassa on tarkempi.



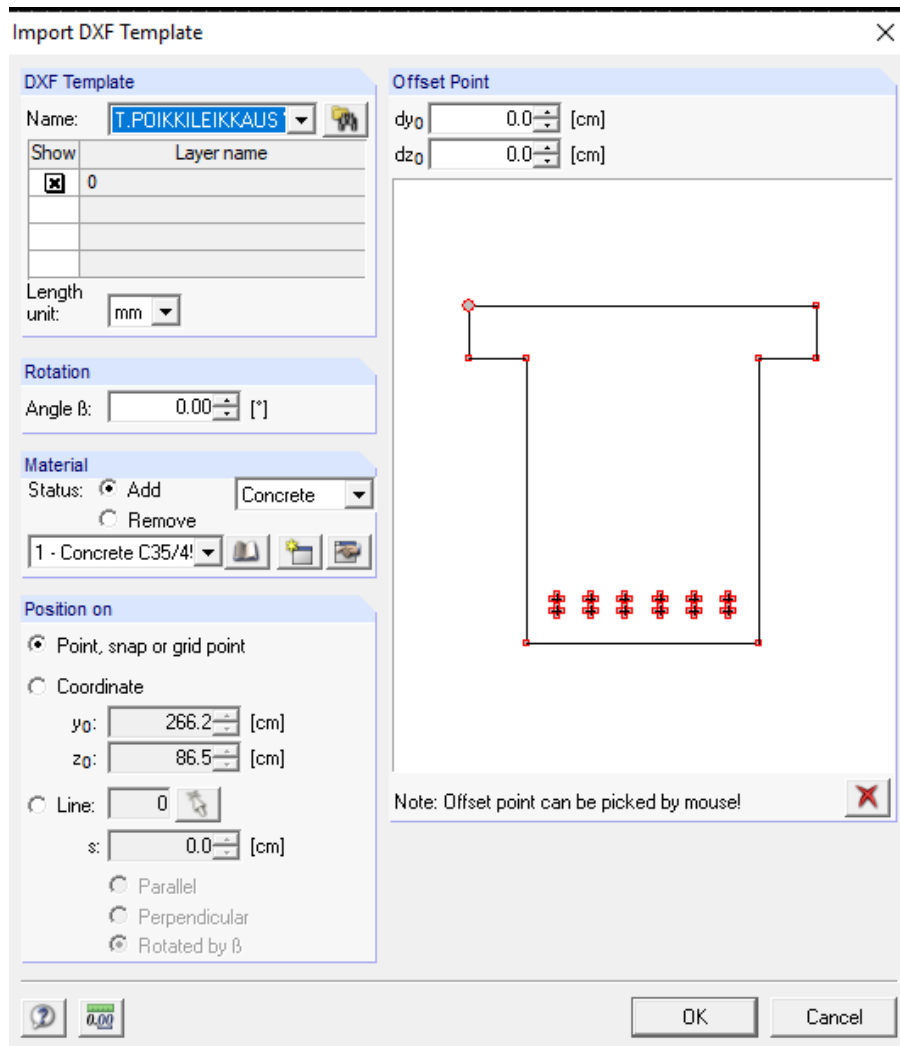
Kuva 5.1.1 8 Autocad ohjelmassa piirretty poikkileikkaus raudoituksineen (Autocad-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Shape Massive-ohjelmassa avataan ”Load dxf. Template”, ja valitaan oikea dxf. tiedosto)

(Aloitusnäky→File→load dxf template→Valitaan T-Poikkileikkaus dxf.)

Näkymä ”Import DXF Template” aukeaa (kuva 5.1.1 9). Geometrian tuonnin yhteydessä määritetään materiaalityyppiä. Tässä tapauksessa materiaali on betonia lujuusluokaltaan C35/45. Raudoitusta ei tarvitse määrittää vielä tässä vaiheessa. Määritetään poikkileikkauksen sijaintia koordinaatistossa tai valitaan hiirellä sijaintia.

(Material → C35/45 → klikataan oikeaan paikkaan tai määritetään koordinaatit)

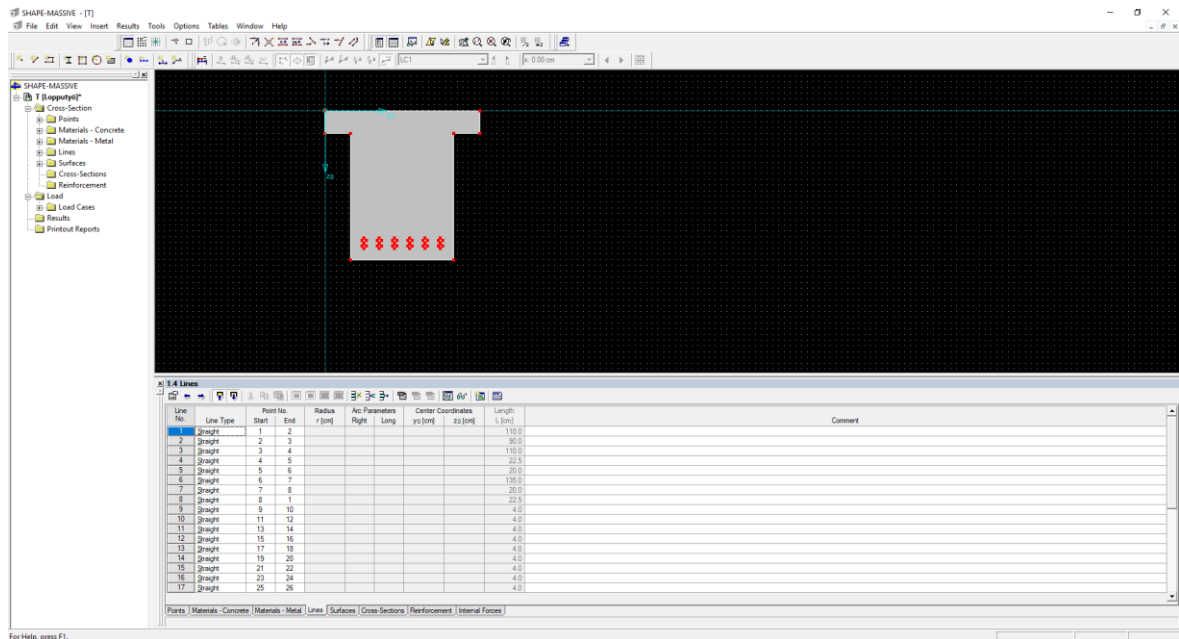


Kuva 5.1.1 9 Import dxf template (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

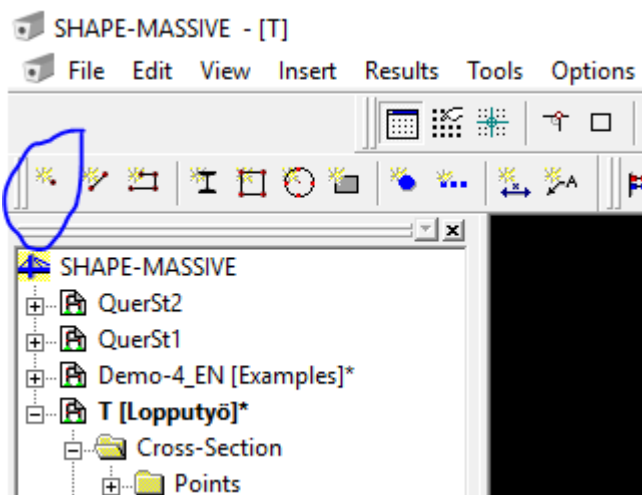
Syötön jälkeen ohjelman siirtyy takaisin aloitusnäkyyn, poikkileikkaus lisätynä (kuva 5.1.1 10).

Helpottaakseen työtä, ja varmistaakseen raudoituksien oikeata sijoitusta poikkileikkauksessa, lisätään pisteitä rauditusmerkkien keskelle.

(Aloitusnäky → New point (komennon sijainti kuva 5.1.1 11))



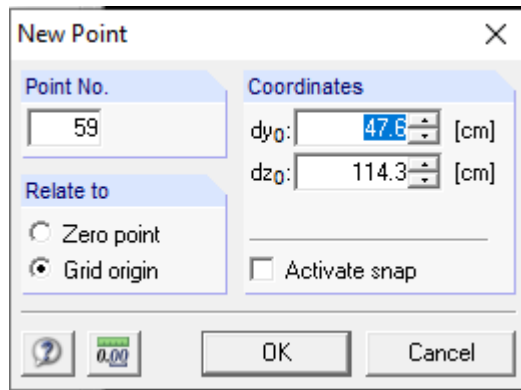
Kuva 5.1.10 Näkymä syötön jälkeen (Shape Massive ohjelmasta otettu kuvakaappaus)



Kuva 5.1.11 New point valikko (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Painamalla nappia aukeaa "New Point" näkymä (kuva 5.1.12). Näkymän ollessaan auki klikataan hiirellä rauditusmerkinnän keskelle.

(Hiirellä valitaan merkintä, tai määritetään koordinaatit uudelle pisteelle)

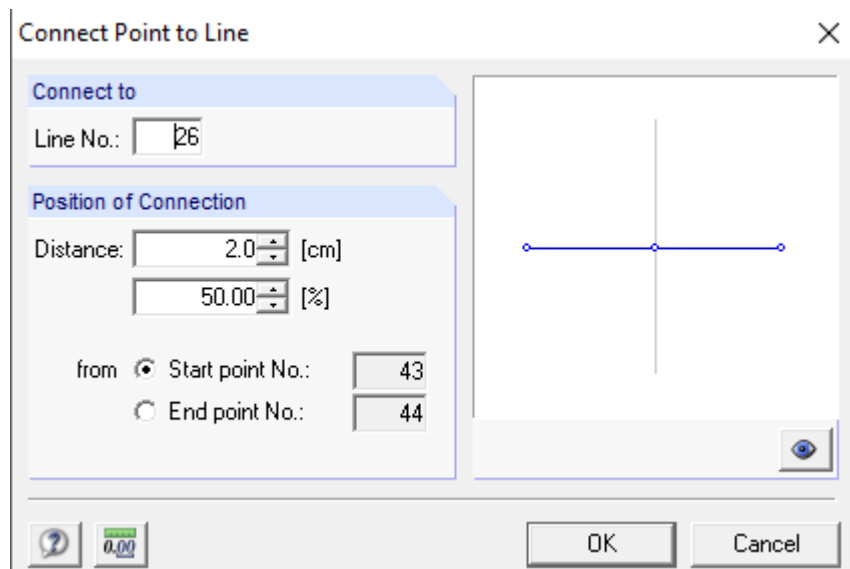


Kuva 5.1.1 12 New point sijainti (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Valittuaan merkinnän avautuu uusi ikkuna (kuva 5.1.1 13).

Tässä valikossa valitaan missä kohtaa viivaa luodaan uusi piste. Tiedämme että viiva on 40 mm pitkä, joten voidaan valita 2.0cm tai vaihtoehtoisesti määrittää prosentuaalisesti missä kohtaa viivaa piste tulee (50% tässä tapauksessa), että piste tulee keskelle merkintää. Tämän jälkeen voi poistaa muut linjat ja pisteet merkinnästä, että jää ainoastaan pisteet raudoitukselle. Tämä helpottaa, kun sijoittaa raudoituksen, niin ettei raudoitusta laiteta väärin kohtiin. Tämä toistetaan jokaiselle merkinnälle.

(Luodaan uudet pisteet merkintöjen tilalle →suljetaan ikkuna ”Connect Point to Line”)

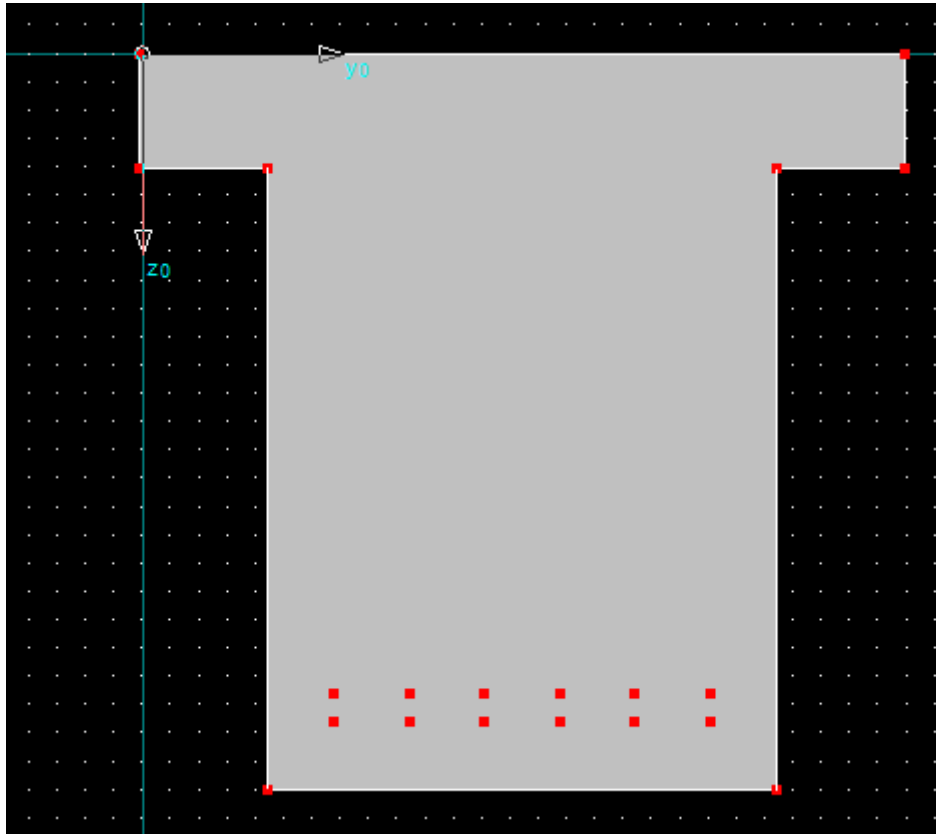


Kuva 5.1.1 13 Point to line (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

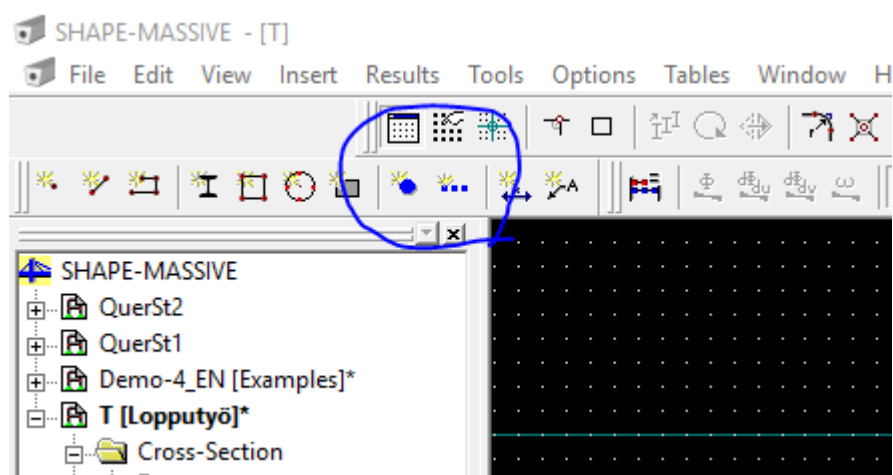
Poikkileikkauksen raudoitusmerkinnät on nyt korvattu pisteillä (kuva 5.1.1 14).

Seuraavaksi lisätään raudoitukset poikkileikkaukseen. Avataan valikko ”New reinforcement”.

(Aloituskäyttö→New reinforcement (komennon sijainti kuva 5.1.1 15))



Kuva 5.1.1 14 Rasterit poistettu, korvattu pisteillä (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)



Kuva 5.1.1 15 Raudoituksen lisääminen (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

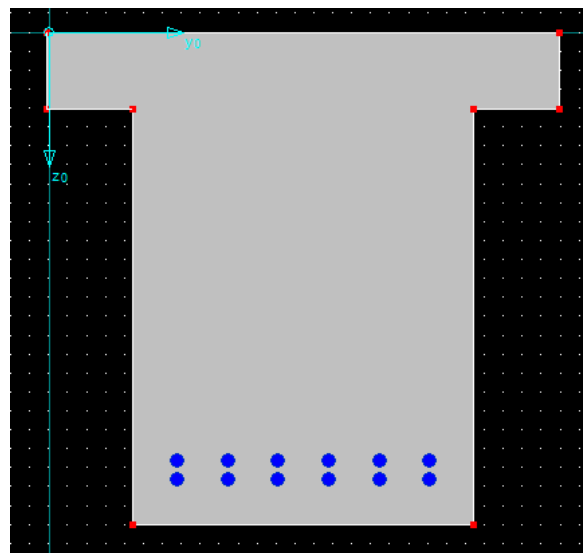
”New Reinforcement” näkymä aukeaa. (kuva 5.1.1 16). Tässä osiossa määritetään raudoituksen materiaalia, halkaisijaa ja sijaintia poikkileikkauksessa. Meidän

tapauksessamme raudoitus on tyyppiä B500B ja halkaisija on 40 mm. Sijainti määritetään valitsemalla hiirellä äsken luotuja pisteitä poikkileikkauksen sisällä, tai vaihtoehtoisesti syöttämällä koordinaatit sijoitukselle.

(Määritetään raudoitustyyppiä → lisätään poikkileikkaukseen)

Kuva 5.1.1 16 Yksittäinen raudoitus (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Poikkileikkaus on nyt määritetty raudoituksineen. (kuva 5.1.1 17)



Kuva 5.1.1 17 Syötetty poikkileikkaus nyt (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Kun poikkileikkauksen geometria ja materiaalit sijainteineen ovat määritetty, on aika lisätä kuormatapausta, että ohjelmisto pystyy laskemaan poikkileikkauksen momenttikestävyyttä.

Tämä tehdään alalaidasta löytyvän taulukon kautta osiossa ”Internal Forces” (Kuva 5.1.1 18)

(Aloituskäyttö → Alalaidassa ”Internal Forces”)

Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces Vy [kN]	Vz [kN]	Torsional Moment M _τ [kNm]	Bending Moments My [kNm]	Mz [kNm]
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

Kuva 5.1.1 18 Kuorman syöttö (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Taulukkoon täytetään tarvittavat tiedot: Tarkastettavan osa ja sen pituus, normaalivoima, leikkausvoimat molemmista suunnista, vääntömomentti ja taivutusmomentit molemmista suunnista.

Koska me olemme vain tarkastamassa momenttikestävyyttä yhdelle poikkileikkaukselle, voidaan täyttää taulukkoa seuraavasti: (Kuva 5.1.1 19)

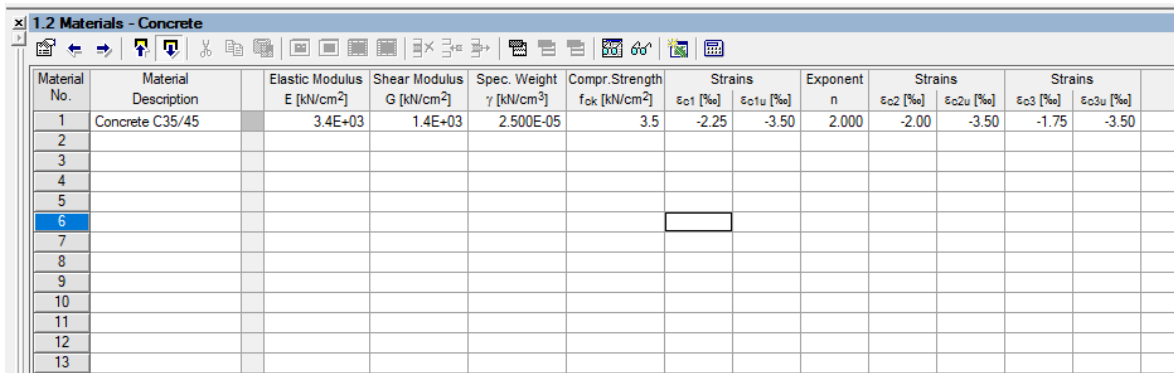
Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces Vy [kN]	Vz [kN]	Torsional Moment M _τ [kNm]	Bending Moments My [kNm]	Mz [kNm]
1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
2	1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

Kuva 5.1.1 19 Syötetyt arvot (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tällöin me tarkistamme yhden (1) kNm verran taivutusmomenttia yhden (1) metrin mittaiselta matkalta. Momentti vaikuttaa suhteessa y-akseliin. Kaikki muut arvot liittyen voimiin voi jättää nolaksi (0).

Tämän jälkeen tarkistetaan, että kaikki materiaalit sekä raudoituksen että betonin suhteen ovat oikein. Valitaan ”Materials Concrete” taulukko, jolloin aukeaa oikea taulukko (Kuva 5.1.1 20).

(Aloituskäyttö→Alalaidassa ”Materials-Concrete”)



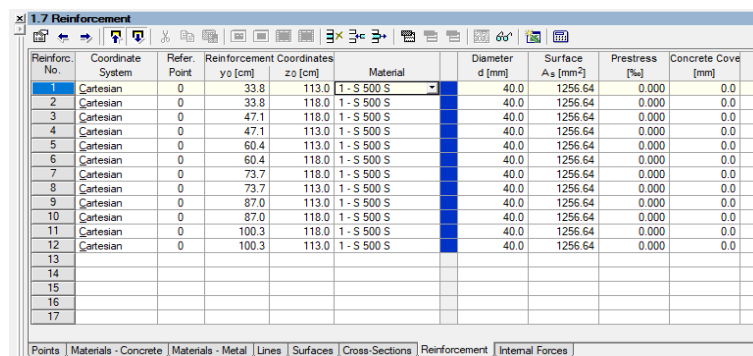
Material No.	Material Description	Elastic Modulus E [kN/cm ²]	Shear Modulus G [kN/cm ²]	Spec. Weight γ [kN/cm ³]	Compr. Strength f _{ck} [kN/cm ²]	Strains		Exponent n	Strains		Strains	
						ε _{o1} [%]	ε _{o1u} [%]		ε _{o2} [%]	ε _{o2u} [%]	ε _{o3} [%]	ε _{o3u} [%]
1	Concrete C35/45	3.4E+03	1.4E+03	2.500E-05	3.5	-2.25	-3.50	2.000	-2.00	-3.50	-1.75	-3.50
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												

Kuva 5.1.1 20 Materiaalitalukko-Betoni (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tarkistetaan että betonityyppi on oikein taulukossa. Ensimmäinen arvo taulukossa pitää olla käytössä poikkileikkauksessa, sillä se on ohjelman viitemateriaali.

Seuraavaksi tehdään sama tarkistus raudoituksen suhteen, valitsemalla taulukkoa ”Reinforcements” (Kuva 5.1.1 21). Tarkistetaan että raudoituksen materiaali on oikea jokaisessa tangossa

(Aloituskäyttö→ Alalaidassa ”Materials-Reinforcement”)

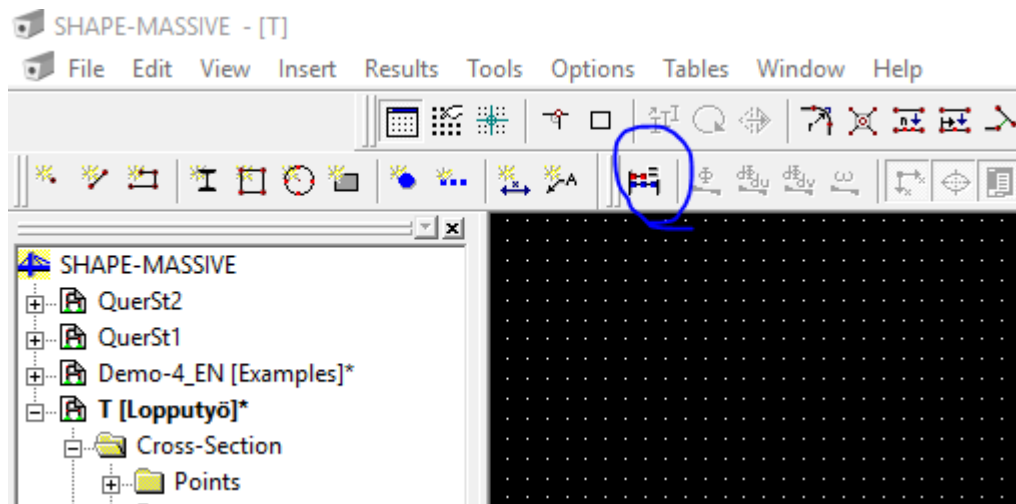


Reinforc. No.	Coordinate System	Refer. Point	Reinforcement Coordinates		Material	Diameter d [mm]	Surface A _s [mm ²]	Prestress [%]	Concrete Covd [mm]
			y _o [cm]	z _o [cm]					
1	Cartesian	0	33.8	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
2	Cartesian	0	33.8	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
3	Cartesian	0	47.1	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
4	Cartesian	0	47.1	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
5	Cartesian	0	60.4	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
6	Cartesian	0	60.4	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
7	Cartesian	0	73.7	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
8	Cartesian	0	73.7	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
9	Cartesian	0	87.0	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
10	Cartesian	0	87.0	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
11	Cartesian	0	100.3	118.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
12	Cartesian	0	100.3	113.0	1 - S 500 S	40.0	1256.64	0.000	0.0
13									
14									
15									
16									
17									

Kuva 5.1.1 21 Materiaalitalukko-Raudoitus (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

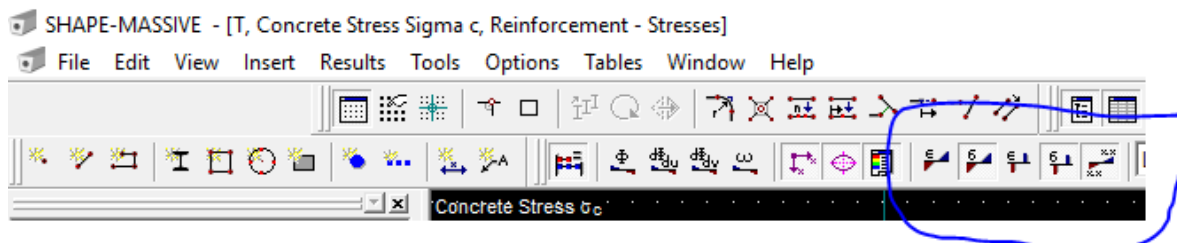
Kuin kaikki tarkistukset on tehty, voidaan antaa ohjelman laskea poikkileikkauksen ominaisuudet painamalla ”Results” nappia (Kuva 5.1.1 22).

(Aloituskäyttö→Ylävasemmalla Results komento)



Kuva 5.1.1 22 Results komennon sijainti (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Jonka jälkeen valitaan mitkä tulokset halutaan nähdä graafisesti, (Kuva 5.1.1 23):

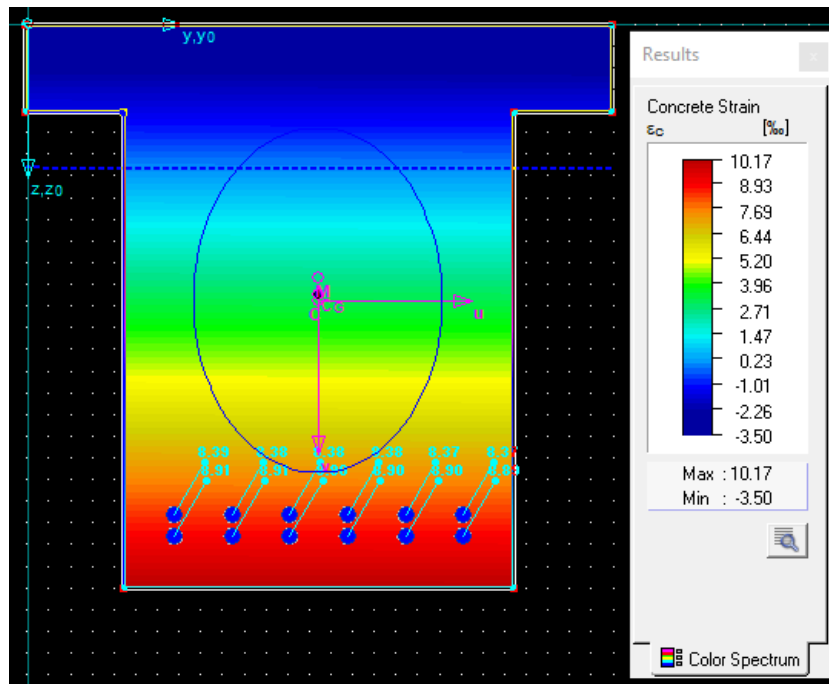


Kuva 5.1.1 23 Mitkä tulokset näkyvät (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Vaihtoehdot ovat lueteltuna vasemmasta oikealle:

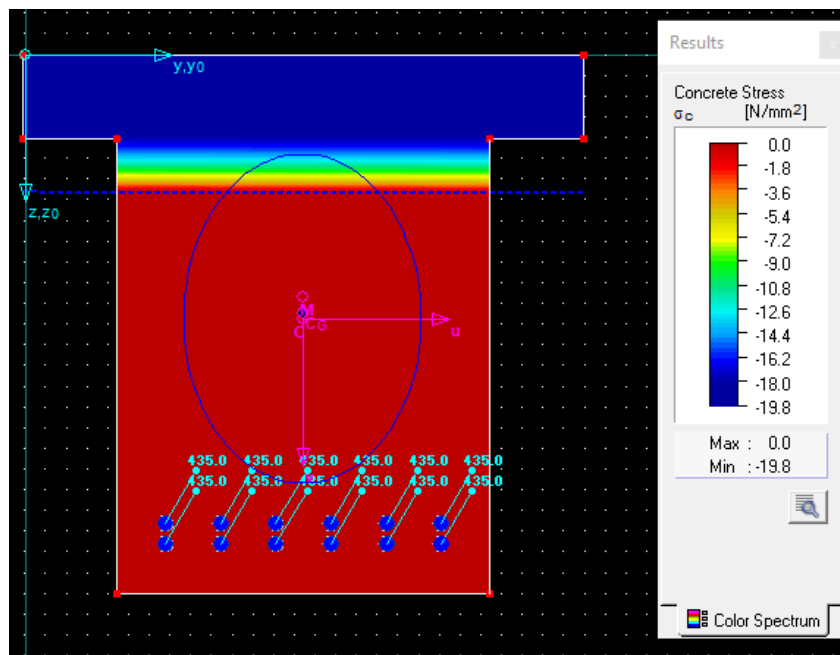
- ”Surface Stretch”
 - o Betonin muodonmuutos/puristuma
- ”Concrete Stress”
 - o Betonin jännitys/puristus
- ”Reinforcement Stretch”
 - o Raudoituksen venymä
- ”Reinforcement Stress”
 - o Raudoituksen jännitys
- ”Display Results with Values”
 - o Näytä tulokset arvoilla (arvot näkyvät taulukon lisäksi myös kuvassa)

Valitsemalla ”Surface stretch” ja ”Reinforcement Stretch” (Kuva 5.1.1 24) nähdään betonin puristumat ja raudoituksen venymät.



Kuva 5.1.1 24 Betonin puristuma (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Valitsemalla ”Concrete Stress” ja ”Reinforcement Stress” (Kuva 5.1.1 25), nähdään jännitys betonissa ja raudoituksessa.



Kuva 5.1.1 25 Strains and stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Graafiset tulokset kertovat meille miten paljon poikkileikkauksessa on puristusta/vetoa, ja missä kohtaa ne voimat esiintyvät, sekä minkä suuruiset ne ovat. Tummansininen katkoviiva edustaa neutraaliakselia poikkileikkauksessa.

Aloituskäytännön alalaidassa on nyt katsottavissa poikkileikkauksen tulokset myös taulukkomuodossa syötetyillä arvoilla.

(Aloituskäytännö→Alalaidassa olevat vaihtoehdot)

Tulokset ovat:

- ”Cross Section Properties”
 - Poikkileikkauksen ominaisuudet
- ”Points-Strains and Stresses”
 - Poikkileikkauksen betoniosien eri muodonmuutokset ja jännitykset pistekohtaisesti
- ”Reinforcement-Strains and Stresses”
 - Raudoituksen muodonmuutokset ja jännitykset
- ”Safety”
 - Syötettyjen voimien, poikkileikkauksen ja raudoituksien perusteella laskettu turvakero

”Cross Section Properties” taulukosta (Kuva 5.1.1 26), voidaan lukea itse poikkileikkauksen ominaisuudet, niin kuin esimerkiksi pinta-alaa, poikkileikkauksen hitausmomenttia, taivutusvastusta jne.

2.1 Ideal Cross-Section Properties (Reference Material: Concrete C35/45)			
Description	Symbol	Value	Unit
Cross-Sectional Area	A	1325320.00	mm ²
	A _{tot}	1244920.00	mm ²
Shear Area Without Transversal Shear	A _y	1047700.00	mm ²
	A _z	998224.00	mm ²
Shear Area with Transversal Shear	A _{y,tra}	1047700.00	mm ²
	A _{z,tra}	998224.00	mm ²
Centroid Position	y _{C,0}	675.04	mm related to absolute zero
	z _{C,0}	638.77	mm
Centroid Position (Weight)	y _{C,G,0}	675.02	mm related to absolute zero
	z _{C,G,0}	623.36	mm
Moments of Inertia	I _y	2.10512E+11	mm ⁴ around centroidal axes y, z
	I _z	1.11206E+11	mm ⁴
Centrifugal Moment	I _{yz}	25590100.00	mm ⁴
Inclination of Principal Axes	α	0.0	° clockwise positive
Polar Moment of Inertia	I _p	3.21718E+11	mm ⁴
Radii of Gyration	I _y	398.55	mm related to centroid C
	I _z	289.67	mm
	I _{yz}	4.39	mm
Polar Radius of Gyration	I _p	492.69	mm
Cross-Section Weight	G	3230680.00	g/m
Cross-Section Perimeter	P	53000.00	cm ² /m
Torsional Constant	I _t	1.85769E+11	mm ⁴
Location of Shear Center	y _{M,0}	674.96	mm related to absolute zero
	z _{M,0}	586.19	mm
	y _M	-0.07	mm related to centroid C
	z _M	-52.58	mm
	u _M	-0.06	mm related to centroid C
	v _M	-52.58	mm
Warping Constants	I _{ω,C}	3.83412E+15	mm ⁶
	I _{ω,M}	3.52589E+15	mm ⁶
Section Moduli	W _{y,max}	3.18366E+08	mm ³ at distance of 861.2 mm
	W _{y,min}	-3.29558E+08	mm ³ at distance of -638.8 mm
	W _{z,max}	1.64758E+08	mm ³ at distance of 675.0 mm
	W _{z,min}	-1.64741E+08	mm ³ at distance of -675.0 mm
Torsional Section Modulus	W _t	1.80009E+08	mm ³
Plastic Section Moduli	W _{y,pl}	3.88429E+08	mm ³ α _{pl,y} : 1.22
	W _{z,pl}	3.13008E+08	mm ³ α _{pl,z} : 1.90
Auxiliary Value for Warp Rotation	r _{ω,M}	0.00	
Stability Parameters	r _{M,u}	0.13	mm
	r _{M,v}	51.27	mm

Kuva 5.1.1 26 Section properties (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

”Points-Strains and Stresses” taulukosta (Kuva 5.1.1 27) voidaan lukea, paljonko itse betoniin kohdistuu muodonmuutosta ja puristusta, poikkileikkauksen geometrian mukaan jaettuihin pisteisiin.

4.4 Points - Strains and Stresses									
All Members All x-Locations All Load Cases Sort by Object Number									
Member No.	Location x [mm]	Point No.	Point Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_s [%]	Stress σ_s [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	1	225.0	200.0	LC1	1 - Concrete C35/45	-1.38	-17.9	90.44
		2	225.0	1300.0		1 - Concrete C35/45	10.20	0.0	0.00
		3	1125.0	1300.0		1 - Concrete C35/45	10.19	0.0	0.00
		4	1125.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.39	-18.0	90.76
		5	1350.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.39	-18.0	90.84
		6	1350.0	0.0		1 - Concrete C35/45	-3.50	-19.8	100.00
		7	0.0	0.0		1 - Concrete C35/45	-3.48	-19.8	100.00
		8	0.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.38	-17.9	90.35
1	1000.00	1	225.0	200.0	LC1	1 - Concrete C35/45	-1.38	-17.9	90.44
		2	225.0	1300.0		1 - Concrete C35/45	10.20	0.0	0.00
		3	1125.0	1300.0		1 - Concrete C35/45	10.19	0.0	0.00
		4	1125.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.39	-18.0	90.76
		5	1350.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.39	-18.0	90.84
		6	1350.0	0.0		1 - Concrete C35/45	-3.50	-19.8	100.00
		7	0.0	0.0		1 - Concrete C35/45	-3.48	-19.8	100.00
		8	0.0	200.0		1 - Concrete C35/45	-1.38	-17.9	90.35

Kuva 5.1.1 27 Points-Strains and Stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

”Reinforcement-Strains and Stresses” taulukosta (Kuva 5.1.1 28) voidaan lukea itse raudoitukseen kohdistuvaa muodonmuutosta ja jännitystä.

4.5 Reinforcement - Strains and Stresses									
All Members All x-Locations All Load Cases Sort by Object Number									
Member No.	Location x [mm]	Reinforcement No.	Reinforcement Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_s [%]	Stress σ_s [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	1	342.5	1160.0	LC1	1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		2	343.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		3	476.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		4	475.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		5	608.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		6	609.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		7	742.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		8	741.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		9	874.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		10	875.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		11	1008.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		12	1007.5	1160.0		1 - S 500 S	8.71	435.0	99.99
1	1000.00	1	342.5	1160.0	LC1	1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		2	343.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		3	476.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		4	475.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		5	608.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		6	609.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		7	742.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		8	741.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		9	874.5	1160.0		1 - S 500 S	8.72	435.0	99.99
		10	875.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		11	1008.0	1200.0		1 - S 500 S	9.14	435.0	99.99
		12	1007.5	1160.0		1 - S 500 S	8.71	435.0	99.99

Kuva 5.1.1 28 Reinforcement-Strains and Stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

”Safety” taulukosta (Kuva 5.1.1 29), voidaan lukea poikkileikkauksen osavarmuuslukua γ , joka on ohjelman laskema kerroin. γ kuvastaa tässä paljonko syötettyä kuormaa tai momenttia voidaan lisätä, ennen kun poikkileikkauksen betoni murtuu tai raudoitusteräket saavuttavat myötörajan. (Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive- tuen kanssa) Tämä arvo on tämän laskelman kannalta tärkein.

4.2 Existing Safety											
LC	Location x [mm]	Safety γ [-]	Angle α_N [°]	Coordinates		Curvatures		Strains			
				y _{0,N} [mm]	z _{0,N} [mm]	k _y [1/m*1000]	k _z [1/m*1000]	ϵ_0 [%o]	ϵ_1 [%o]	ϵ_2 [%o]	ϵ_{2s} [%o]
LC1	0.00	6904.24	0.06	275478.0	-307.0	-0.01	10.53	3.23	-3.50	10.20	9.14
	1000.00	6904.24	0.06	275478.0	-307.0	-0.01	10.53	3.23	-3.50	10.20	9.14

Kuva 5.1.1 29 Existing safety (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Laitettuamme momentin poikkileikkaukselle 1 kNm, voidaan käyttää juuri saamamme γ kerrointa laskeaksemme poikkileikkauksen maksimaalista momenttikestävyyttä. γ kerrointa käytetään, koska sillä voidaan ottaa huomioon myös muut voimat, mikäli niitä on.

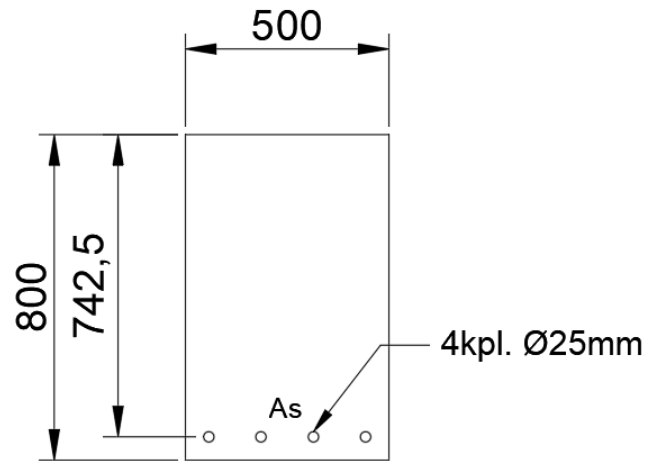
Tämä tapahtuu yksinkertaisesti kertomalla kuormitusta (1kNm) γ kertoimeen (6904.24). (Ks. Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa)

$$1 \text{ kNm} \cdot 6904,24 = 6904,24 \text{ kNm}$$

Voidaan siis todeta, että poikkileikkauksen maksimaalinen momenttikestävyys on Shape Massive-ohjelman laskelmien mukaan 6904.24 kNm.

5.2 Suorakaide poikkileikkaus

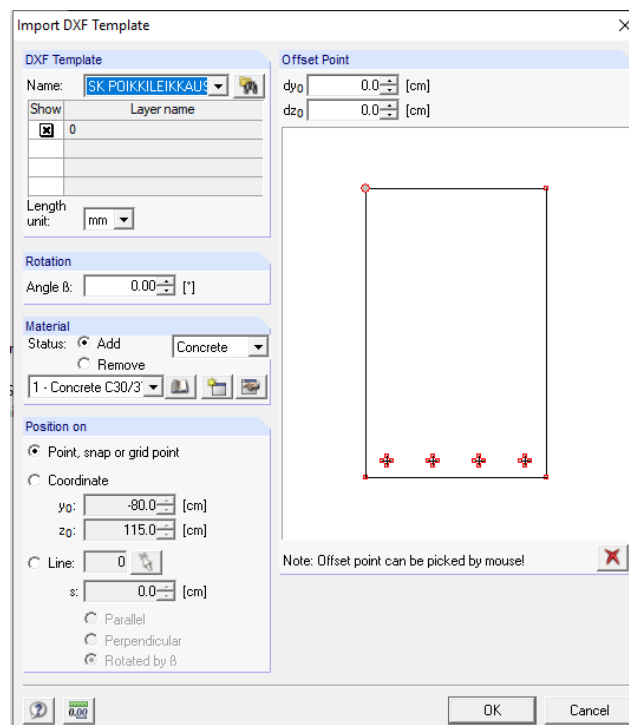
Seuraavassa laskennassa tutustutaan helpompaan suorakaidemalliseen poikkileikkaukseen. Poikkileikkaus ei ole vapaamuotoinen, mutta voidaan hyvin käyttää esimerkkinä nähdäkseen poikkeavtko tulokset riippumatta poikkileikkauksen geometriassa, eli voiko ohjelmaa käyttää myös suorakaidepoikkileikkauksien laskemiseen samalla tavalla. Poikkileikkaus on 500 mm leveä ja 800 mm korkea. Vetorauditus poikkileikkauksen alapinnassa on toteutettu neljällä (4kpl) Ø25 mm harjateräksillä. Tehollinen korkeus poikkileikkaukselle on määritetty 742.5 mm korkeaksi.



Kuva 5.2.1 Suorakaide poikkileikkaus (Aalto yliopisto, kurssin CIV-E4040, Reinforced Concrete Structures 2017, opetusmateriaali, Janne Hanka)

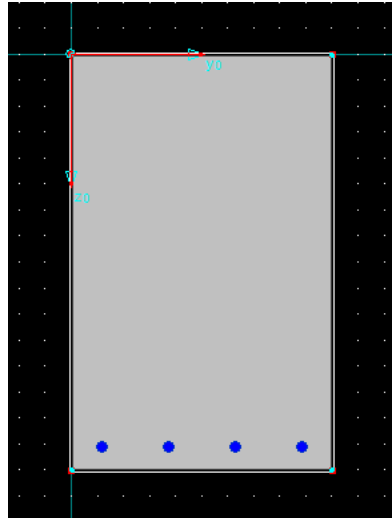
5.2.1 Mitoitus

Laskentakulku ja tapa pysyy samanlaisena kuin laskelmassa 5.1, ainoa ero on poikkileikkauksen syötössä, missä edellinen dxf. tiedosto vaihtuu toiseen tiedostoon, jossa on suorakaidepoikkileikkauksen geometria. Myös betonin lujuusluokka vaihtuu tässä yhteydessä (Kuva 5.2.1 1)



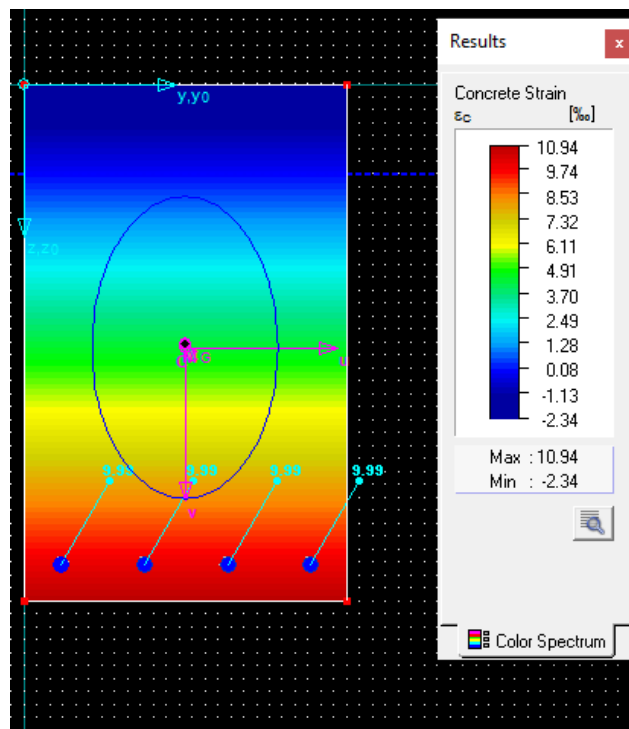
Kuva 5.2.1 1 dxf. tiedosto suorakaidepoikkileikkauksesta (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Lisätään raudoitus samalla tavalla kuin laskelmassa 5.1 (Kuva 5.2.1 2):



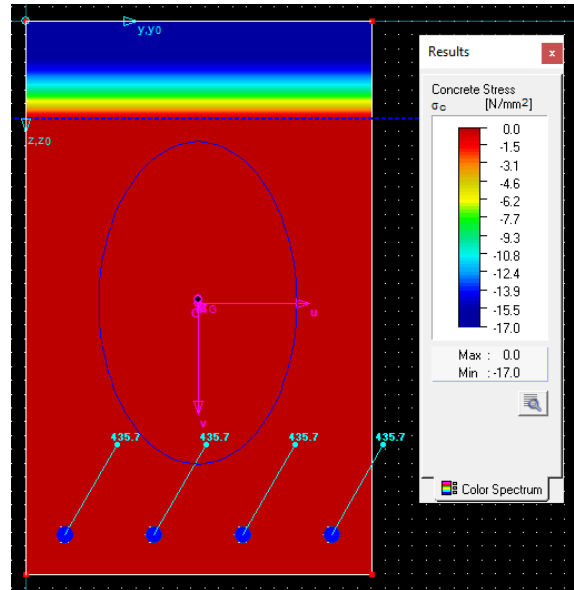
Kuva 5.2.1 2 Raudoitettu suorakaide poikkileikkaus (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Painamalla “Results” nappia ja valitsemalla ”Surface stretch” ja ”Reinforcement Stretch” (Kuva 5.2.1 3), nähdään betonin puristusta ja raudoituksen venymää.



Kuva 5.2.1 3 Betonin puristuma (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja vastaavasti valitsemalla ”Concrete Stress” ja ” Reinforcement Stress” (Kuva 5.2.1 4), nähdään jännitykset betonissa ja raudoituksessa.



Kuva 5.2.1 4 Strains and stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Poikkileikkauksien tulokset löytyvät samalla tavalla kuin esimerkkilaskelma 5.1,

Poikkileikkauksen ominaisuudet (Kuva 5.2.1 5)

2.1 Ideal Cross-Section Properties (Reference Material: Concrete C30/37)				
Description	Symbol	Value	Unit	
Cross-Sectional Area	A	408838.00	mm ²	
	A _{tot}	398037.00	mm ²	
Shear Area Without Transversal Shear	A _y	325982.00	mm ²	
	A _z	333940.00	mm ²	
Shear Area with Transversal Shear	A _{y,tra}	325982.00	mm ²	
	A _{z,tra}	333940.00	mm ²	
Centroid Position	y _{C,0}	250.01	mm	related to absolute zero
	z _{C,0}	407.40	mm	
Centroid Position (Weight)	y _{C,G,0}	250.00	mm	related to absolute zero
	z _{C,G,0}	403.17	mm	
Moments of Inertia	I _y	2.23479E+10	mm ⁴	around centroidal axes y, z
	I _z	8.51572E+09	mm ⁴	
Centrifugal Moment	I _{yz}	1017860.00	mm ⁴	
Inclination of Principal Axes	α	0.0	°	clockwise positive
Polar Moment of Inertia	I _p	3.08637E+10	mm ⁴	
Radii of Gyration	i _y	233.80	mm	related to centroid C
	i _z	144.32	mm	
	i _{yz}	1.58	mm	
Polar Radius of Gyration	i _p	274.76	mm	
Cross-Section Weight	G	1010500.00	g/m	
Cross-Section Perimeter	P	26000.00	cm ² /m	
Torsional Constant	I _t	2.04225E+10	mm ⁴	
Location of Shear Center	y _{M,0}	249.96	mm	related to absolute zero
	z _{M,0}	402.36	mm	
	y _M	-0.05	mm	related to centroid C
	z _M	-5.04	mm	
	u _M	-0.05	mm	related to centroid C
	v _M	-5.04	mm	
Warping Constants	I _{ω,C}	9.30226E+13	mm ⁶	
	I _{ω,M}	9.28035E+13	mm ⁶	
Section Moduli	W _{y,max}	56923500.00	mm ³	at distance of 392.6 mm
	W _{y,min}	-54854500.00	mm ³	at distance of -407.4 mm
	W _{z,max}	34063900.00	mm ³	at distance of 250.0 mm
	W _{z,min}	-34061900.00	mm ³	at distance of -250.0 mm
Torsional Section Modulus	W _t	46956000.00	mm ³	
Plastic Section Moduli	W _{y,pl}	76933900.00	mm ³	α _{pl,y} : 1.40
	W _{z,pl}	49972500.00	mm ³	α _{pl,z} : 1.47
Auxiliary Value for Warp Rotation	r _{ω,M}	-0.09	mm	
Stability Parameters	r _{M,u}	0.27	mm	
	r _{M,v}	-2.89	mm	

Kuva 5.2.1 5 Section Properties (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Betonin puristumat ja jännitykset pistekohtaisesti (Kuva 5.2.1 6)

4.4 Points - Strains and Stresses									
Member No.	Location x [mm]	Point No.	Point Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_c [%]	Stress σ_c [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	1	0.0	0.0	LC1	1 - Concrete C30/37	-2.34	-17.0	100.00
		2	500.0	0.0		1 - Concrete C30/37	-2.34	-17.0	100.00
		3	500.0	800.0		1 - Concrete C30/37	10.94	0.0	0.00
		4	0.0	800.0		1 - Concrete C30/37	10.94	0.0	0.00
1	1000.00	1	0.0	0.0	LC1	1 - Concrete C30/37	-2.34	-17.0	100.00
		2	500.0	0.0		1 - Concrete C30/37	-2.34	-17.0	100.00
		3	500.0	800.0		1 - Concrete C30/37	10.94	0.0	0.00
		4	0.0	800.0		1 - Concrete C30/37	10.94	0.0	0.00

Kuva 5.2.1 6 Points-Strains and Stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Raudoituksen venymät ja jännitykset (Kuva 5.2.1 7)

4.5 Reinforcement - Strains and Stresses									
Member No.	Location x [mm]	Reinforcement No.	Reinforcement Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_s [%]	Stress σ_s [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	2	57.5	742.5	LC1	1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		4	185.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		5	314.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		6	442.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
1	1000.00	2	57.5	742.5	LC1	1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		4	185.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		5	314.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00
		6	442.5	742.5		1 - BSt 500 S (B)	9.99	435.7	100.00

Kuva 5.2.1 7 Reinforcement-Strains and Stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja turvakerroin saadaan taulukosta (Kuva 5.2.1 8):

4.2 Existing Safety											
LC	Location x [mm]	Safety γ [-]	Angle α_N [°]	Coordinates		Curvatures		Strains			
				y _{0,N} [mm]	z _{0,N} [mm]	k _y [1/m ² 1000]	k _z [1/m ² 1000]	ϵ_0 [%]	ϵ_1 [%]	ϵ_2 [%]	ϵ_{2s} [%]
LC1	0.00	588.71	0.00	0.0	-266.6	0.00	16.60	4.43	-2.34	10.94	9.99
	1000.00	588.71	0.00	0.0	-266.6	0.00	16.60	4.43	-2.34	10.94	9.99

Kuva 5.2.1 8 Safety (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Samalla periaatteella kuin laskelmassa 5.1, saadaan tulokseksi, että turvakerroin γ on 588.71.

Tällöin saadaan laskettua maksimaalisen momenttikestävyyden poikkileikkaukselle:

$$1 \text{ kNm} \cdot 588.71 = 588.71 \text{ kNm}$$

Joten tämän poikkileikkauksen teoreettinen maksimaalinen momenttikestävyys näillä syötetyillä arvoilla on Shape Massive-ohjelman mukaan 588.71kNm

5.3 I-poikkileikkaus

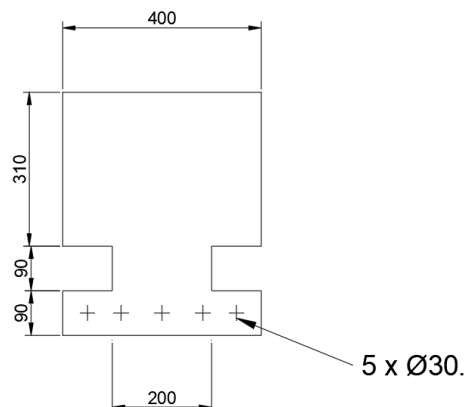
Viimeisenä esimerkkinä tutustutaan korkealaippaiseen I poikkileikkaukseen. Poikkileikkaus on fiktiivinen, ja vain tätä lopputyötä varten keksitty. Idea poikkileikkauksessa on, että käyttäessään kyseistä poikkileikkausta kattopalkissa, voidaan vähentää noin $0,018\text{m}^3$ betonia/m (Kaava 1) verrattuna vastaavankokoiseen suorakaidepalkkiin, vähentämättä momenttikestävyyttä poikkileikkauksessa. Olettaessaan että raudoitettu betoni painaa $2500\text{kg}/\text{m}^3$, betonin vähennys vastaa noin $45\text{kg}/\text{m}$ (Kaava 2), joka voi laajemmassa mittasuhteessa olla huomattava ero kokonaispainossa ja materiaalimenekissä.

$$2 \cdot 0,09 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,018 \text{ m}^3/\text{m} \quad (\text{Kaava 1})$$

$$2500 \text{ kg}/\text{m}^3 * 0,18 \text{ m}^3/\text{m} = 45 \text{ kg}/\text{m} \quad (\text{Kaava 2})$$

Tämä kuviteltu I poikkileikkaus on ajateltu kattopalkiksi, missä pienemmän materiaalikäytön lisäksi, voidaan uuman viereen sijoittaa esimerkiksi LVI putki tai alemman laipan yläosa voidaan hyödyntää tekniikkahyllyksi.

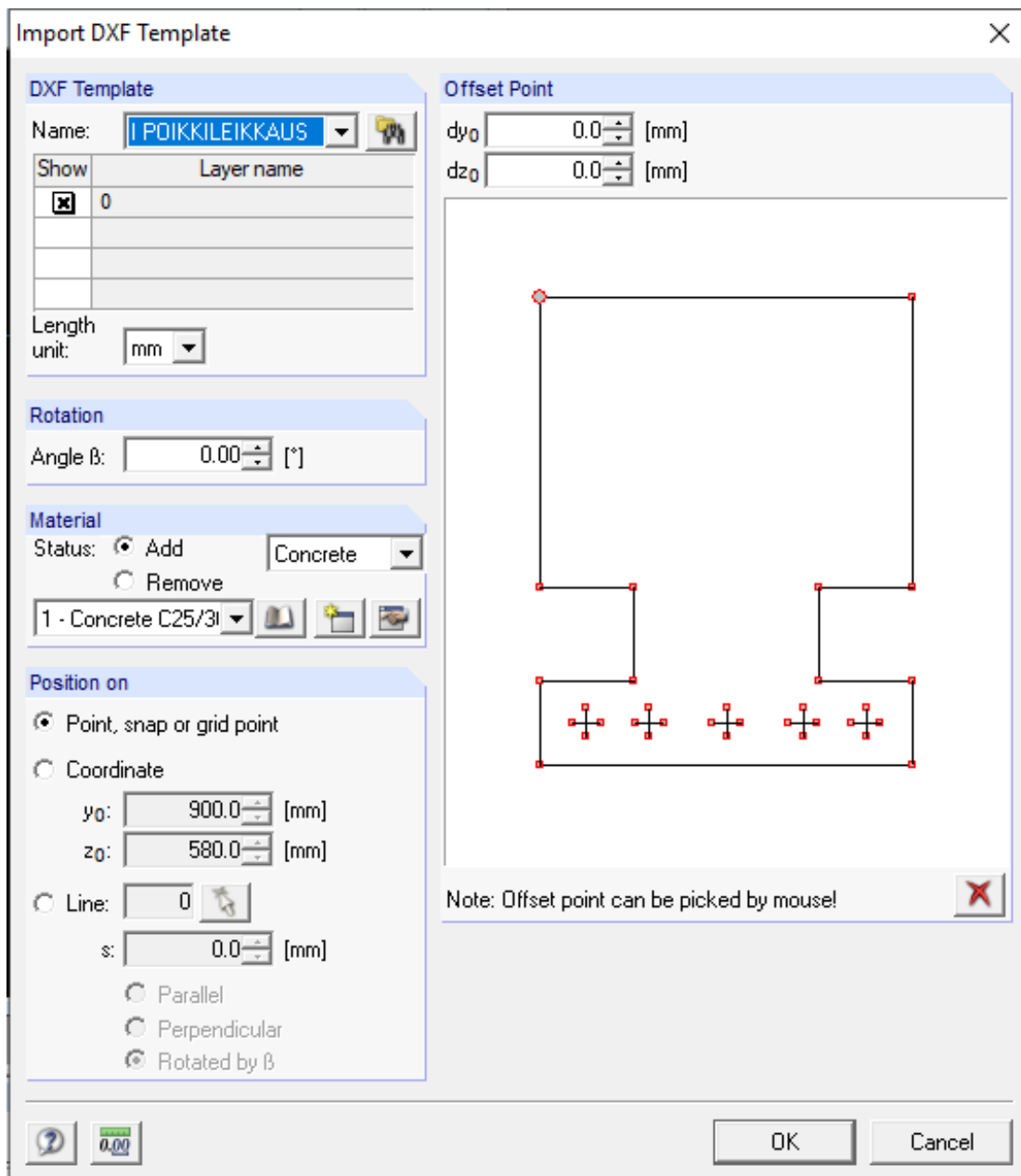
I poikkileikkaus on kuviteltu 490 mm korkeaksi, josta ylempi laippa on 310 mm korkea, alempi laippa 90 mm korkea ja uuma 90 mm korkea. Poikkileikkaus on ylä- ja alaosassa 400mm leveä. Uuman leveys on 200 mm. Raudoitus on toteutettu viidellä (5kpl) $\text{Ø}30$ mm harjateräksillä. Tehollinen korkeus on määritetty 435 mm korkeaksi. Betoniluokka on C25/30.



Kuva 5.3 1 Autocad-ohjelmassa piirretty I-Poikkileikkaus (Autocad-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

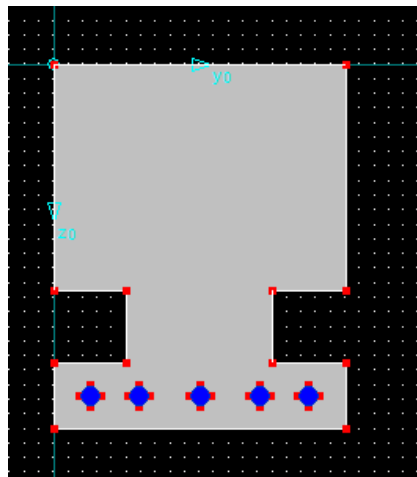
5.3.1 Mitoitus

Laskentakulku ja tapa on sama kuin laskelmissa 5.1 ja 5.2, mutta dxf. tiedosto ja betonin lujuusluokka muuttuu (Kuva 5.3.1 1).



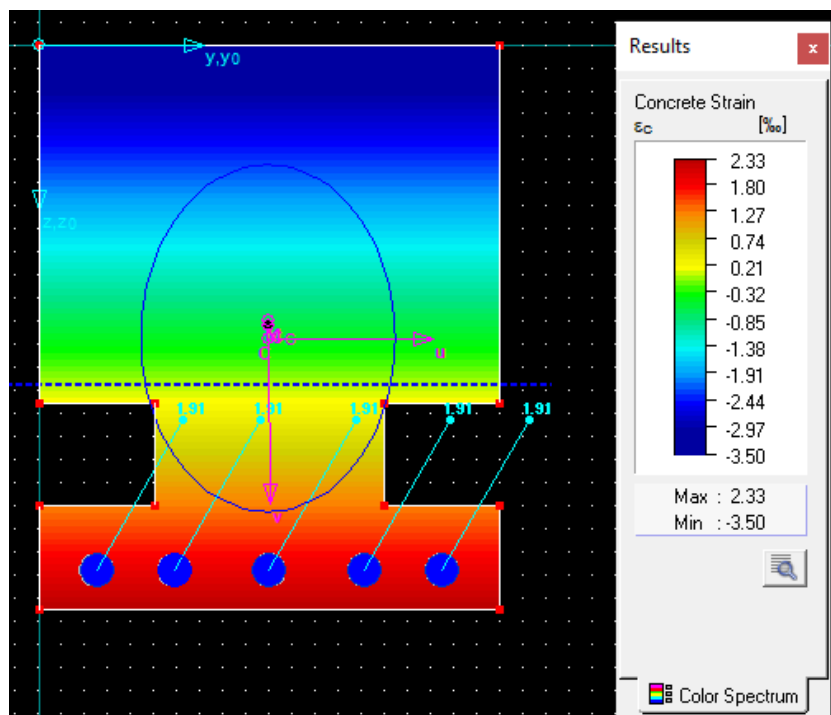
Kuva 5.3.1 1 dxf. tiedoston syöttö I-Poikkileikkauksesta (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Lisätään raudoitus samalla tavalla kuin laskelmassa 5.1 ja 5.2 (Kuva 5.3.1 2):



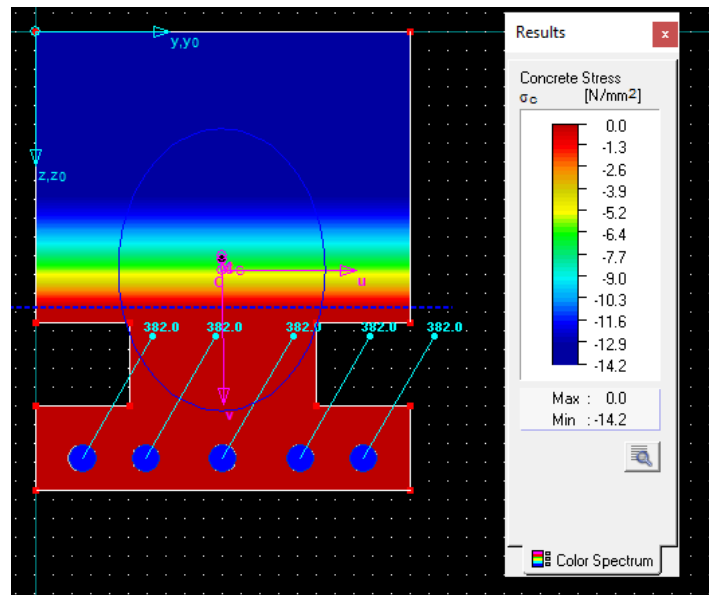
Kuva 5.3.1 2 Raudoitettu poikkileikkaus (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Painamalla “Results” nappia ja valitsemalla ”Surface stretch” ja ”Reinforcement Stretch” (Kuva 5.3.1 3) saadaan näkyviin betonin puristuma ja raudoituksen venymää.



Kuva 5.3.1 3 Betonin puristuma (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja vastaavasti valitsemalla ”Concrete Stress” ja ” Reinforcement Stress” (Kuva 5.3.1 4), saadaan näkyviin betonin ja raudoituksen jännitykset.



Kuva 5.3.1 4 Strains and stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Poikkileikkauksien tulokset löytyvät samalla tavalla kuin esimerkkilaskelma 5.1 ja 5.2.

Poikkileikkauksen ominaisuudet (Kuva 5.3.1 5):

2.1 Ideal Cross-Section Properties (Reference Material: Concrete C25/30)				
Description	Symbol	Value	Unit	
Cross-Sectional Area	A	196765.00	mm ²	
Shear Area Without Transversal Shear	A _{tot}	174466.00	mm ²	
	A _y	139769.00	mm ²	
	A _z	132372.00	mm ²	
Shear Area with Transversal Shear	A _{y,tra}	139769.00	mm ²	
	A _{z,tra}	132372.00	mm ²	
Centroid Position	y _{C,0}	200.00	mm	related to absolute zero
	z _{C,0}	254.97	mm	
Centroid Position (Weight)	y _{C,G,0}	200.00	mm	related to absolute zero
	z _{C,G,0}	242.66	mm	
Moments of Inertia	I _y	4.50069E+09	mm ⁴	around centroidal axes y, z
	I _z	2.41426E+09	mm ⁴	
Centrifugal Moment	I _{yz}	126231.00	mm ⁴	
Inclination of Principal Axes	α	0.0	°	clockwise positive
Polar Moment of Inertia	I _p	6.91496E+09	mm ⁴	
Radii of Gyration	I _y	151.24	mm	related to centroid C
	I _z	110.77	mm	
	I _{yz}	0.80	mm	
Polar Radius of Gyration	I _p	187.47	mm	
Cross-Section Weight	G	463908.00	g/m	
Cross-Section Perimeter	P	21800.00	cm ² /m	
Torsional Constant	I _t	3.05277E+09	mm ⁴	
Location of Shear Center	y _{M,0}	199.52	mm	related to absolute zero
	z _{M,0}	238.90	mm	
	y _M	-0.48	mm	related to centroid C
	z _M	-16.07	mm	
	u _M	-0.48	mm	related to centroid C
	v _M	-16.07	mm	
Warping Constants	I _{ω,C}	2.14582E+13	mm ⁸	
	I _{ω,M}	2.08073E+13	mm ⁸	
Section Moduli	W _{y,max}	19149000.00	mm ³	at distance of 235.0 mm
	W _{y,min}	-17652200.00	mm ³	at distance of -255.0 mm
	W _{z,max}	12071400.00	mm ³	at distance of 200.0 mm
	W _{z,min}	-12071200.00	mm ³	at distance of -200.0 mm
Torsional Section Modulus	W _t	10457900.00	mm ³	
Plastic Section Moduli	W _{y,pl}	17244400.00	mm ³	α _{pl,y} : 0.98
	W _{z,pl}	16720000.00	mm ³	α _{pl,z} : 1.39
Auxiliary Value for Warp Rotation	r _{ω,M}	-0.29	mm	
Stability Parameters	r _{M,u}	1.68	mm	
	r _{M,v}	10.29	mm	

Kuva 5.3.1 5 Section properties (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Betonin puristumat ja jännitykset pistekohtaisesti (Kuva 5.3.1 6):

4.4 Points - Strains and Stresses									
Member No.	Location x [mm]	Point No.	Point Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_c [%o]	Stress σ_c [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	1	400.0	490.0	LC1	1 - Concrete C25/30	2.33	0.0	0.00
		2	0.0	490.0		1 - Concrete C25/30	2.33	0.0	0.00
		3	0.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		4	0.0	0.0		1 - Concrete C25/30	-3.50	-14.2	100.00
		5	400.0	0.0		1 - Concrete C25/30	-3.50	-14.2	100.00
		6	400.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		7	300.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		8	300.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		9	400.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		10	0.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		11	100.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		12	100.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
1	1000.00	1	400.0	490.0	LC1	1 - Concrete C25/30	2.33	0.0	0.00
		2	0.0	490.0		1 - Concrete C25/30	2.33	0.0	0.00
		3	0.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		4	0.0	0.0		1 - Concrete C25/30	-3.50	-14.2	100.00
		5	400.0	0.0		1 - Concrete C25/30	-3.50	-14.2	100.00
		6	400.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		7	300.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		8	300.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		9	400.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00
		10	0.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		11	100.0	310.0		1 - Concrete C25/30	0.19	0.0	0.00
		12	100.0	400.0		1 - Concrete C25/30	1.26	0.0	0.00

Kuva 5.3.1 6 Points-Strains and Stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Raudoituksen venymät ja jännitykset (Kuva 5.3.1 7)

4.5 Reinforcement - Strains and Stresses									
Member No.	Location x [mm]	Reinforcement No.	Reinforcement Coordinates		LC	Material Description	Strain ϵ_s [%o]	Stress σ_s [N/mm ²]	Stress Ratio [%]
			y ₀ [mm]	z ₀ [mm]					
1	0.00	1	50.0	455.0	LC1	1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		2	117.5	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		3	200.0	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		4	282.5	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		5	350.0	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
1	1000.00	1	50.0	455.0	LC1	1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		2	117.5	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		3	200.0	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		4	282.5	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87
		5	350.0	455.0		1 - BSt 500 S (B)	1.91	382.0	87.87

Kuva 5.3.1 7 Strains and stresses (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja turvakerroin saadaan taulukosta (Kuva 5.3.1 8):

4.2 Existing Safety											
LC	Location x [mm]	Safety γ [-]	Angle α_N [°]	Coordinates		Curvatures		Strains			
				y _{0,N} [mm]	z _{0,N} [mm]	k _y [1/m*1000]	k _z [1/m*1000]	ϵ_0 [%o]	ϵ_1 [%o]	ϵ_1 [%o]	ϵ_{2s} [%o]
LC1	0.00	449.05	0.00	0.0	39.4	0.00	11.89	-0.47	-3.50	2.33	1.91
	1000.00	449.05	0.00	0.0	39.4	0.00	11.89	-0.47	-3.50	2.33	1.91

Kuva 5.3.1 8 Safety (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Samalla periaatteella kuin laskelmassa 5.1 ja 5.2, saadaan tulokseksi, että turvakerroin γ on 449.05.

Tällöin saadaan laskettua maksimaalisen momenttikestävyyden poikkileikkaukselle:

$$1kNm \cdot 449.05 = 449.05kNm$$

Voidaan toisin sanoen todeta, että poikkileikkauksen maksimaalinen momenttikestävyys on Shape Massive-ohjelman laskelmien mukaan 449.05kNm

6 Tulosten vertailu

Seuraavassa osiossa tehdään vertailu käsilaskennan ja Shape Massive-ohjelman laskelmien välillä. Käsinlaskennan laskelmat löytyvät työn lopussa nimettynä:

- Liite 4: T-Poikkileikkaus
- Liite 5: Suorakaide Poikkileikkaus
- Liite 6: I poikkileikkaus

Käsinlaskelmissa on vastaavasti käytetty suorakaideparaabeli mitoitusmenetelmää, ja määritetty poikkileikkauksen maksimaalista momenttikestävyyttä.

6.1 T-Poikkileikkaus tulosvertailu

Shape Massive-ohjelmalla saatu momenttikestävyys:	6904,24 kNm
Käsinlaskennassa saatu momenttikestävyys:	6912 kNm
Ero:	7,76 kNm
Ero prosenteissa:	≈0,1%

6.1.1 Analyysi

Laskelmista voidaan todeta, että ne ovat todella lähellä toisiaan. Noin 0,1% ero menetelmien välillä tarkoittaa, että ne ovat miltei identtiset tulokset. Shape Massive-ohjelma antaa hiukan pienemmän maksimaalisen momenttikestävyuden kuin käsinlaskenta.

Shape Massive-tuloksista voidaan nähdä että ”Stress Ratio” on betonissa noin 90-100% jokaisessa pisteessä puristusalueessa, ja raudoituksessa 99,9% kaikissa tangoissa (Kuva 5.1.1 25 ja- 26), joka tarkoittaa, että suhde materiaalimuodonmuutoksien ja jännityksen välillä on hyvin optimoitu.

6.2 Suorakaide poikkileikkauksen tulosvertailu

Shape Massive-ohjelmalla saatu momenttikestävyys:	588.71 kNm
Käsinlaskennassa saatu momenttikestävyys:	589.811 kNm
Ero:	1,101 kNm
Ero prosenteissa:	≈0,2%

6.2.1 Analyysi

Laskelmien ero on samalla tavalla kuin T-Poikkileikkauksessa mitätön. Ero hiukan suurempi, mutta siitä huolimatta vain 0,2%. Jälleen kerran, Shape Massive-ohjelma antaa hiukan pienemmän momenttikestävyyden kuin käsinlaskenta.

Jos tutkii Shape Massive-ohjelman tulostaulukkoja osiota ”Stress Ratio” (Kuva 5.2.1 6 ja -7), voidaan nähdä, että sekä betonin että raudoituksen hyötysuhde on 100%, joka viittaa siihen, että betonin ja raudoituksen suhde on hyvin optimoitu.

6.3 Oma Esimerkki, I poikkileikkaus

Shape Massive-ohjelmalla saatu momenttikestävyys:	449,05 kNm
Käsinlaskennassa saatu momenttikestävyys:	454,326 kNm
Ero:	5,276 kNm
Ero prosenteissa:	≈1%

6.3.1 Analyysi

Laskentamenetelmien ero on hiukan isompi kuin edelliset esimerkkilaskelmat, mutta eron ollessaan vielä ainoastaan noin 1%, ero on vieläkin todella pieni. Jälleen kerran Shape Massive-ohjelman tulos kestävyudessa hiukan pienempi kuin käsinlaskenta.

Tutkiessaan Shape Massive-ohjelman tulostaulukkoja vastaavasti kuin edellisissä laskelmissa (Kuva 5.3.1 6 ja -7), nähdään että betonin ”Stress Ratio” on 100%, mutta raudoituksen vastaava luku on 87,87%. Tämä tarkoittaa, että poikkileikkaus on yliraudoitettu, ja raudoitusta voisi olla vähemmän saavuttaakseen paremman optimoinnin

6.4 Erot menetelmien välillä

Laskettuamme saman poikkileikkauksen sekä perinteisellä käsilaskentamenetelmällä että tietokoneohjelmalla, jossa molemmissa käytetään samaa mitoitustapaa (paraabeli suorakaide jännitys jakaumaa), tulisi tuloksien olla samat.

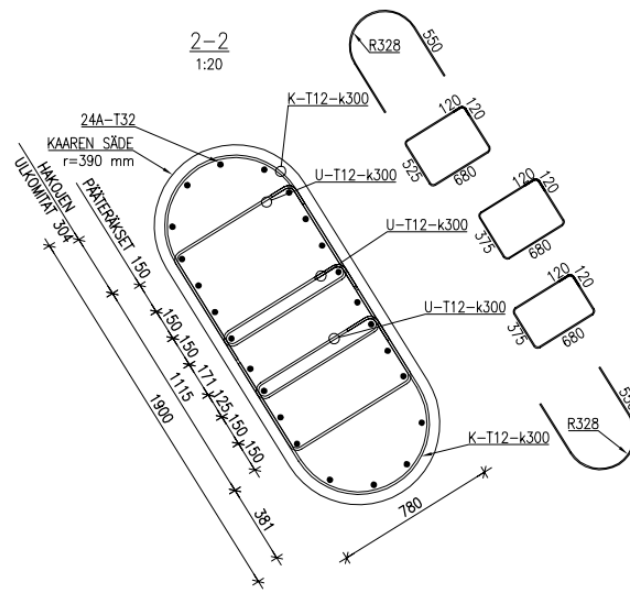
Lopputulokset poikkeavat hyvin vähän toisistaan, kuin suurin poikkeuma oli 1% ero kestävyiden välillä. Yhteistä oli kuitenkin, että kaikki laskelmat poikkesivat toisistaan, vaikkakin hyvin vähän.

Tämä ero Shape Massive-ohjelman ja perinteiseen käsinlaskentaan verrattuna johtuu todennäköisesti siitä, että Shape Massive-ohjelma pyöristää lukemia hieman enemmän konservatiivisesti, joka johtaa hiukan pienempään kestävyteen laskelmissa. Ohjelma siis laskee kestävyiden hiukan alakanttiin, joka käytännössä tarkoittaa, että ohjelmalla saatu hyväksyttävä tulos on perinteisellä menetelmällä laskettu varmasti hyväksyttävä.

Tulostaulukkoja ja varsinkin ”Stress Ratio” saraketta tutkittaessa voidaan helposti optimoida poikkileikkauksen raudoitusta ja betonia, tarvitsematta laskea uudestaan koko poikkileikkausta niin kuin perinteisessä käsilaskennassa joutuisi. Tämä ominaisuus on yksi tärkeimmistä mitä ohjelma tarjoaa suunnittelijan näkökulmasta. Lisäksi laskuvirheitä ei tapahdu, ellei lähtötiedot ovat väärin syötettyjä.

7 Case: Swecon suunnitteleman toimitilarakennuksen runkopilari

Shape Massive-ohjelman käyttö optimoinnissa on erityisen helppo verrattuna perinteiseen käsilaskentaan, mitä voidaan esittää käyttämällä esimerkkinä Swecon suunnittelemaa runkopilaria. Kyseiset pilarit kantavat kokonaista rakennelmaa, ja ovat poikkileikkaukseltaan soikeat, mitoiltaan 1900 mm korkeita ja 780 mm leveitä (Kuva 7 1)



Kuva 7 1

Kuva 7 1 Pilareiden toteutettu periaateraudoituskuva (Sweco Rakennetekniikka Oy)



Kuva 7 2 Pilarin juuresta oleva raudoitus valuvaiheessa. (Kuva: Janne Hanka, Sweco Rakennetekniikka)

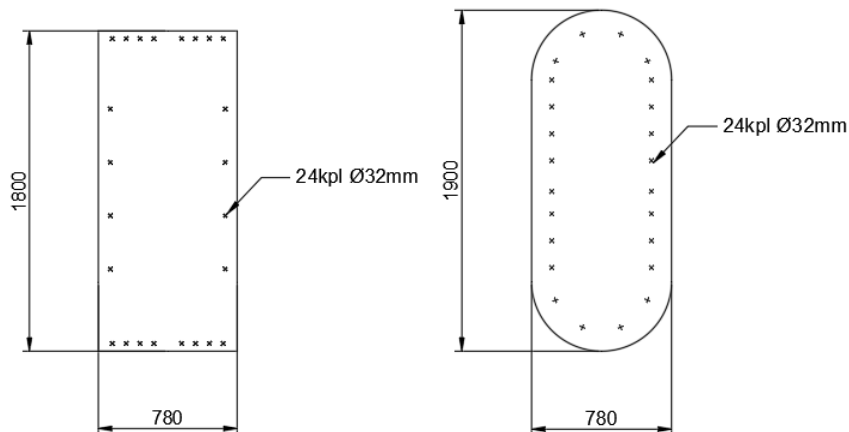


Kuva 7 3 Muotissa oleva pilari valun aikana työmaalla. (Kuva: Janne Hanka, Sweco Rakennetekniikka)

Soikea muoto pilareissa on arkkitehtoninen, ei rakenteellinen, joten kuin niitä on mitoitettu, on päädytty nopeampaan ja helpompaan mitoitustapaan.

Käytännössä pilareita mitoitettiin 1800 mm korkeiksi ja 780 mm leveäksi suorakaiteen muotoiseksi poikkileikkaukseksi, mutta toteutettu käytännössä isoimpana ja soikean muotoisena, käyttäen samaa rauditusperiaatetta kuin mitoitettu suorakaidepilari (Kuva 7 4). Tämän lisäksi vinoon taivutukseen on käytetty Eurokoodin pelkistettyä laskentatapa (SFS-EN 1992-1-1 kaava 5.39)

Tämän myötä pilarit ovat mitoitettu pienemmiksi kuin mitä on toteutettu, minkä vuoksi ne ovat vahvempia kuin mitä rakennelma tarvitsisi, miettien vinoa taivutusta. Syy kyseiseen mitoitusvalintaan on se, että soikean pilarin mitoitus on haastavaa ja aikaa vievää verrattuna suorakaiteen muotoiseen perinteisin keinoin.



Kuva 7 4 Vasemmalla alkuperäisissä laskelmissa käytetty yksinkertaistettu suorakaide poikkileikkaus ja todellisuudessa toteutettu soikea poikkileikkaus (Autocad-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tässä osiossa haluaisin tarkistaa, voisiko rauditusmäärää pienentää, jos käyttäisi pilarin koko poikkileikkauksen hyödyksi laskennassa, ja vinon taivutuksen tarkistus ohjelmalla, joka käyttää tarkempaa mitoitustapa (SFS-EN 1992-1-1 kaava 5.38). Vertailu tehdään murtorajatilassa laskettuna.

Tarkistetaan tarkemmin yhtä pilaria, pilari Nr. 481.

7.1 Alkuperäinen laskenta Ø32

Alkuperäisiin laskelmiin on käytetty SKOL B3 laskentapohjaa (Kuva 7.1 1), ja mitoitusvoimat on tuotu RFEM-mallista laskentapohjaan.

SWECO		Rakennelaskelma, tulos							
VAUTSE YHTIÖ		Tekijä: fielki	Sivu: 2 (3)						
		Päiväys: 21.6.2017							
Rakennuskohde:	Työ no:	Sisältö:	Sijainti:						
		pilari481, tapaus 1: max N ja max MY tapaus 2: min N ja tapaus 3: max MZ							
B3 Kahteen suuntaan taivutettu teräsbetonipilari			Versio 1.51						
Mitoitus Y-Y akselin ympäri									
Ekvivalentin vakiomomentin ja mittaepätarkkuuksien laskenta									
	N_{Ed} [kN]	$M_{0z,Yy}$ [kNm]	$M_{0x,Yy}$ [kNm]	$M_{0y,Yy}$ [kNm]	$M_{1,Yy}$ [kNm]	Huomioi epätarkkuus(ei): Z-Z suunnassa $e_{z,z} = 16,70$ mm			
Tapaus 1	14722	4638	2782,8	245,89					
Tapaus 2	7472	2194	1316,4	124,80					
Tapaus 3	14674	4958	2974,8	245,09					
Tapaus 4	14684	4481	2688,6	245,26					
Taivutusmomentin mitoitusarvon laskenta									
	λ_{Yy}	$\lambda_{Yy} > \lambda_{0n,Yy}$	$M_{0z,Yy}$ [kNm]	$M_{0x,Yy}$ [kNm]	$M_{2,Yy}$ [kNm]	$M_{1,Yy}$ [kNm]	$e_{0,Yy} * N_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed,Yy}$ [kNm]	$M_{Rd,Yy}$ [kNm]
Tapaus 1	51,3	Ei-hoikka	4638	2782,8		245,9	736,1	4883,9	10208,8
Tapaus 2	71,8	Ei-hoikka	2194	1316,4		124,8	373,6	2318,8	9143,3
Tapaus 3	51,4	Ei-hoikka	4958	2974,8		245,1	733,7	5203,1	10207,1
Tapaus 4	51,3	Ei-hoikka	4481	2688,6		245,3	734,2	4726,3	10207,4
Mitoitus Z-Z akselin ympäri									
Ekvivalentin vakiomomentin ja mittaepätarkkuuksien laskenta									
	N_{Ed} [kN]	$M_{0z,Zz}$ [kNm]	$M_{0x,Zz}$ [kNm]	$M_{0y,Zz}$ [kNm]	$M_{1,Zz}$ [kNm]	Huomioi epätarkkuus(ei): Z-Z suunnassa $e_{z,z} = 16,70$ mm			
Tapaus 1	14722	356	213,6						
Tapaus 2	7472	157	94,2						
Tapaus 3	14674	321	192,6						
Tapaus 4	14684	428	256,8						
Taivutusmomentin mitoitusarvon laskenta									
	λ_{Zz}	$\lambda_{Zz} > \lambda_{0n,Zz}$	$M_{0z,Zz}$ [kNm]	$M_{0x,Zz}$ [kNm]	$M_{2,Zz}$ [kNm]	$M_{1,Zz}$ [kNm]	$e_{0,Zz} * N_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed,Zz}$ [kNm]	$M_{Rd,Zz}$ [kNm]
Tapaus 1	40,1	Hoikka	356	213,6	1665,63		333,6987	1879,2	4035,3
Tapaus 2	54,8	Ei-hoikka	157	94,2			169,3653	169,4	3686,3
Tapaus 3	39,4	Hoikka	321	192,6	1663,25		332,6107	1855,8	4037,6
Tapaus 4	41,6	Hoikka	428	256,8	1663,75		332,8373	1920,5	4037,2
Vino taivutus (EC2 kohta 5.8.9(4))									
	N_{Ed} [kN]	N_{Ed}/N_{Rd}	α	$(M_{Ed}/M_{Rd})_{Yy}$	$(M_{Ed}/M_{Rd})_{Zz}$	Kaava 5.39 tulos	Ehto: (5.39) < 1		
Tapaus 1	14722	0,360	1,217	0,478	0,466	0,802	OK		
Tapaus 2	7472	0,183	1,069	0,254	0,046	0,268	OK		
Tapaus 3	14674	0,359	1,216	0,510	0,460	0,829	OK		
Tapaus 4	14684	0,359	1,216	0,463	0,476	0,797	OK		
HUOM! TAMÄ LASKENTAPOHJÄ EI TEE PALOMITOITUSTA! PALOMITOITUS TEHTÄVÄ ERIKSEEN EUROKODI EN-1992-1-2 MUKAAN!									

Kuva 7.1 1 Alkuperäinen laskentatulokset SKOL B3 laskentapohjalla, pilari 481 taivutukselle kahdesta suunnasta. (Sweco Rakennetekniikka)

Tarkistaessaan alkuperästä laskentatietoa pilarista nr.481, (kuva 7.1 1) jolloin nähdään mille kuormituksille pilari on mitoitettu, sekä mitkä käyttöasteet ovat eri kuormatapauksille (merkattu kuvaan 7.1 1 punaisella).

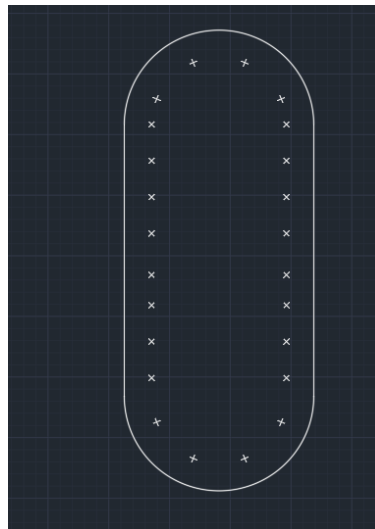
Mitoitus on tehty 11.135m korkealle suorakaiteen muotoiselle pilarille (780 x 1900 mm), ja kuormatapauksiin on otettu huomioon Eurokoodin määräämät toisen kertaluvun momentit ja epätarkkuuksien vaikutukset. (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC luku 5.8). Vinotaivutukseen on käytetty pelkistettyä laskentatapaa (SFS-EN 1992-1-1 +A1 + AC kaava 5.39)

Tuloksista voidaan siis päätellä, että käyttöasteet ovat kaikki alle 1,0 (100%), mikä tarkoittaa, että pilari kestää vinotaivutuksen Ø32 mm raudoituksella käyttämällä pelkistettyä laskentaa.

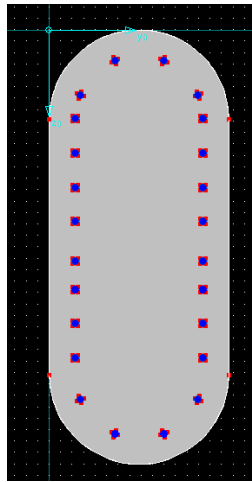
7.2 Shape Massive vertailutarkistus Ø32

Suoritetaan seuraavaksi vertailu käyttäen todellisuudessa toteutetun pilarin geometriaa sekä raudoitusta, mutta käyttäen samoja mitoitusarvoja kuin pienemmän pilarin mitoituksessa.

Samalla tavalla kuin esimerkkilaskelmat 5.1, 5.2 ja 5.3, tehdään dxf. tiedosto raudoitettusta poikkileikkauksesta, raudoitukset sijoitettu oikeisiin kohtiin, ja lisätään se Shape Massive-ohjelmaan, jonka jälkeen sijoitetaan raudoitukset paikoilleen (Kuva 7.2 2 ja 3). Raudoitus on toteutettu periaatekuvan mukaan (Kuva 7 1).



Kuva 7.2 2 AutoCad-ohjelmassa piirretty geometria (Autocad-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)



Kuva 7.2 3 Poikkileikkaus syötetty Shape Massive-ohjelmaan ja Ø32 mm raudoitukset sijoitettu kohdilleen (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Jonka jälkeen lisätään kuormitukset, käyttäen mitoitusarvoja osiosta 7.1:

Tapaus 1:

1.8 Internal Forces								
Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces		Torsional Moment	Bending Moments	
				V_u [kN]	V_v [kN]	M_T [kNm]	M_u [kNm]	M_v [kNm]
1	1	0.00	-14722.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1113.50	-14722.00	0.00	0.00	0.00	4883.90	1879.20

Kuva 7.2 4 “Load Case 1” (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tapaus 2:

1.8 Internal Forces								
Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces		Torsional Moment	Bending Moments	
				V_u [kN]	V_v [kN]	M_T [kNm]	M_u [kNm]	M_v [kNm]
1	1	0.00	-7472.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1113.50	-7472.00	0.00	0.00	0.00	2318.80	169.40

Kuva 7.2 5 Load Case 2 (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tapaus 3:

1.8 Internal Forces								
Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces		Torsional Moment	Bending Moments	
				V_u [kN]	V_v [kN]	M_T [kNm]	M_u [kNm]	M_v [kNm]
1	1	0.00	-14674.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1113.50	-14674.00	0.00	0.00	0.00	5203.10	1855.80

Kuva 7.2 6 Load Case 3 (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Tapaus 4:

1.8 Internal Forces								
Location No.	Member No.	Location x [cm]	Axial Force N [kN]	Shear Forces V_u [kN] V_v [kN]		Torsional Moment M_T [kNm]	Bending Moments M_u [kNm] M_v [kNm]	
1	11	0.00	-14684.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1113.50	-14684.00	0.00	0.00	0.00	4726.30	1920.50

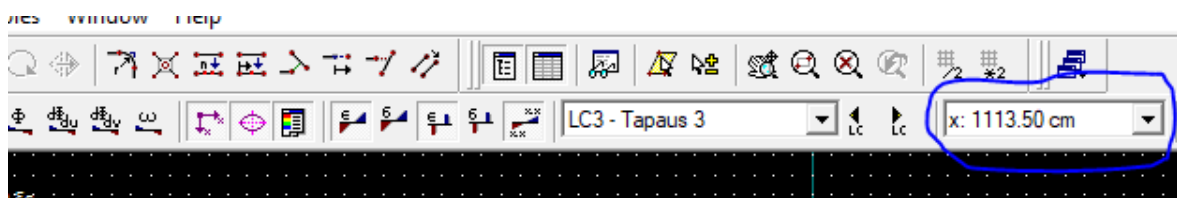
Kuva 7.2 7 Load Case 4 (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

”Results” nappia painamalla ja valitsemalla alalaidasta ”Safety” taulukkoa (Kuva 7.2 8) nähdään turvakertoimet kuormatapauksille.

4.2 Existing Safety											
LC	Location x [cm]	Safety γ [-]	Angle α_N [°]	Coordinates		Curvatures		Strains			
				$y_{0,N}$ [mm]	$z_{0,N}$ [mm]	k_y [1/m*1000]	k_z [1/m*1000]	ϵ_0 [‰]	ϵ_1 [‰]	ϵ_2 [‰]	ϵ_{2s} [‰]
LC1	0.00	3.12	179.47	0.0	-18670.6	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.55	63.65	-199.3	402.3	-3.84	1.90	-0.77	-3.50	1.97	1.49
LC2	0.00	6.14	179.47	0.0	-18670.6	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	3.90	23.21	-1275.1	546.7	-0.98	2.29	-1.25	-3.50	1.00	0.72
LC3	0.00	3.13	179.47	0.0	-18670.6	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.52	62.14	-191.4	362.1	-3.77	1.99	-0.72	-3.50	2.06	1.58
LC4	0.00	3.13	179.47	0.0	-18670.6	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.56	64.69	-197.0	416.6	-3.92	1.85	-0.77	-3.50	1.96	1.47

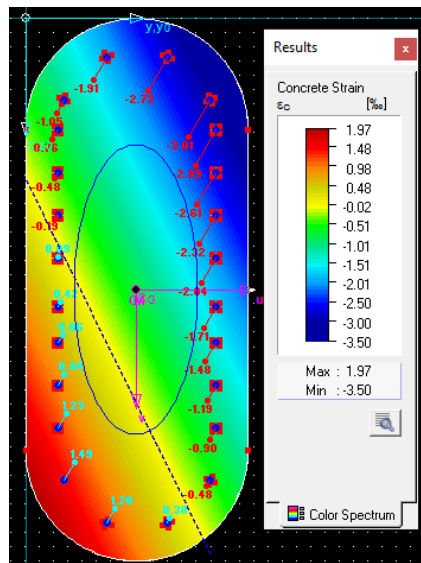
Kuva 7.2 8 Turvakerroin Ø32 mm raudoituksella laskettuna Shape Massive-ohjelmalla (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Suurin vinotaivutus tulee esiintymään pilarin yläpäässä. Tätä voidaan todeta koska γ kertoimet ovat pienempiä yläpäässä kuin alapäässä, joten pitää valita tarkastettava korkeus poikkileikkauksesta (Kuva 7.2 5). Lisäksi voidaan nähdä turvakerrointaulukosta, että tapaus 3 on mitoittava, sillä sen γ kerroin on pienin. Myös pelkistetty laskelma tukee tätä väitettä, sillä sen antama käyttöaste tapaus 3:lle on korkein.



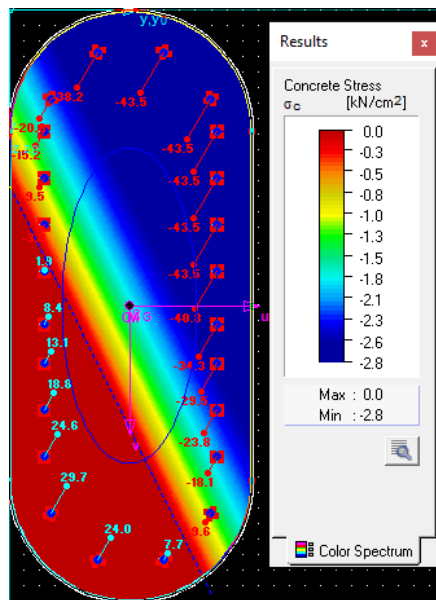
Kuva 7.2 9 Tarkastettavan korkeuden sijainti (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja valitsemalla ”Surface stretch” ja ”Reinforcement Stretch (Kuva 7.2 10) nähdään betonin ja terästen puristumaa ja venymää, sekä poikkileikkauksen neutraaliakselia.



Kuva 7.2 10 Poikkileikkauksen muodonmuutokset (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja vastaavasti valitsemalla ”Concrete Stress” ja ” Reinforcement Stress” (Kuva 7.2 11) nähdään betonin ja terästen jännitykset, sekä poikkileikkauksen neutraaliakselia.



Kuva 7.2 11 Poikkileikkauksen jännitykset (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Voidaan todeta, että pienin γ turvakerroin on yli 1, (Kuva 7.2 8), joten poikkileikkaus kestää annettua kuormitusta ja on turvallinen käyttää.

7.3 Alkuperäinen laskelma pienentyillä teräksillä

Jos haluaisi optimoida kyseistä pilaria, raudoitusta pyrittäisiin pienentämään, vähentääkseen menekkiä käytetystä rakennusmateriaalista. Käyttäen samaa laskentapohjaa kuin alkuperäisessä laskennassa, (Kuva 7.1 1) pienentäen raudoitusta $\varnothing 32 \text{ mm} \rightarrow \varnothing 25 \text{ mm}$, saadaan tulokseksi (Kuva 7.3 1):

Vino taivutus (EC2 kohta 5.8.9(4))							
	N_{Ed} [kN]	N_{Ed}/N_{Rd}	a	$M_{Ed}/M_{Rd,y}$	$M_{Ed}/M_{Rd,z}$	Kaava 5.33 tulos	Ehto: (5.39) < 1
Tapaus 1	14722	0,393	1,244	0,570	0,530	0,950	OK
Tapaus 2	7472	0,199	1,083	0,318	0,315	0,575	OK
Tapaus 3	14674	0,392	1,243	0,607	0,523	0,985	OK
Tapaus 4	14684	0,392	1,243	0,551	0,541	0,943	OK

Kuva 7.3 1 Pienennetty raudoitus $32 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$, SKOL B3 pohjalla kestää (Sweco Rakennetekniikka)

Voidaan todeta, että raudoitus on vielä hyväksyttävä, mutta hyvinkin rajalla, mitoittavan kuormatapauksen käyttöasteen ollessaan 98,5%. Kyseistä pilaria ei todennäköisesti tehtäisi $\varnothing 25 \text{ mm}$ raudoituksella noin korkealla käyttöasteella.

Jos pienentää raudoitusta ennestään $\varnothing 25 \text{ mm} \rightarrow \varnothing 20 \text{ mm}$, saadaan tulokseksi (Kuva 7.3 2):

Vino taivutus (EC2 kohta 5.8.9(4))							
	N_{Ed} [kN]	N_{Ed}/N_{Rd}	a	$M_{Ed}/M_{Rd,y}$	$M_{Ed}/M_{Rd,z}$	Kaava 5.33 tulos	Ehto: (5.39) < 1
Tapaus 1	14722	0,414	1,262	0,639	0,575	1,065	notaivutus liian suuri
Tapaus 2	7472	0,210	1,092	0,372	0,358	0,665	OK
Tapaus 3	14674	0,413	1,261	0,681	0,568	1,106	notaivutus liian suuri
Tapaus 4	14684	0,413	1,261	0,618	0,588	1,057	notaivutus liian suuri

Kuva 7.3 2 Pienennetty raudoitus $25 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ mm}$ SKOL B3 pohjalla, ei kestä (Sweco Rakennetekniikka)

Tuloksien mukaan (Kuva 7.3 2) vino taivutus on pelkistetyllä laskentatavalla liian iso, ja pilarin käyttöaste ylittää 100%. Pilari ei siis näiden tuloksien mukaan kestä $\varnothing 25 \text{ mm}$ raudoituksella.

7.4 Shape Massive vertailutarkistus pienetyillä teräksillä

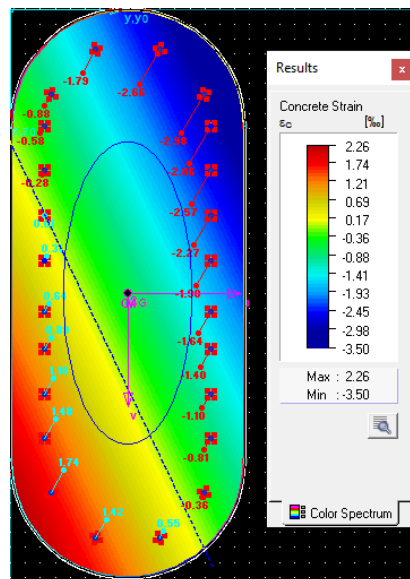
Vertaillaan mikäli Shape Massive-ohjelman tarkempi mitoitus tapa poikkeaa pelkistetyistä pienemmällä raudoitushalkaisijalla

Vaihdettuamme raudoituksen pienemmäksi saadaan tulokseksi (Kuva 7.4 1)

4.2 Existing Safety											
LC	Location x [cm]	Safety γ [-]	Angle α_N [°]	Coordinates		Curvatures		Strains			
				y _{0,N} [mm]	z _{0,N} [mm]	k _y [1/m*1000]	k _z [1/m*1000]	ϵ_0 [%]	ϵ_1 [%]	ϵ_1 [%]	ϵ_{2s} [%]
LC1	0.00	2.80	177.99	-527021.0	-18456.4	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.33	64.46	-150.9	315.8	-4.12	1.97	-0.62	-3.50	2.26	1.75
LC2	0.00	5.52	177.99	-527021.0	-18456.4	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	3.46	24.45	-1132.7	515.0	-1.06	2.33	-1.20	-3.50	1.10	0.82
LC3	0.00	2.81	177.99	-527021.0	-18456.4	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.29	63.03	-139.2	273.6	-4.06	2.07	-0.57	-3.50	2.37	1.86
LC4	0.00	2.81	177.99	-527021.0	-18456.4	0.00	-0.11	-1.99	-2.09	-1.88	-1.90
	1113.50	1.34	65.45	-150.1	328.5	-4.19	1.92	-0.63	-3.50	2.24	1.72

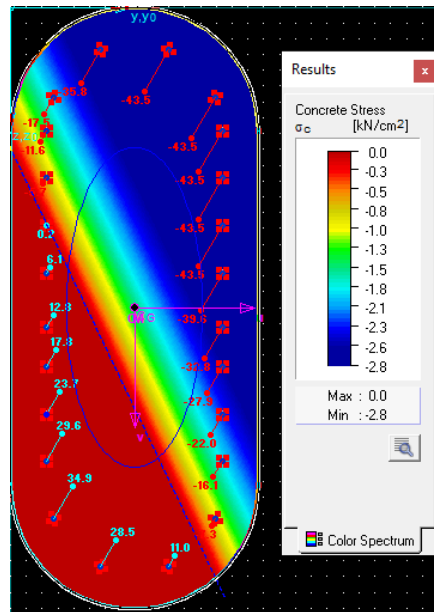
Kuva 7.4 1 Turvakerrointaulukko Ø20 mm teräksillä (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja valitsemalla ”Surface stretch” ja ”Reinforcement Stretch” (Kuva 7.2 2) näemme betonin puristuman ja raudoituksen venymää.



Kuva 7.4 2 Poikkileikkauksen muodonmuutokset (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Ja vastaavasti valitsemalla ”Concrete Stress” ja ”Reinforcement Stress” (Kuva 7.2 3) näemme betonin ja raudoituksen jännitteet.



Kuva 7.4 3 Poikkileikkauksen jännitykset (Shape Massive-ohjelmasta otettu kuvakaappaus)

Voidaan todeta, että poikkileikkauksen turvakerroin γ on pienemmällä teräksillä yli 1.0 (Kuva 7.4 1), joka tarkoittaa, että poikkileikkaus on turvallinen käyttää annetuilla arvoilla.

7.5 Päättelyt ja vertailu

Näiden tuloksien perusteella, yksinkertaistetulla laskentamallilla taivutukselle ei olisi enää onnistunut $\text{Ø}20$ mm raudoituksella, mutta Shape Massive-vertailulaskennan mukaan pilaripoikkileikkaus kestää annettua kuormitusta pienemmällä raudoitusmäärällä. Tähän lopputulokseen olisi ollut vaikea päästä perinteisillä käsilaskentamenetelmillä. Raudoituksen optimointi voi olla hyvinkin haastavaa perinteisellä menetelmällä.

Vinon taivutus on yleensä mitoitettu eurokoodin pelkistetyllä menetelmällä (SFS-EN 1992-1-1 kaava 5.39), mikä on myös tilanne vertailulaskelmassa. Shape Massive-ohjelma on puolestaan laskenut vinon taivutuksen tarkemmalla menetelmällä (SFS-EN 1992-1-1 kaava 5.38), joka on käsilaskentaa tehdessä harvoin käytetty monimutkaisuutensa takia. Tarkempi laskentatapa johtaa luonnollisesti myös tarkempiin tuloksiin.

Toisin sanoen Shape Massive-ohjelma mahdollistaa poikkileikkauksen raudoitusmäärän optimoinnin, sekä vinon taivutuksen tarkistuksen huomattavasti helpommin ja tarkemmin kun mitä perinteiset käsilaskennat ja yksinkertaistetut laskennat pystyvät, laskettuna murtorajatilassa

Käyttämällä Shape Massive-ohjelmaa pilareiden raudoituksen tarkistukseen, voidaan todeta, että pienempi halkaisija raudoituksessa olisi riittänyt kyseisiin pilareihin kestävämpään vinoa taivutusta, kuin mitä yksinkertaistettu laskentatapa osoitti laskettuna murtorajatilassa.

Pitää kuitenkin huomioida, että käytetty isompi raudoitus voi johtua muista rajatiloista, esim. käyttörajatilasta, mitä ei olla tässä esimerkissä vertailtu. Tämä tarkastelu perustuu ainoastaan murtorajatilán tarkasteluihin, ja tulokset ovat vain vertailukelpoisia murtorajatilán osalta.

8 Lopputulokset ja yhteenveto

8.1 Shape Massive-ohjelman hyödyt

Shape Massive on kuten kaikki laskentaohjelmat varma laskelmistaan. Se seuraa valmista ohjelmoitua kaavaa, sekä osaa käyttää olemassa olevia normeja ja säädöksiä tehdessään laskelmia. Laskuvirheiden mahdollisuus on toisin sanoen minimaalinen, ja päivityksien myötä mitoituksen normit ja säädökset, niin kuin esimerkiksi eurokoodit, ovat aina ajan tasalla. Tällä tavoin voidaan välttää, että epähuomiossa noudatetaan vanhoja normeja, mikä on helposti mahdollista käsilaskelmissa. Lisäksi poikkileikkauksen geometrian sekä raudoituksen syöttö graafisesti ohjelmaan auttaa ja helpottaa käyttäjiä laskelmien tekemisessä.

Tässä työssä on todistettu, että ohjelmisto pystyy laskemaan vaativia laskelmia, joita suunnittelija ei normaalisti tekisi, koska ne ovat vaativia ja vievät liikaa aikaa. Ohjelma käyttää mitoituksessa tarkimpia mahdollisia materiaalimalleja, joten ylimitoituksen vaara on pieni. Shape Massive-ohjelmaa käyttämällä voidaan helposti optimoida poikkileikkauksen raudoitukset sekä betonin lujuus. Optimointi onnistuu helposti, kun vaihtaa pelkästään poikkileikkauksen koon tai materiaalien ominaisuudet laskematta koko laskelmaa uudestaan sen takia.

Suurimpana hyötynä ohjelmalla laskemisessa on vaativien käsilaskelmien pois jättäminen, sekä se että poikkileikkaus voi olla minkä muotoinen tahansa. Ohjelman avulla voidaan mitoittaa täysin vapaamuotoisia poikkileikkauksia, ilman että se veisi kohtuuttomasti aikaa, niin kuin käsilaskennan kanssa mitoitus veisi.

8.2 Shape Massive-ohjelman heikkoudet

Shape Massive-ohjelman suurin heikkous on käyttäjävirheet. Jos kaikki tiedot on syötetty ohjelmaan oikein, laskuvirheiden mahdollisuus on minimaalinen, sillä kaikki laskelmat seuraavat samaa kaavaa, ja ohjelma ei tee inhimillisiä virheitä niin kuin käsilaskentaa tehdessä voi sattua. Laskuvirheet tapahtuvat silloin ainoastaan, mikäli ohjelmoinnissa on vika.

Vaikka ohjelma ei ole monimutkainen käyttää, virhesyöttöjen mahdollisuus on kuitenkin suuri. Etenkin poikkileikkauksen geometrian määrittäminen ja raudoitusten sijoitus ovat heikkoja kohtia, sillä jos ne poikkeavat halutusta, lopputulos voi vaihdella huomattavasti,

etenkin vetoteräksien sijoitus poikkileikkauksessa. Muita osa-alueita, jossa virhesyöttöjä voi helposti esiintyä, on myös materiaalien lujuusluokkien määrittäminen, sekä sisäisten voimien syöttö ohjelmaan oikein, niin että tulokset näkyvät oikein. Tämä vaatii harjoittelua ja ohjelman ymmärtämistä, jotta syöttövirheistä vältyttäisiin.

8.3 Yhteenveto

Shape Massive on oiva apulainen poikkileikkauksien mitoituksessa, sillä se pystyy laskemaan vaikeat laskelmat helposti ja varmasti, ja ottamaan huomioon asioita, jotka ihminen saattaa unohtaa. Tietoja syötettäessä ohjelmaan pitää olla erityisen tarkka siitä, että ne ovat oikein syötetty.

Kokeneelle suunnittelijalle, jolla on kokemusta laskentaohjelmien käytöstä, ohjelmasta on paljon iloa sen helppokäyttöisyytensä ansiosta, sekä laskennan nopeuttamisen takia.

Ohjelma on myös hyvä kokemattomalle käyttäjälle samoista syistä, mutta käyttäjän pitää perehtyä kunnolla siihen, miten ohjelmaa käytetään ennen sen aloittamista, sekä perehtyä ohjelman taustalla olevaan teoriaan ymmärtäkseen ohjelman toiminnan parhaiten.

Vapaamuotoisen poikkileikkauksen mitoitus on haastava tehtävä jokaiselle suunnittelijalle, mutta tämän ohjelman ansiosta se onnistuu huomattavasti nopeammin, varmemmin ja optimoidummin kun pelkistetyt laskelmat, ja perinteisin käsinlaskenta-keinoin.

Lähteet

Dlubal. (2019), Shape-Massive (Haettu 1.2.2020)

(<https://www.dlubal.com/en/products/cross-section-properties-software/shape-massive>)

Hanka J. (2017), *Reinforced Concrete Structures*, opetusmateriaali, Aalto yliopisto Insinöörیتieteiden korkeakoulu.

Hendy C.R. & Smith D.A. (2007), *Designer's Guide to EN 1992-2, Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges*. Lontoo: Thomas Telford Publishing

Leskelä M. (2008), by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y. (Kuvat lainattu työhön betoniyhdistyksen luvalla.)

Puttonen J. (2017), *Teräsbetonirakenteet, talorakennustekniikka, opetusmateriaali*, Aalto yliopisto Insinöörیتieteiden korkeakoulu.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 +AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki 2015. Suomen Standardisoimisliitto SFS. (Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n luvalla)

Sweco Rakennetekniikka, (2019-2020), sisäiset projektitiedot ja projektiin liittyvät materiaalit.

Liite 2: Raudoitusterästen materiaaliominaisuudet

(SFS-EN 1992-1-1 A1 + AC, Taulukko C.1)

Tuotteen muoto		Suorat ja oikaistut tangot			Verkkoraudoitteet			Vaatus tai kvantiiliarvo (%)
Luokka		A	B	C	A	B	C	–
Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk} tai $f_{0,2k}$ (MPa)		400...600						5,0
Suhteen $k = (f_t/f_y)_k$ vähimmäisarvo		$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$	10,0
Suhteen $k = (f_t/f_y)_k$ enimmäisarvo ¹⁾				$< 1,35$			$< 1,35$	
Suurinta voimaa vastaavan venymän ominaisarvo ϵ_{uk} (%)		$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Taivutettavuus		Taivutuksen/ takaisintaivutuksen koe			–			
Leikkauslujuus		–			AC> 0,25 A f_{yk} (A on langan poikkileikkausala) <AC			Minimi
Suurin poikkeama nimellismassasta (yksittäinen tanko tai lanka) (%)	Tangon nimelliskoko (mm)							5,0
	≤ 8							
	> 8	$\pm 4,5$						

Liite 3, Teräksen Materiaalimalli

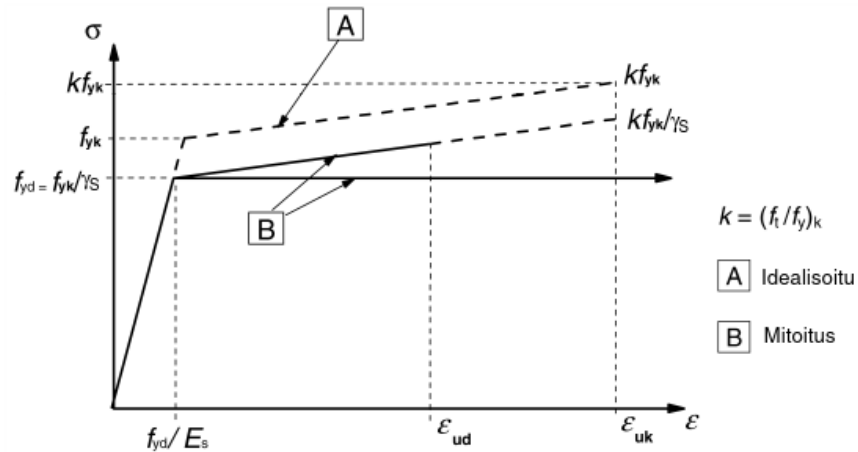
(SFS-EN 1992-1-1 A1 + AC, kuva 3.8)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFSSFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC
41

(2) Jännitys-venymäyhteyden mallina voidaan käyttää jompaakumpaa seuraavista (ks. kuvaa 3.8):

a) nouseva jännitys muodonmuutoksen sallittuun ylärajaan ϵ_{ud} saakka. Jännitys määritetään kuvan 3.8 suorasta, jossa muodonmuutosta ϵ_{uk} vastaa jännitys kf_{yk}/γ_S , missä $k = (f_t/f_y)_k$

b) myötörajan saavuttamisen jälkeen jännitys pysyy vakiona, jolloin muodonmuutoksen suuruutta ei tarvitse rajoittaa.

HUOM. 1 Kussakin maassa käytettävä muodonmuutoksen yläraja-arvo ϵ_{ud} voidaan esittää kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on $0,9 \epsilon_{uk}$.HUOM. 2 Lujuussuhteen $(f_t/f_y)_k$ arvo esitetään liitteessä C.

Kuva 3.8 Betoniteräksen idealisoitu jännitys-venymäkuvaaja ja mitoituskuvaajat (veto- ja puristusjännitystilat)

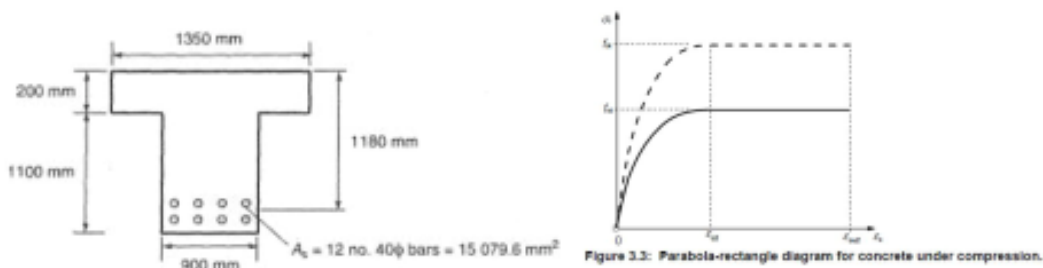
(3) Keskimääräiseksi tiheydeksi oletetaan $7\,850 \text{ kg/m}^3$.(4) Kimmokertoimen E_s mitoitusarvoksi oletetaan 200 GPa .

Liite 4 T-Poikkileikkaus (1/2)

(Designers Guide to EN1992-2-Design of concrete bridges)

Poikkileikkauksen maksimaalisen
momenttikestävyyden määrittäminen.
T-Poikkileikkaus

Lähde: Designers guide to EN1992-2-Design of concrete bridges
Worked example 6.1-4: Flanged reinforced concrete beam, 115-117

Lähtötiedot:Korkeus: $h_{w1} = 1100 \text{ mm}$ Korkeus: $h_{w2} = 200 \text{ mm}$ Leveys: $b_{w1} = 900 \text{ mm}$ Leveys: $b_{w2} = 1350 \text{ mm}$ $\Phi = 40 \text{ mm}$ $\gamma_c = 1,5$ $\gamma_s = 1,15$ $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $E_s = 200 \text{ GPa}$ $\alpha_{cc} = 0,85$ $x = 331 \text{ mm}$ $z_1 = 0,358$

(Arvattu)

(Paraabelin geometrian mukaan laskettu kerroin tähän poikkileikkaukseen)

 $A_s = 15079.6 \text{ mm}^2$ $d_{bot} = 1180 \text{ mm}$ $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ $f_{cd} = 19,833 \text{ MPa}$

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

 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

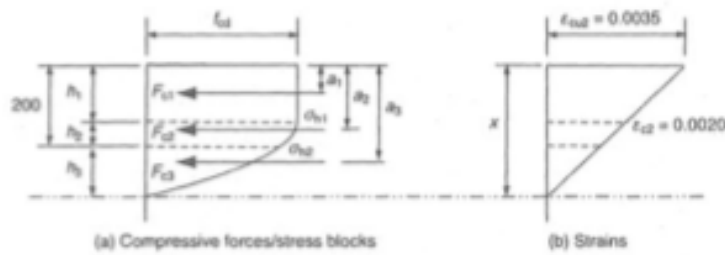
$$(f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s})$$

 $\varepsilon_{cu2} = 0,35\%$ $\varepsilon_{s2} = 0,2\%$

(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

Liite 4 T-Poikkileikkaus (2/2)

Laskelmat:

$$h_1 = \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2}}\right) \cdot x$$

$$h_1 = 141.9 \text{ mm}$$

$$h_2 = h_{w2} - h_1$$

$$h_2 = 58.1 \text{ mm}$$

$$h_3 = x - h_{w2}$$

$$h_3 = 131 \text{ mm}$$

$$a_1 = \frac{h_1}{2}$$

$$a_1 = 70.95 \text{ mm}$$

$$a_2 = h_1 + \frac{3}{8} \cdot h_2$$

$$a_2 = 163.69 \text{ mm}$$

$$a_3 = h_1 + h_2 + z_1$$

$$a_3 = 246.9 \text{ mm}$$

$$\sigma_{h1} = f_{cd}$$

$$\sigma_{h1} = 19.833 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{h2} = f_{cd} \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{\left(1 - \frac{h_{w2}}{x}\right) \cdot \varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2}}\right)^2\right)$$

$$\sigma_{h2} = 17.959 \text{ MPa}$$

$$F_{c1} = (f_{cd} \cdot b_{w2} \cdot h_1) \cdot 10^{-3}$$

$$F_{c1} = 3799 \text{ kN}$$

$$F_{c2} = \left(\left(\frac{2}{3} \cdot (\sigma_{h1} - \sigma_{h2}) + \sigma_{h2}\right) \cdot b_{w2} \cdot h_2\right) \cdot 10^{-3}$$

$$F_{c2} = 1507 \text{ kN}$$

$$F_{c3} = \left(\left(\frac{2}{3} \cdot \sigma_{h1} \cdot (h_2 + h_3)\right) - \left(\frac{2}{3} \cdot (\sigma_{h1} - \sigma_{h2}) + \sigma_{h2}\right) \cdot b_{w1}\right) \cdot 10^{-3}$$

$$F_{c3} = 1246 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_c = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3}$$

$$F_c = 6552 \text{ kN}$$

$$F_s = f_{yd} \cdot A_s$$

$$F_s = 6556.3 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = (F_s \cdot d - F_{c1} \cdot a_1 - F_{c2} \cdot a_2 - F_{c3} \cdot a_3) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{Rd} = 6912 \text{ kNm}$$

Liite 5 Suorakaide poikkileikkaus (1/3)

(Opetusmateriaali kurssille CIV-E4040, Reinforced Concrete Structures, Aalto Yliopisto, Janne Hanka)

Poikkileikkauksen maksimaalisen
momenttikestävyyden määrittäminen.
Suorakaide-Poikkileikkaus

Lähde: Opintomateriaali, CIV-E4040, Reinforced concrete structures
2017, HW02, Janne Hanka

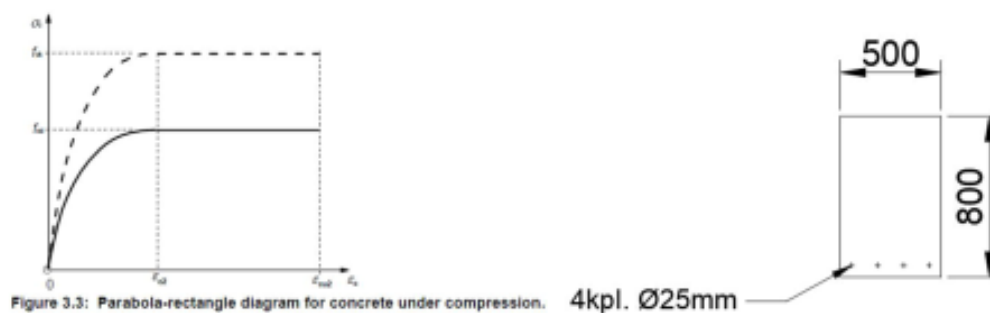


Figure 3.3: Parabola-rectangle diagram for concrete under compression. 4kpl. Ø25mm

Lähtötiedot:

Korkeus: $h_w = 800 \text{ mm}$

Leveys: $b_w = 500 \text{ mm}$

$\Phi_h = 10 \text{ mm}$

$\Phi = 25 \text{ mm}$

$\gamma_c = 1,5$

$\gamma_s = 1,15$

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$E_s = 200 \text{ GPa}$

$\alpha_{cc} = 0,85$

$A_s = 1963 \text{ mm}^2$

$d_{bot} = 742,5 \text{ mm}$

$$(d_{bot} = h_w - c_{nom} - \Phi_h - \frac{\Phi}{2})$$

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$

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

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

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

$\varepsilon_{cu2} = 0,35\%$

$\varepsilon_{c2} = 0,2\%$

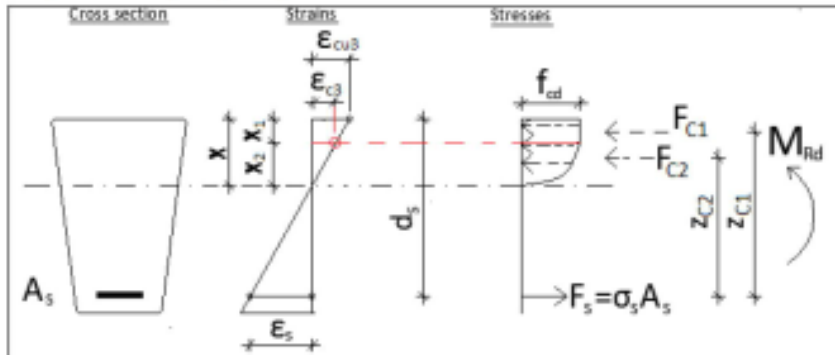
(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

Liite 5 Suorakaide poikkileikkaus (2/3)

Laskelmat:

Bending moment capacity using Parabolic stress-strain curve the concrete.



Neutraaliakselin syvyys (x)
kaavan määrittäminen:

$$x_1 + x_2 = x \text{ solve, } x_1 \rightarrow x - x_2$$

$$\frac{x_2}{\varepsilon_{c2}} = \frac{x}{\varepsilon_{cu2}} \text{ solve, } x_2 \rightarrow \frac{(\varepsilon_{c2} \cdot x)}{\varepsilon_{cu2}}$$

$$F_C = b_w \cdot x_1 \cdot f_{cd} + b_w \cdot f_{cd} \cdot \frac{2}{3} \cdot x_2$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x_1 + \frac{2}{3} \cdot x_2 \right)$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - x_2 + \frac{2}{3} \cdot x_2 \right) = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} x_2 \right) = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cu2}} \right)$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cu2}} \right)$$

$$F_S - F_C = 0$$

$$A_s \cdot f_{yd} - b_w \cdot f_{cd} \cdot x \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2}} \right) = 0$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2}} \right)}$$

$$x = 124.066 \text{ mm}$$

Liite 5 Suorakaide poikkileikkaus (3/3)

$$x_1 = x - \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cu2}}$$

$$x_1 = 53.171 \text{ mm}$$

$$F_{C1} = b_w \cdot f_{cd} \cdot x_1$$

$$F_{C1} = 451.955 \text{ kN}$$

$$z_{C1} = d_{bot} - \frac{x_1}{2}$$

$$z_{C1} = 715.914 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cu2}}$$

$$x_2 = 70.895 \text{ mm}$$

$$F_{C2} = b_w \cdot f_{cd} \cdot \frac{2}{3} x_2$$

$$F_{C1} = 401.738 \text{ kN}$$

$$z_{C2} = d_{bot} - x_1 - \frac{3}{8} \cdot x_2$$

$$z_{C1} = 662.743 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = F_{C1} \cdot z_{C1} + F_{C2} \cdot z_{C2}$$

$$M_{Rd} = 589.811 \text{ kNm}$$

Liite 6: I-poikkileikkaus (1/3)

(Oma poikkileikkaus, Niklas Nordström)

Poikkileikkauksen maksimaalisen
momenttikestävyyden määrittäminen.
Suorakaide-Poikkileikkaus

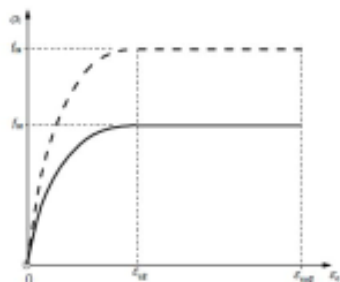
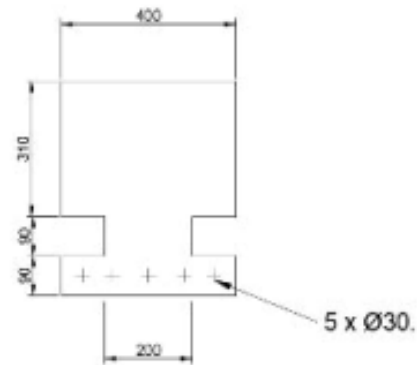


Figure 3.3: Parabola-rectangle diagram for concrete under compression.

Lähtötiedot:Korkeus: $h_w = 500 \text{ mm}$ Leveys: $b_{w1} = 400 \text{ mm}$ Leveys: $b_{w2} = 200 \text{ mm}$ $\Phi_h = 10 \text{ mm}$ $\Phi = 30 \text{ mm}$ $\gamma_c = 1,5$ $\gamma_s = 1,15$ $c_{nom} = 30 \text{ mm}$ $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $E_s = 200 \text{ GPa}$ $\alpha_{cc} = 0,85$ $A_s = 3534,29 \text{ mm}^2$ $d_{bot} = 435 \text{ mm}$

$$(d_{bot} = h_w - c_{nom} - \Phi_h - \frac{\Phi}{2})$$

 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{cd} = 14.1667 \text{ MPa}$

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

 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ $f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$

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

 $\varepsilon_{cu2} = 0,35\%$

(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

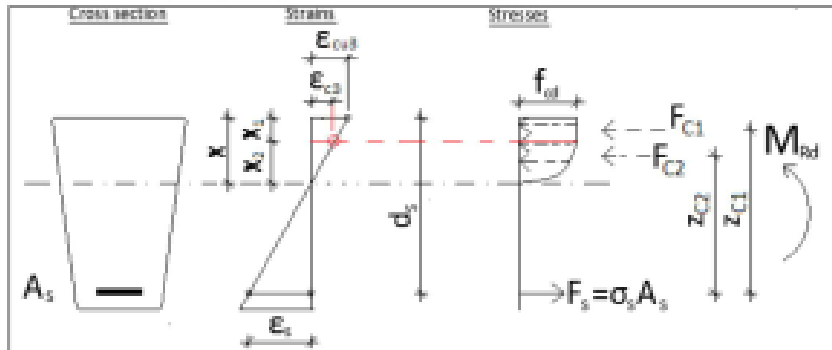
 $\varepsilon_{c2} = 0,2\%$

(SFS-EN 1992-1-1 +A1+AC, taulukko 3.1, 30)

Liite 6: I-poikkileikkaus (2/3)

Laskelmat:

Bending moment capacity using Parabolic stress-strain curve the concrete.



Neutraaliakselin syvyys (x)
kaavan määrittäminen:

$$x_1 + x_2 = x \text{ solve, } x_1 \rightarrow x - x_2$$

$$\frac{x_2}{\epsilon_{c2}} = \frac{x}{\epsilon_{cu2}} \text{ solve, } x_2 \rightarrow \frac{(\epsilon_{c2} \cdot x)}{\epsilon_{cu2}}$$

$$F_C = b_w \cdot x_1 \cdot f_{cd} + b_w \cdot f_{cd} \cdot \frac{2}{3} \cdot x_2$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x_1 + \frac{2}{3} \cdot x_2 \right)$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - x_2 + \frac{2}{3} \cdot x_2 \right) = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} x_2 \right) = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon_{c2} \cdot x}{\epsilon_{cu2}} \right)$$

$$F_C = b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(x - \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon_{c2} \cdot x}{\epsilon_{cu2}} \right)$$

$$F_S - F_C = 0$$

→

$$A_s \cdot f_{yd} - b_w \cdot f_{cd} \cdot x \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{cu2}} \right) = 0$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b_w \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{cu2}} \right)}$$

$$x = 334.978 \text{ mm}$$

Liite 6: I-poikkileikkaus (3/3)

$$x_1 = x - \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cs2}}$$

$$x_1 = 143.562 \text{ mm}$$

$$F_{C1} = b_w \cdot f_{cd} \cdot x_1$$

$$F_{C1} = 813.520 \text{ kN}$$

$$z_{C1} = d_{tot} - \frac{x_1}{2}$$

$$z_{C1} = 363.219 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{\varepsilon_{c2} \cdot x}{\varepsilon_{cs2}}$$

$$x_2 = 191.416 \text{ mm}$$

$$F_{C2} = b_w \cdot f_{cd} \cdot \frac{2}{3} x_2$$

$$F_{C1} = 723.129 \text{ kN}$$

$$z_{C2} = d_{tot} - x_1 - \frac{3}{8} x_2$$

$$z_{C1} = 219.657 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = F_{C1} \cdot z_{C1} + F_{C2} \cdot z_{C2}$$

$$M_{Rd} = 454.326 \text{ kNm}$$

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (1/7)

Kysymykset ja Vastaukset

(Lyhennetty ja käännetty englannista suomeksi alkuperäisistä sähköposteista)

K: Pystyykö ohjelma laskemaan poikkileikkauksen maksimaalista momenttikestävyyttä raudoitettulle betonipoikkileikkaukselle?

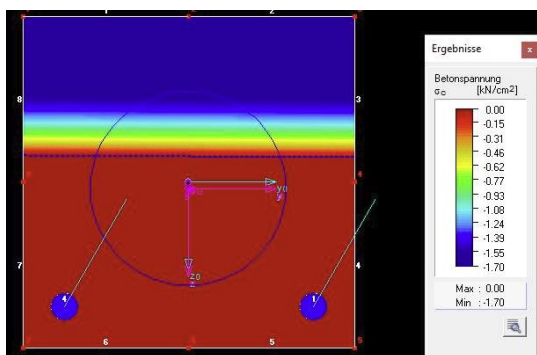
V: Ei pysty suoraan näyttämään maksimaalista momenttikestävyyttä

K: Onko mahdollista analysoida raudoitettu betonipoikkileikkaus lisäämättä kuormitusta ohjelmassa?

V: Ei, jos on kyseessä raudoitettu betoni poikkileikkaus, kuormaa on aina lisättävä.

K: Käyttääkö ohjelma Suorakaide-paraabeli materiaalimallia laskiessaan poikkileikkausta?

V: Kyllä, se näkyy parhaiten betonin jännitystuloksissa (kuvakaappaus)



K: Miten seuraavat vaihtoehdot poikkeavat toisistaan kuin määrittää minkälaista mitoitus on tekemässä raudoitettulle betonipoikkileikkaukselle: "Strain stress diagram", "Existing safety" ja "design"?

V: "Strain stress diagram": Määritetään poikkileikkaus ja rauditus + sisäiset voimat. Ohjelma laskee jännityksen ja muodonmuutoksen betonissa ja teräksissä.

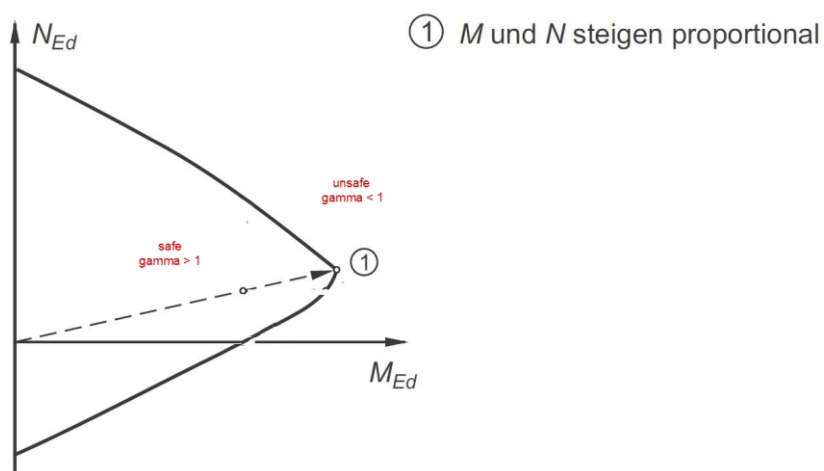
"Existing safety": Sama kuin edellinen, mutta lisäksi ohjelma laskee turvakertoimen sisäisille voimille ja rauditukselle.

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (2/7)

”Design”: Määritetään poikkileikkaus ja minimi ja maksimi koko raudoitukselle (\emptyset), sekä sisäiset voimat. Ohjelma mitoittaa raudoituksen määrää kunnes edellä mainittu turvakerroin on 1.0

K: Jos valitsee mitoittavaksi ”Existing safety”, tuloksissa näkyy ”safety” osio. Voiko siellä mainittu turvakerroin kertoa MRd arvolla saadakseen maksimaalisen momenttikestävyyden?

V: Kyllä, jos ainoa sisäinen voima on MRd. Jos sisäiset voimat ovat $M + N$, alla oleva kaava kuvaa turvakerrointa (Kuvakaappaus)



K: Kun valitsee ”Concrete design” ohjelmassa, on vaihtoehto olemassa osiolla ”steel strain limitation”. Mitä tämä tarkoittaa?

V: Se osio perustuu eurokoodiin SFS EN 1992-1-1 luku 3.2.7

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (3/7)

Hello,

I am an engineering student writing on my bachelor's thesis, about freeform reinforced concrete cross sections and it involves using your shape massive software.

I am new to these kinds of software, and would greatly appreciate if you could answer a few questions that I have about the software.

- Is it possible for the software to calculate the maximum moment of resistance in the reinforced concrete section, and if so, how do I find that information?
- Is it possible to analyze reinforced concrete cross sections without the design/loads? I can't seem to find the reinforcing steel in the material library if I choose "cross section properties only", but it's there when I choose "with design". And the software won't let me add reinforcement unless I'm in the design mode.

These are my main concerns at the moment regarding the software, but if you have any tips or "good to knows" all information is welcome.

Kind regards:
Niklas Nordström

Kuva 1 Kysymys liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Hello Niklas,

thank you for sending your request.

Unfortunately, both questions are to answer with no.

We do not display some moment of resistance and also you need always loads to get a reinforcement.

Best Regards,



Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Customer Support Manager

Dlubal Software GmbH
Am Zellweg 2, 93464 Tiefenbach, Germany
Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51

www.dlubal.de
support@dlubal.com

Handelsregister: Amtsgericht Regensburg, HRB 4807
Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Georg Dlubal
USt-IdNr.: DE133702898

Kuva 2 Vastaus liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (4/7)

Hello!

I am a construction engineer student on my final year of studies, and I am writing my bachelor-Thesis about free formed reinforced concrete cross sections, and focusing on bent beams. The main idea is to compare hand calculations, to that of using calculation programs like Shape massive.

After trying out the program I noticed that It can't give me the section properties unless it ha a load case, and that it also can not calculate a maximum sagging moment for the cross section. I was in contact with you regarding this in december and you confirmed it to be true.

That being said, I still have some questions about the software, that would be of great help when introducing and when using the program:

- 1.Does shape massive use the parabola-rectangle diagram as a base when calculating reinforced concrete-cross sections, or does it use the simpler versions like the bi-linear one, or the rectangular stress block?
- 2.When selecting reinforced concrete design under general data, the concrete design tab opens where you can chose the correct standard of code etc. How do the calculations differ when selecting "type of design"? The options being "Strain stress diagram", "Existing safety" and "design".
- 3.My supervisor for the thesis noticed the tab "safety" under results when having the "existing safety" option selected. He believed the result was a factor that you can multiply with M_{ed} , and thus get the MRd. Is that what it is?

Thank you in advance for the help!

Kind regards: Niklas Nordström
Ystävällisin terveisin Niklas Nordström

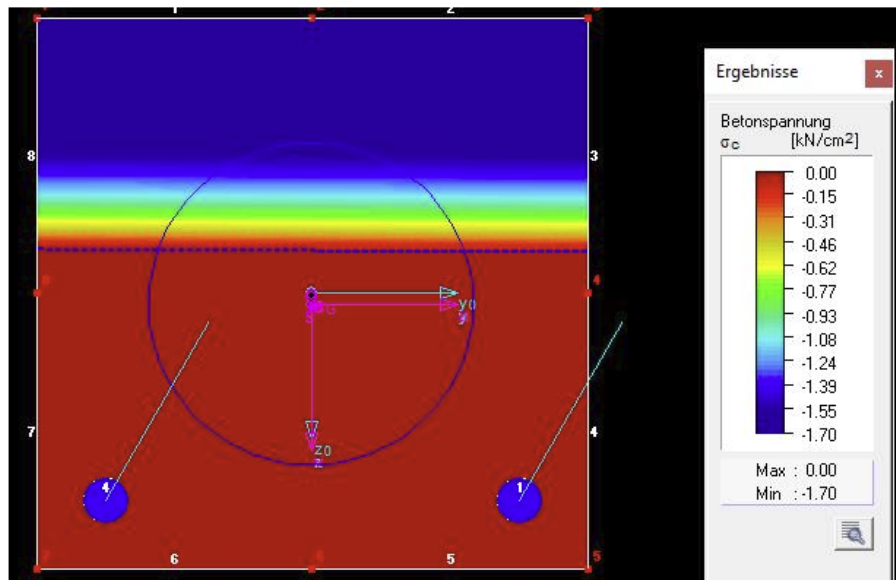
Kuva 3 Kysymys liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (5/7)

Hello Niklas,

thank you for sending your request.

To 1.) Shape massive is using the parabola-rectangle diagram. You can see it in the stress distribution in the screenshot below (stress in the concrete)



To 2.) First option: You define a cross-section and a reinforcement + internal forces. Shape massive calculates the stresses in concrete and reinforcement and also the strains.

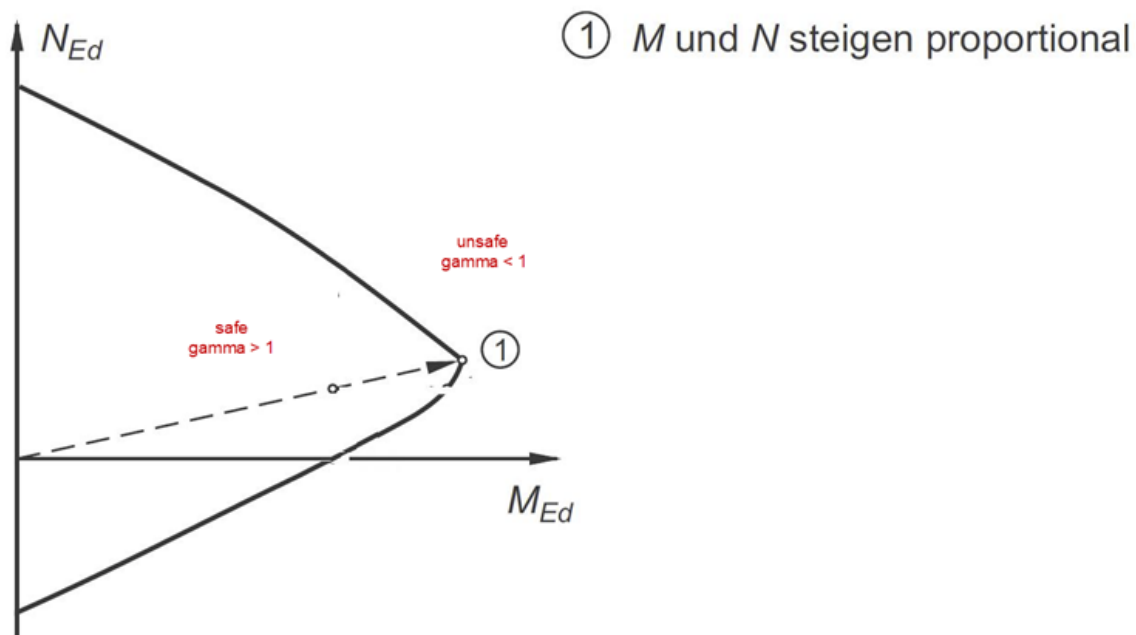
Second option: You define a cross-section and a reinforcement + internal forces. Shape massive calculates the stresses in concrete and reinforcement and also the strains. On top you get the current safety factor under the existing internal forces + existing reinforcement.

Third option: You define a cross-section, min d and max d for reinforcement + internal forces. Shape massive does a design where it is increasing the reinforcement until safety factor = 1,0

Kuva 4 Vastaus 1/2 liittyy ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (6/7)

To 3.) If you have only one internal force (M_{Ed}) then safety factor $\times M_{Ed} = MR_{d}$. If you have $M+N$ then the diagram below represents the safety factor.



Best Regards,



Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Customer Support Manager

Dlubal Software GmbH
Am Zellweg 2, 93464 Tiefenbach, Germany
Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51

www.dlubal.de

Kuva 5 Vastaus 2/2 liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Liite 7: Haastattelu Shape Massive-tuen kanssa (7/7)

Thank you for these answers! they are of great help.

I remembered another thing that I was going to ask regarding the software: When selecting concrete design, there is a option to select steel strain limitation. What does this option mean?

Kuva 6 Kysymys liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)

Hello Niklas,

thank you for sending your request.

Regarding steel strain limitation: This is taken from EN 1992-1-1 chapter 3.2.7.

Kuva 7 Vastaus liittyen ohjelmaan (alkuperäinen kuvakaappaus sähköpostista)