

Pauli Möttönen

Nopeakäyttöisten betonirakenteiden mitoitusohjelmien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

3.5.2018

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko | Pauli Möttönen Nopeakäyttöisten betonirakenteiden mitoitusohjelmien vertailu |
| Sivumäärä Aika | 46 sivua + 10 liitettä 30.4.2018 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma |
| Ammatillinen pääaine | Rakennetekniikka |
| Ohjaajat | Lehtori Jouni Kalliomäki Projektipäällikkö Sami Rämö |
| <p>Tämä insinöörytö tehtiin A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n tilauksesta. Insinöörytyössä etsittiin betonirakenteiden mitoitusohjelmia, jotka soveltuvat nopeakäyttöisiksi mitoitusohjelmiksi. Mitoitusohjelmia tutkittiin niiden käytettävyyden ja mitoituksen oikeellisuuden kannalta, ottaen huomioon suunnitteluprosessin asettamat vaatimukset ohjelmille.</p> <p>Nopeakäyttöisellä mitoitusohjelmalla tarkoitetaan ohjelmaa, joka on optimoitu tietyn rakennesosan nopeaan perusmitoitukseen. Suunnittelijan ei ohjelmia käyttäessään tarvitse muuttaa esimerkiksi laskenta-asetuksia, ja muutenkin ohjelmien käytössä tarvittavien hiirenpainallusten määrä on minimoitu. Myös ohjelmien käyttöönotto on nopeaa ja vaivatonta. Yksinkertaisuutensa vuoksi ohjelmia voisi verrata Excel- ja MathCad-mitoitusohjelmien kanssa, mutta ohjelmissa käytettävyyden ja visuaalisuus on pyritty viemään pidemmälle.</p> <p>Insinöörytötä varten selvitettiin yrityksen työntekijöiden haastatteluilla ja sisäisellä kyselyllä ohjelmien käyttötapoja ja mitä parannuksia niihin mahdollisesti toivotaan. Näin saatiin tallennettua yrityksessä olevaa ”hiljaista tietoa” ohjelmien käytöstä suunnitteluprosessista, sekä saatiin tietoa hyväksi havaituista käytännöistä ja sudenkuopista rakenteiden mitoituksista.</p> <p>Näiden tietojen perusteella koottiin yhteen ohjelmille asetettavat vaatimukset. Vaatimusten perusteella tutkittavien ohjelmien käytettävyyttä ja toimivuutta arvioitiin varsinaisissa käsittelyluvuissa.</p> <p>Insinöörytyössä myös varmistettiin ohjelmien laskennan oikeellisuus tekemällä vertailulaskeleksi yksiaukkoisen pilarin mitoituksista kullakin ohjelmalla. Vertailun tulokset arvioitiin insinöörytyössä ja esitettiin taulukoituna. Lisäksi sama mitoitusohjelma laskettiin käsin ja laskennan tuloksia verrattiin näin saatuihin tuloksiin. Mitoitustuloksissa havaittiin eroja ohjelmien välillä. Osa ohjelmista todettiin soveltuvan heikosti betonirakenteiden nopeaan mitoitukseen, sillä ne ovat suunniteltu paljon tarkempaan rakennesuunnitteluun.</p> | |
| Avainsanat | rakennesuunnittelu, betonirakenteet, tietokoneohjelmat |

| | |
|--|--|
| Author Title Number of Pages Date | Pauli Möttönen Comparison of Programs suitable for Quick Structural Engineering of Concrete Structures 46 pages + 10 appendices 30 April 2018 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Professional Major | Structural Engineering |
| Instructors | Sami Rämö, Project Manager Jouni Kalliomäki, Principal Lecturer |
| <p>This thesis was made for A-Insinöörit Suunnittelu Oy. The aim of the thesis was to scan the engineering software market to find programs suitable for quick structural engineering of concrete structures. The accessibility and reliability of the programs were studied in the thesis. The designing process of the concrete structures was also taken into account in the evaluation.</p> <p>Suitable programs must be optimized for a quick design of a single structural part. The need to adjust the calculation settings on the program must be minimal, as well as the number of mouse clicks to gain the results of design. The threshold to use the program must be low and learning to use the program must be easy and quick. Unlike the MathCad and Excel-based calculation forms, the programs must have pictures and diagrams that illustrate the structure and its reinforcement as well as the calculation results well.</p> <p>To acquire knowledge about the use of the programs and their possible flaws, an inquiry was carried out in the company.</p> <p>The requirements for the programs were put together with the predetermined requirements and the results gained through the inquiry. The programs were studied and evaluated through these requirements.</p> <p>An example calculation was made with each program to ensure that the programs used correct, Eurocode based designing methods. The results are displayed in a table and evaluated. The same structure was also calculated with the instructions given in Eurocode and these designing results are compared to those acquired with the programs.</p> | |
| Keywords | Reinforced concrete, structural design |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tausta | 1 |
| 1.2 | Insinööriyön päämäärä ja menetelmät | 2 |
| 1.3 | Rajaukset | 3 |
| 2 | Vaatimukset ohjelmille | 3 |
| 2.1 | Vaatimukset ohjelmille kyselyn ja haastattelujen perusteella | 3 |
| 2.2 | Suunnitteluprosessi nykyhetkellä | 4 |
| 2.3 | Yhteenveto ohjelmille asetettavista vaatimuksista | 5 |
| 2.4 | Ohjelmien valinta vertailuun | 7 |
| 3 | Tutkittavien ohjelmien yleiskuvaus | 8 |
| 3.1 | Eurocode Service | 8 |
| 3.2 | IDEA StatiCa 8 | 10 |
| 3.3 | FRILO Software | 13 |
| 3.4 | WIN-Statik | 15 |
| 4 | Mitoittaminen ohjelmilla | 17 |
| 4.1 | Pilarin vertailulaskelma | 17 |
| 4.2 | Pilarin mitoittaminen ohjelmilla | 20 |
| 4.3 | Palkin vertailulaskelma | 26 |
| 4.4 | Palkin mitoittaminen ohjelmilla | 28 |
| 4.5 | Pilarianturan mitoittaminen ohjelmilla | 34 |
| 5 | Yhteenveto | 41 |
| | Lähteet | 46 |

Liitteet

- Liite 1. Pilarin vertailulaskelma käsin laskennalla
- Liite 2. Pilarin vertailulaskelma Eurocode Servicellä
- Liite 3. Pilarin vertailulaskelma IDEA StatiCalla
- Liite 4. Pilarin vertailulaskelma FRILO Softwarella
- Liite 5. Pilarin vertailulaskelma WIN Statikilla
- Liite 6. Palkin vertailulaskelma käsin laskennalla

Liite 7. Palkin vertailulaskelma Eurocode Servicellä

Liite 8. Palkin vertailulaskelma IDEA StatiCalla

Liite 9. Palkin vertailulaskelma FRILO Softwarella

Liite 10. Palkin vertailulaskelma WIN Statikilla

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Tämän insinööritö tehdään A-insinöörit Suunnittelu Oy:n tilauksesta, joka on useasta tytäryhtiöstä ja konserniyhtiöstä koostuva suomalainen suunnitteluyritys. Yhtiöllä oli vuonna 2017 noin 670 työntekijää 10 paikkakunnalla. Suurin osa tästä henkilöstöstä toimii rakennesuunnittelun ja infrasuunnittelun toimialoilla.

Yrityksellä on tarve kehittää jatkuvasti suunnitteluprosessia ja etsiä uusia suunnittelun työkaluja. Tämän vuoksi opinnäytetyön aiheeksi valikoitui markkinoilla tällä hetkellä olevien teräsbetonirakenteiden pikamitoitusohjelmien kartoittaminen. Jotta voitaisiin saada mahdollisimman hyvä kuva ominaisuuksista, joita yrityksen suunnittelijat ohjelmilta toivovat, päätettiin opinnäytetyön yhteydessä tehdä kysely ja joukko haastatteluja, joilla kerättiin tietoa ohjelmilta vaadittavista ominaisuuksista. Samalla pikamitoitusohjelmien käyttöä päätettiin selvittää myös suunnitteluprosessin näkökulmasta: miten ohjelmia käytetään erilaisissa suunnitteluprojekteissa ja eri suunnitteluprosessin vaiheissa, ja mitä vaatimuksia ja kehityskohteita erilaiset käyttötavat asettavat ohjelmille.

Rakennesuunnittelun prosessiin ja eri suunnittelualojen yhteistyöhön on viime aikoina kiinnitetty huomiota monelta eri taholta rakennusosalalla. On havaittu, että rakennusalan tuottavuus ei ole kehittynyt viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana samassa tahdissa muiden alojen kanssa. Suunnittelualan osalta kehitys on ollut yhtä vaatimatonta. Syynä tähän nähdään muun muassa se, että suunnitteluprosessi ei ole kehittynyt lainkaan huolimatta siitä, että rakentamisen ympäristössä on tapahtunut merkittäviä muutoksia. Yksi isoin muutos on mallintamisen vakiintuminen yleiseksi suunnittelun ja rakentamisen työkaluksi. Myös yleinen digitalisoituminen ja tiedonvälityksen nopeutuminen on muuttanut rakentamista kuten muitakin aloja. Suunnitteluprosessi sen sijaan on pysynyt samana.

1.2 Insinööriyön päämäärä ja menetelmät

Opinnäytetyön ensimmäinen päämäärä on kerättyjen käyttäjäkokemusten ja yrityksen suunnitteluohjelmien kehitystiimin asettamien vaatimusten avulla määrittää vaatimukset nopeakäyttöisille betonirakenteiden mitoitusohjelmille ja tutkia markkinoilla tällä hetkellä olevia suunnitteluohjelmien soveltuvuutta kyseiseen käyttöön. Haastattelujen ja kyselyn avulla kerätään tietoa myös ohjelmien käytöstä osana suunnitteluprosessia – miten ohjelmia käytetään erilaisissa suunnitteluprojekteissa ja erilaisissa suunnittelutehtävissä, joissa esimerkiksi suunnittelun tarkkuus ja rutiininomaisen toistuvan suunnittelun määrä vaihtelevat.

Tämän jälkeen tutkittavien ohjelmien soveltuvuutta tutkitaan asetettujen vaatimusten kautta vertailemalla mitoittamista ohjelmilla määrätyissä mitoitusapauksissa. Tutkittavat ohjelmat valitaan tutkittaviksi esivalinnassa, jossa tärkein valintakriteeri on ohjelmien soveltuvuus pikamitoitusohjelmaksi.

Opinnäytetyössä ohjelmille asetettavia teknisiä vaatimuksia ovat muun muassa laskennan oikeellisuus ja ohjelman yleinen toimintavarmuus. Toimintavarmuutta arvioidaan ohjelmien käytön yhteydessä. Ohjelmien mitoituksen oikeellisuus tarkastetaan tekemällä vertailulaskelmat teräsbetonipilarista ja -palkista. Laskelmien tulokset esitetään taulukoituna.

Ohjelmien käytettävyyttä arvioidaan käyttäjäkokemusten perusteella sekä ohjelmiin perehtymällä. Tämän vuoksi insinööriyön yhteydessä tehdään yrityksen sisällä kysely, jolla selvitetään tällä hetkellä käytössä olevien ohjelmien käyttöä. Lisäksi opinnäytetyötä varten tehdään haastatteluja, joilla kerätään tietoa ohjelmien hyvistä ja huonoista ominaisuuksista yksittäisen rakenneosan mitoittamisessa sekä niiden käytettävyydestä osana suunnitteluprojektia.

Insinööriyössä arvioidaan myös ohjelman soveltuvuus vientiprojekteihin. Käytännössä ohjelman soveltuvuutta kansainvälisiin projekteihin rajoittaa siihen sisällytettyjen kansallisten liitteiden puuttuminen.

1.3 Rajaukset

Nykyään markkinoilla on tarjolla runsaasti erilaisia laskenta- ja mitoitusohjelmia rakennesuunnittelijoiden tarpeisiin. Ohjelmat voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, FEM-ohjelmiin ja tavallisiin mitoitusohjelmiin. FEM-ohjelmat (RFEM, Robot) laskevat kolmiulotteisessa avaruudessa mallinnettujen rakenteiden voimasuureita elementtimenetelmällä. Usein näihin ohjelmiin on saatavana lisäosia, jotka mitoittavat rakenneosia eurokoodin ja kansallisten liitteiden mukaan laskennassa saaduilla sisäisten voimasuureiden arvoilla.

Tavallisilla suunnitteluohjelmilla tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä ohjelmia, jotka useimmiten mitoittavat rakenteita esimerkiksi Eurokoodin tai muissa rakennusmääräyksissä annettujen kaavojen ja ohjeiden mukaan. Voimasuureiden laskenta tapahtuu näissä ohjelmissa usein käsin laskennan kaavojen avulla. Näitä ohjelmia voidaan verrata vaikkapa Excel- tai Mathcad-laskentapohjiin, mutta ohjelmissa on usein panostettu helpokäyttöisyyteen huomattavasti enemmän. Ohjelmissa esimerkiksi laskentatulokset ja laskennan välivaiheet voidaan esittää huomattavasti laskentapohjia havainnollisemmin, kuten myös esimerkiksi rakenteen mitat ja kuormitus. Laskentapohjissa havainnollistaminen rajoittuu kuviin ja kaavioihin.

Opinnäytetyössä tutkitaan seuraavan viiden betonirakenteiden mitoitus tapauksen mitoittamista tutkittavilla ohjelmilla: yksittäispilari, vapaasti tuettu yksiaukkoinen palkki, yhteen suuntaan kantava yksiaukkoinen laatta, maanvarainen pilariantura ja teräsbetoniseinä. Nämä ovat pikamitoitusohjelmilla tavallisesti laskettavia mitoitus tapauksia. Pilarin mitoittamisesta tehdään vertailulaskelma jokaisella ohjelmalla, jonka tuloksia verrataan käsin laskennan tuloksiin.

2 Vaatimukset ohjelmille

2.1 Vaatimukset ohjelmille kyselyn ja haastattelujen perusteella

Opinnäytetyötä varten tehtiin yrityksen sisäinen kysely pikamitoitusohjelmien käytöstä ja niihin liittyvistä parannusehdotuksista. Kyselyyn vastasi 23 suunnittelijaa eri toimipisteistä.

Lähes kaikki kyselyyn vastanneet ilmoittivat käyttävänsä Eurocode Serviceä betonirakenteiden mitoittamiseen. Lähes kaikki vastaajat ilmoittivat myös käyttävänsä SKOL-pohjia tai omia laskentapohjiaan päivittäisessä työssään. Omien laskentapohjien eduksi mainittiin muun muassa se, että niiden tekemä laskenta tunnetaan tarkasti. [12.]

Kaksi vanhempaa suunnittelijaa kaipasivat takaisin yrityksessä aiemmin käytettyä JPNet-ohjelmaa. Ohjelman käytön aloittaminen oli hieman työlästä, mutta sopivien alkuasetusten luomisen jälkeen ohjelma oli helppo käyttää. Ohjelma mitoittaa rakenteita vanhoilla rakennusmääräyskokoelman kaavoilla, joten ohjelma on edelleen käytössä joillakin korjausrakennesuunnittelijoilla. [13.]

Joidenkin kyselyyn vastanneiden mielestä pikamitoitusohjelmat on tehty nopean omaksumisen ja käytettävyyden ehdoilla liiankin yksinkertaisiksi. Kuormien syöttämiseen ei ole riittävästi eri vaihtoehtoja. Korjausrakentamisen parissa työskenteleville suunnittelijoille olisi käyttöä myös mahdollisuudelle muokata perusasetuksia mitoittaessaan vanhaa rakennetta jonka ominaisuudet eivät vastaa nykyisiä rakentamismääräyksiä. Myös ulokkeiden mitoittaminen ja riittävä mahdollisuus epäkeskisyyden syöttämiseen nähtiin tärkeänä. [13.]

Pohdinnan arvoinen seikka on myös, tulisiko ohjelmassa olla mahdollista syöttää suoraan voimasuureiden mitoitusarvot ohjelmaan. Tämä olisi joidenkin pikamitoitusohjelmia yhdessä FEM-ohjelmien kanssa käyttävien suunnittelijoiden mielestä kätevää, sillä he saavat mitoitusuureet valmiina FEM-ohjelman laskentamallista. Optimoitujen dimensioiden laskeminen, eli ohjelman kyky mitoittaa rakenne automaattisesti annettujen voimasuureiden tai muiden parametrien perusteella on yksi toivottava tulevaisuuden kehityssuunta pikamitoitusohjelmissa. [13.]

2.2 Suunnitteluprosessi nykyhetkellä

Rakennesuunnittelun prosessi voi merkitä montaa asiaa. Yksinkertaisimmillaan prosessilla voidaan tarkoittaa yksittäisen rakenneosan suunnittelua, jossa päämääränä on suunnitella rakenne niin, että se säilyttää stabiliteettinsa ja kantokykynsä sille asetetuilla kuormilla, sekä kestää ympäristön ja käytön aiheuttamat rasitukset määritetyn käyttöajan [2, s.10]. Yksittäisen rakenteen suunnittelun kannalta eurokoodin ja muiden suunnitteluohjeiden vaatimukset ovat itsessään jo määrätelmä suunnitteluprosessille.

Rakennesuunnittelun prosessilla voidaan tarkoittaa myös rakennuksen tai rakennuksen osan suunnittelua, jossa yksittäisten rakenneosien mitoittaminen on osa monia muitakin töitä ja vaiheita sisältävää kokonaisuutta. Rakennesuunnittelun asiakirjaohjeessa on lueteltu rakennesuunnittelun tehtävät ja kuvattu suunnitteluprosessi pääpiirteissään. Rakennesuunnitteluprosessi jaetaan ohjeessa viiteen eri vaiheeseen: hankesuunnittelu, ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, hankintasuunnittelu ja toteutussuunnittelu. [5, s.18.]

Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo sisältää vastaavasti rakennesuunnittelun tehtävät luetteloituna suunnitteluvaiheiden mukaan. Ohje on tehty etenkin rakennusprojektin tilaajan näkökulmasta, joka ohjeen perusteella voi määrittää suunnittelutyön laajuuden ja sisällön sekä valita suunnittelijat projektiin. [4, s.1.]

Teollisuudessa ja muualla yritysmaailmassa Lean-ajattelun mukainen prosessin kehittäminen on kasvattanut 1990-luvulta lähtien suosiotaan. Viime vuosina on tutkittu tämän toimintamallin soveltamista myös rakennusalan suunnitteluprosessiin. [6, s. 46]. Tutkimuksen anti tämän opinnäytetyön kannalta on kuitenkin sen toteaminen, että rakennesuunnittelun kuten muidenkaan suunnittelualojen suunnitteluprosessia ei ole tutkimuksessa tai kirjallisuudessa määritelty aiemmin edellä mainittuja asiakirjaohjeita ja tehtäväluetteloita lukuun ottamatta. Suunnittelussa on nojaututtu mestari-kisälli-perinteeseen rakennesuunnittelun tiedon siirtymisessä vanhemmilta suunnittelijoilta nuoremmille. Ohjelmille asetettavat vaatimukset määräytyvät siis kyselyllä ja haastattelulla saatuihin tietoihin.

2.3 Yhteenveto ohjelmille asetettavista vaatimuksista

Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo ja asiakirjaohje eivät sinällään kuvaa rakennesuunnittelun kokonaisprosessia. Suunnittelu harvoin etenee suoraviivaisesti. Suunnittelun edetessä ja suunnitelmien tarkentuessa alkuperäiset suunnitelmat voivat muuttua paljonkin. Yhden rakenneosan muutos usein johtaa muutoksiin muissa rakenneosissa ja yksittäisen rakenneosan suunnittelun lähtötiedot voivat muuttua myös ulkoisista syistä. Haastattelujen, kyselyn ja rakennesuunnittelusta kertyneen kokemuksen perusteella suunnitteluprosessi asettaa seuraavat päävaatimukset suunnitteluohjelmille.

Pikamitoitusohjelmissa muutosten tekeminen kuormiin, rakenteen dimensioihin ja raudoituksiin pitää olla mahdollisimman vaivatonta edellä mainituista syistä. Ideaalitilanne on se, että muutosten vaikutus laskentatuloksiin näkyy samalla, kun muutoksia tehdään. Mitoituksen on kuitenkin edettävä loogisessa järjestyksessä ohjelmassa. [13.]

Ohjelman laskelmien jakaminen suunnittelutiimin kesken tulee olla vaivatonta. Käytännössä tämän pitäisi onnistua helposti ohjelmalla kuin ohjelmalla, sillä kaikki tiedostot voidaan tallentaa yhteiseen projektikansioon. Jos ohjelmassa on esimerkiksi oma kansiojärjestelmä laskelmien järjestämiseen, tämän toimivuutta arvioidaan. Erilliset kansiojärjestelmät ovat usein turhia ja aiheuttavat vain ylimääräistä työtä järjestelmän opettelussa. [Haastattelu 1.]

Ohjelmien käyttötuen pitää toimia ja ohjelmien olisi hyvä olla mahdollisimman pitkäikäisiä. Etenkin pitkissä projekteissa tulee usein vastaan ongelma, että jonkin suunnitteluohjelman tarjonta on lakannut. Näin on käynyt esimerkiksi Ruukin Comcol-ohjelmalle. Käytöstä poistuneella ohjelmalla tehtyjä laskelmia voidaan harvoin avata muulla ohjelmalla. [Haastattelu 1.]

Ohjelman visuaalisuuden ja selkeyden tärkeys tulivat ilmi sekä aloituspalaverissa että yrityksen henkilöstölle tehdyssä kyselyssä. Raudoitus ja rakenteen mitat tulee olla selkeästi esitetty ohjelmassa kuvaajin. Ohjelman rakenteen tulee olla johdonmukainen ja seurata mitoituksen kulkua.

Yksi tärkein opinnäytetyön ideointipalaverissa määritelty kriteeri pikamitoitusohjelmalle oli ohjelman käytön nopea oppiminen ja käytön matala kynnyks. Tämä toistui myös kyselyvastauksissa [Esim. kyselyvastaaja 6]. Pikamitoitusohjelmien tärkeänä ominaisuutena nähtiin myös se, että niissä ei tarvitse muistaa jokaisen eurokoodin tarjoaman kertoimen vaikutusta laskentatulokseen, vaan mahdollisimman vähäisellä tietojen syöttämisellä voidaan saada luotettava mitoitus tulos [Kyselyvastaajat 15, 16]. Osan kyselyvastaajista mielestä tosin esimerkiksi Eurocode Servicessä on menty liiankin pitkälle ohjelman yksinkertaistamisessa [13].

Ohjelman tulosten jäljitettävyyden ja tulosteiden selkeys olivat tärkeitä vaatimuksia, jotka toistuivat kyselyvastauksissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laskennan tulokset tulisi esittää välivaiheineen ainakin laskennan tulosteessa. Pikamitoitusohjelman laskennan olisi tästä syystä myös hyvä perustua käsin laskennan kaavoihin [Kyselyvastaaja 9].

Jos ohjelmassa voimasuureiden laskenta perustuu FEM-menetelmään, voi tämä vaikeuttaa ohjelman laskentatulosten soveltamista esimerkiksi korjausprojekteissa, joissa tutkitaan vanhoilla menetelmillä mitoitettuja rakenteita.

Pikamitoitusohjelmaan täytyy luonnollisesti olla saatavissa Suomen kansallinen liite, tai sellainen täytyy olla saatavissa ohjelmistovalmistajalta tai muulla tavalla tulevaisuudessa.

Ohjelmien on tehtävä Eurokoodin vaatimusten mukaiset mitoitustarkastelut sekä varmistettava raudoituksen betonipeitteen sekä keskiöetäisyyden toteutuminen. Tämä on käsitelty tässä insinööriyössä rakennetyypeittäin ohjelmien vertailuluvuissa.

2.4 Ohjelmien valinta vertailuun

Insinööriyötä varten etsittiin joukko ohjelmia esivalintaan, jossa ohjelman soveltuvuus tarkempaan vertailuun arvioitiin. Tärkeimmät kriteerit esivalinnassa olivat ohjelman soveltuvuus pikamitoitusohjelmaksi ja se, että sillä voidaan mitoittaa tarkasteltavat teräs-betonirakenteiden mitoitustapaukset eurokoodin mukaan. Luonnollisesti tämä rajasi ohjelmien etsinnän lähinnä eurooppalaisiin ohjelmistotarjoajiin. Varsinaiseen vertailuun otettiin neljä ohjelmistoa, joiden arvioitiin voivan täyttää ohjelmille asetetut vaatimukset.

Esivalinnassa tarkasteltiin lisäksi neljää ohjelmaa, joita ei valittu varsinaiseen vertailuun. Ohjelmat olivat:

- Byggdata
- InfoCAD (Infograph)
- D.I.E Baustatik Software
- Baustatik (mb AEC Software GmbH).

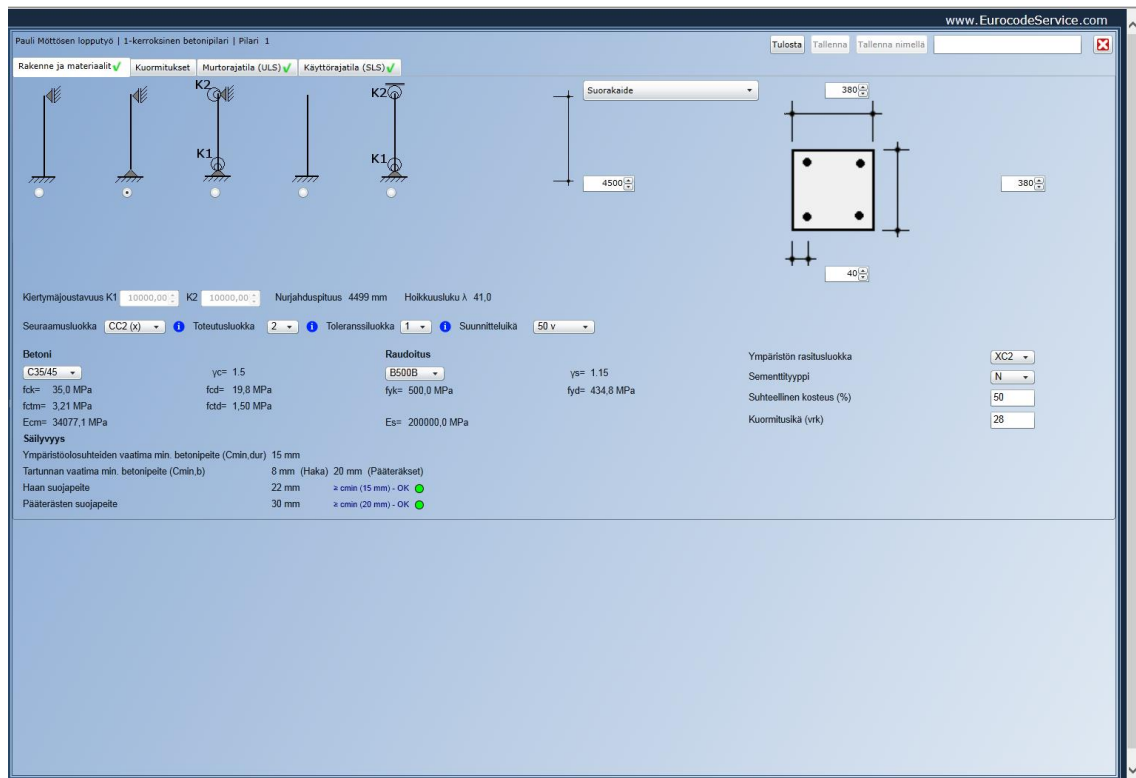
Saksalaisen InfoGraphin valmistama InfoCad ei täyttänyt esivalinnan kriteerejä, sillä ohjelmassa ei ole pikamitoitusohjelmalta vaadittavaa käyttöliittymää. Infocad on FEM-mitoitusohjelma, jossa rakenne täytyy kuormitusten ja reunaehtojen syöttämisen lisäksi mallintaa ennen laskentaa. Ruotsalainen Byggdata, jota oltiin kaavailtu erittäin sopivaksi ohjelmaksi vertailuun, ei ole päivitetty mitoittamaan eurokoodilla, joten se jäi vertailusta

pois. Saksalaiset D.I.E Baustatik Software ja mb AEC Software GmbH:n Baustatik-ohjelma tulevat vain saksankielisinä, mikä heikentää niiden soveltuvuutta käyttöön Suomessa. D.I.E Softwaressa on laaja valikoima erilaisia betonirakenteiden mitoitusohjelmia, mutta ohjelmaan ei ole saatavissa Suomen kansallista liitettä, minkä vuoksi ohjelma lopulta jäi pois vertailusta. Saksan kansallisten ohjeiden mukaan mitoittavien ohjelmien soveltuvuuden ongelmia on käsitelty tässä insinööriyössä vertailuun mukaan otetun Frilo Softwaren ohjelmien tarkastelun yhteydessä.

3 Tutkittavien ohjelmien yleiskuvaus

3.1 Eurocode Service

Eurocode Service on suomalaisen Eurocode Service Oy:n suunnittelema ja toteuttama selainpohjainen teräsbetoni- ja teräsrakenteiden suunnitteluohjelma, jolla on mahdollista mitoittaa eurokoodin mukaisesti teräsbetonipalkit, pilarit ja laatat, sekä teräspilarit- ja palkit. Eurocode Serviceen on tällä hetkellä saatavissa vain Suomen kansallinen liite, joten se ei ole sellaisenaan paras mahdollinen ohjelma käytettäväksi vientiprojekteissa, joissa täytyy tehdä suunnittelua muiden kansallisten liitteiden antamien määräysten mukaan. Ohjelma toimii selainpohjaisena ja tallentaa kaikki laskelmat palvelimelle projektikohtaiseen kansioon. Ohjelmissa betonirakenteiden mitoitus tapahtuu Eurokoodin 1992-1-1 mukaisesti. Pilarianturan mitoitusohjelmassa geotekninen mitoitus tehdään eurokoodin 1997-1-1 mukaan. Ohjelmien kotisivuilta löytyvässä ohjelmien kuvauksessa ei ole mainintaa ohjelmien käyttämistä suunnitteluperusteista, mutta pilariantura-ohjelmassa mainitaan kuormitusyhdistelyn perustuvan eurokoodin 1990-1-1 ohjeisiin [15].



Kuva 1. Eurocode Servicen pilari-ohjelman näkymä.

Ohjelman ulkoasu ja käyttötapa ovat peruseriaatteiltaan samanlaiset kuin Excel- ja Mathcad-laskentapohjissa. Ohjelmassa tiedot syötetään kenttiin tai valitaan pudotusvalikoista. Tietojen syöttäminen on vaivatonta ja laskennan tulokset päivittyvät välittömästi. Ohjelman laskelmat tallennetaan aina projektikohtaiseen kansioon. Jos ohjelmia halutaan käyttää, tulee projektille olla luotu oma projektikansio. Ohjelma näyttää kaikki eurokoodimitoituksen välivaiheiden tulokset sekä murtorajatila- että käyttörajilatarkasteiluissa. Näitä tietoja ei käytännön mitoituksessa tarvita, mutta ne eivät myöskään huononna ohjelman käytettävyyttä. Käytännöllistä voisi olla, että ohjelmasta selviäisi heti, millä kaavalla kukin kohta on laskettu. Joissain kohdissa eurokoodi voi antaa useita vaihtoehtoja laskentaan, joten voisi olla hyvä, että käytetyt kaavat selviäisivät jostain, esimerkiksi ylimääräisestä ohjeesta.

Kyselyvastaajien parissa Eurocode Servicen kuormien syöttötapaa pidettiin ohjelman heikoimpana ominaisuutena. Kuormien syöttötapaa pidettiin toisaalta hiukan epäselvänä, toisaalta se nähtiin myös rajoittuneena. Pilari- ja palkki-ohjelmissa voidaan syöttää hyötykuorma vain yhdessä kuormaluokassa, mikä rajoittaa ohjelman käyttöä. Vastaajat myös kaipasivat mahdollisuutta syöttää ohjelmiin suoraan kuorman mitoitusarvo, sillä

monet käyttävät ohjelmia yhdessä FEM-ohjelman kanssa, josta saavat mitoitusarvot suoraan.

Eurocode Servicen ohjelmisto koostuu kymmenestä ohjelmasta, joista jokainen keskittyy poikkileikkausosaa lukuun ottamatta tietyn tyyppisen rakenneosan mitoittamiseen. Ohjelmissa mitoitus on jaettu välilehdille, joiden järjestys seurailee mitoituksen etenemistä vasemmalta oikealle. Välilehtien valintapainikkeissa näkyy oikein- tai väärin-symboli sen mukaan, kestääkö rakenne syötetyt kuormat tai onko rakenteen tiedot muuten syötetty oikein. Tämä helpottaa mitoitusta, sillä suunnittelija näkee tietoja syöttäessään ja muuttaessaan heti mennäänkö mitoituksessa oikeaan suuntaan [Kyselyvastaaja 18].

Poikkileikkaus-osalla voidaan mitoittaa palkki, pilari, seinä ja laatta aksiaaliselle vedolle tai puristukselle sekä kahden suuntaiselle momentille.

Eurocode Servicen ohjelmissa tulostus tapahtuu jokaisen mitoitusohjelman yläkulmassa olevalla tulostuspainikkeella. Tulosteen voi myös tallentaa PDF-tiedostona. Tulosteet ovat neljä tai viisi sivua pitkiä ja sisältävät rakenteen materiaali- ja mittatiedot, kuormitukset, kuormitusyhdistelmät sekä murtorajatilan ja käyttörajatilan kestävyystarkastelut välivaiheiden laskentatuloksineen.

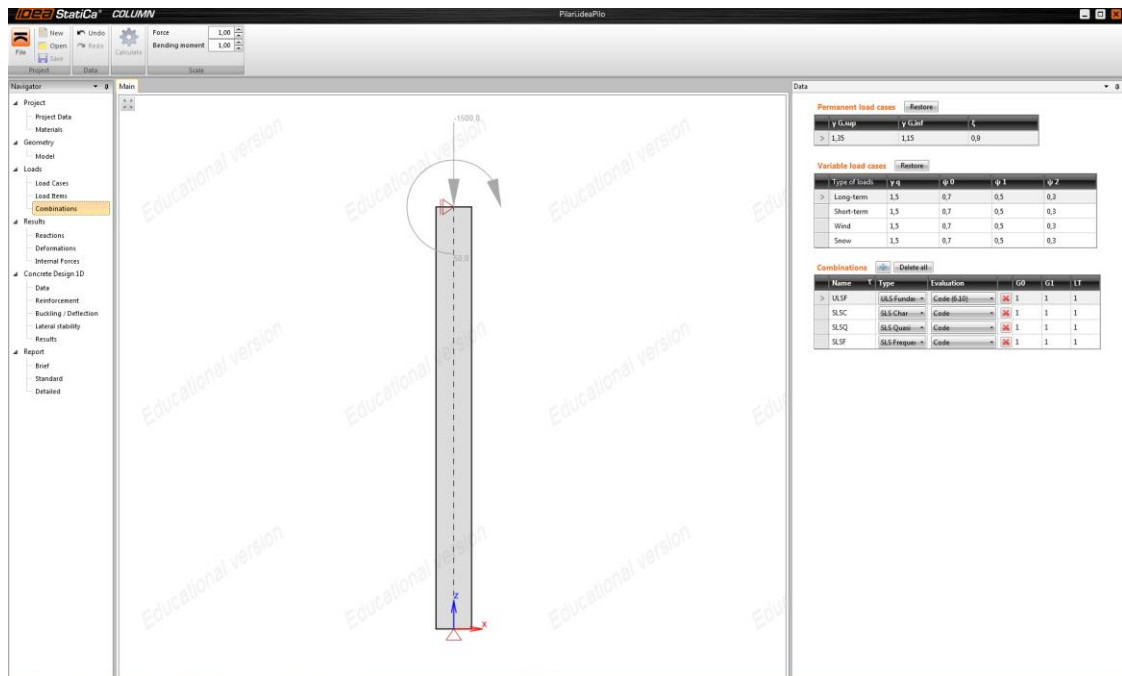
3.2 IDEA StatiCa 8

IDEA StatiCa 8 on tšekkiläisen IDEA StatiCa -yhtiön kehittämä mitoitusohjelmisto, joka sisältää sekä teräs- että betonirakenteiden mitoitusohjelmat rakenneosien ja liitosten suunnitteluun. Yrityksen toiminta-ajatuksena on ollut kehittää IDEA StatiCa myös verkkopohjaisena toimiva mitoitusohjelma, joka lisäksi on yhteensopiva eri mallinnusohjelmien kanssa. IDEA StatiCaan mitoitusohjelmiin voi tuoda rakennemalleja CAD-ohjelmista ja muista FEM-ohjelmista, kuten Scia Engineeristä ja Dlubal RFEM:istä.

IDEA StatiCaan ohjelmat laskevat voimasuureet FEM-menetelmällä. Varsinaisista FEM ohjelmista poiketen ohjelmat on kuitenkin tehty käyttöliittymältään yksittäisten rakenneosien, kuten palkkien ja pilarien mitoittamiseen. Ohjelmisto sisältää kuusi betonirakenteiden mitoitusohjelmaa epäjatkuvuusalueen, pilarin, palkin, laatan, 2D-kehärakenteen sekä lyhyen ulokkeen mitoittamiseen. Betonirakenteiden mitoitusohjelmat mitoittavat Eu-

rokoodin 1992-1-1 mukaisesti ja ohjelmiin on saatavissa useita kansallisia liitteitä. Suomen kansallista liitettä ei tällä hetkellä ohjelmiin ole saatavissa. Ohjelmien käyttämistä suunnitteluperusteista ei löydy selkeää mainintaa ohjelmien ohjeista [16].

IDEA StatiCan eri mitoitusohjelmien sisältö ja käyttöliittymä ovat pääosin samanlaiset. Jokaisessa ohjelmassa navigointi ohjelman välilehdillä tapahtuu vasemmalla reunalla sijaitsevan navigaatiopalkin avulla. Välilehtien määrä ja sisältö vaihtelevat ohjelmakohtaisesti. Yläpalkissa näkyvät kullakin välilehdellä käytössä olevat työkalut, kun taas ohjelman keskellä on jatkuvasti rakenteen kuvaaja. Välilehtien järjestys seurailee mitoituksen etenemistä ylhäältä alas. Välilehtien tieto- ja valikkokenttien sijainnin ja näyttötavan voi käyttäjä muokata itse.



Kuva 2. IDEA StatiCan pilariohjelman näkymä.

Poikkileikkausta ja raudoitusta päästään muokkaamaan aukeavan taulukon kautta tuplaklikkaamalla niitä kuvassa. Tietojen syöttämisen ja muokkaamisen jälkeen suunnittelijan on muistettava painaa laskenta käyntiin ohjelman yläpalkissa, jotta ohjelma päivittää muutosten vaikutuksen mitoitustuloksiin. Ohjelma päivittää laskennan tulokset automaattisesti, kun ohjelmassa siirrytään tarkastelemaan laskennan tuloksia. Mitoitustulosten tiivistelmä näkyy näytön oikealla puolella info-palkissa joillakin välilehdillä, kun taas joillain välilehdillä tuloksia ei esitetä. Kunkin mitoitustarkastelun tulos on esitetty tiivistelmässä punaisella väärin- ja vihreällä oikein-symbolilla.

Raudoituksen määrittäminen rakenteelle tapahtuu ohjelmassa poikkileikkaukseen raudoituseditorin avulla. Raudoitusta voidaan lisätä poikkileikkaukseen mielivaltaisesti ja sen sijaintia pystytään muuttamaan poikkileikkauksen sisäisessä koordinaatistossa rajattomasti. Editorissa on valmiita esiasetuksia raudoitukselle, jolloin eri rakennetyypeille voidaan luoda rauditus melko nopeasti. Ohjelma luo kuvaajassa raudoitukselle automaattisesti mittaviivat, joiden avulla raudoituksen sovittaminen rakenteeseen käy helpommin. Tämä ominaisuus onkin tarpeellinen, sillä raudoitusta voi sijoittaa poikkileikkaukseen virheellisesti myös päällekkäin. Ohjelma varoittaa raudoituksen keskiöetäisyyden olevan negatiivinen, mutta ei kuitenkaan ota huomioon ongelmaa mitoituksen virheilmoituksessa, vaan ilmoittaa ongelman olevan todennäköisesti poikkileikkauksen liian pienessä kapasiteetissa. Ohjelma kylläkin laskee ja tarkastaa raudoitusterästen määrän ja reuna- ja keskiöetäisyyden sekä minimiraudoituksen toteutumisen ja ylliraudoituksen muun mitoituksen yhteydessä, mutta tämä tieto olisi hyödyllistä saada jo raudoituksen syöttövaiheessa.

IDEA StatiCassa raudoituksen materiaaliarvot, kuten myötölujuus ja teräslaatu valitaan erillisessä taulukosta. Tämä on tarpeettoman monimutkaista pikamitoitusohjelmalle. Esimerkiksi Eurocode Servicessä käytettävän raudoituksen tyyppi valitaan pudotusvalikosta useimmin käytetyistä raudoitusterästen tyypeistä, joka on huomattavasti nopeampaa ja helpompaa. IDEA StatiCan tapa ei ota huomioon lainkaan saatavilla olevia raudoitusterästen tyyppiä. Tähän malliin on päädytty ohjelman suunnittelussa todennäköisesti siksi, että ohjelma olisi käytettävissä mahdollisimman monessa eri maassa, joissa käytettävät raudotteet eroavat toisistaan.

IDEA StatiCan ohjelmien käyttövarmuudessa huomattiin insinööriyötä tehdessä epävarmuutta. Ohjelmat kaatuivat muutamia kertoja ohjelmaa testattaessa, mikä todennäköisesti johtui siitä, että elementtimenetelmällä tapahtuvan laskennan vaatima tietokoneen suoritinteho ylitti hetkellisesti tietokoneen suorituskyvyn. Tämä taas johtui liian nopeasta siirtymisestä välilehdeltä toiselle kesken laskennan. Laskelmat onnistuttiin kuitenkin jokaisella kerralla palauttamaan helposti. Ohjelman toimintavarmuudesta ei kuitenkaan voida tehdä enempää päätelmiä, sillä ohjelmien kaatumisen syytä ei varmuudella tunneta.

3.3 FRILO Software

Saksalainen FRILO Software GmbH tarjoaa erilaisia ohjelmistokokonaisuuksia puu- teräs- ja betonirakenteiden mitoitukseen. Betonirakenteiden mitoitusohjelmia yrityksen tarjonnasta löytyy yhteensä 19 kappaletta. Osasta ohjelmista on saatavilla uusitut versiot. Ohjelmista on saatavilla myös vanhemmat versiot, mutta johtuen niiden saksan kielisyydestä niitä ei ole otettu vertailuun mukaan. Laajasta mitoitusohjelmien tarjonnasta huolimatta FRILO:nkaan ohjelmistossa ei ole erillistä ohjelmaa palkin mitoittamiseen, vaan mitoittaminen täytyy tehdä poikkileikkaus-ohjelmalla.

FRILO Software on suunnattu etupäässä Keski- ja Etelä-Euroopan maihin. Betonirakenteiden mitoitus ohjelmissa tapahtuu Eurokoodin 1992-1-1 mukaisesti. Geotekninen mitoitus ohjelmiston pilariantura-ohjelmassa perustuu Eurokoodiin 1997-1-1 ja Saksalaisiin DIN 4017- ja DIN 4019- standardeihin. Ohjelmissa on valittavissa Saksan kansallisen liitteen lisäksi myös esimerkiksi Itävallan ja Italian liitteet. Ohjelmat toimivat englannin kielellä. Ohjelmien käyttämistä suunnitteluperusteista ei ole mainintaa yrityksen kotisivuilta löytyvissä ohjelmien ohjeissa [18].

FRILO Softwaren ohjelmat voidaan avata projektikansion kautta, jolloin laskentatiedostot tallennetaan automaattisesti omaan projektikansioonsa. Ohjelmat voidaan avata myös erikseen aloitusvalikosta ja ohjelman tiedostot voidaan tallentaa haluttuun sijaintiin vapaasti.

FRILON ohjelmat eroavat ulkoasultaan toisistaan. Vanhempia ohjelmia, joita tässä insinööriydessä edustavat poikkileikkaus- ja pilarimitoitushjelmat, ei ole päivitetty uuteen ulkoasuun. Foundation-ohjelma, jolla voidaan mitoittaa pilariantura, taas edustaa uudempaa mitoitusohjelmien tyyliä, jossa suurin muutos entiseen on rakenteen isoissa, selkeissä 3D-kuvaajissa. Ohjelmien kehityksessä suurin tapahtunut muutos on siirtyminen numerokeskeisestä mitoituksesta visuaalisempaan ilmeeseen.

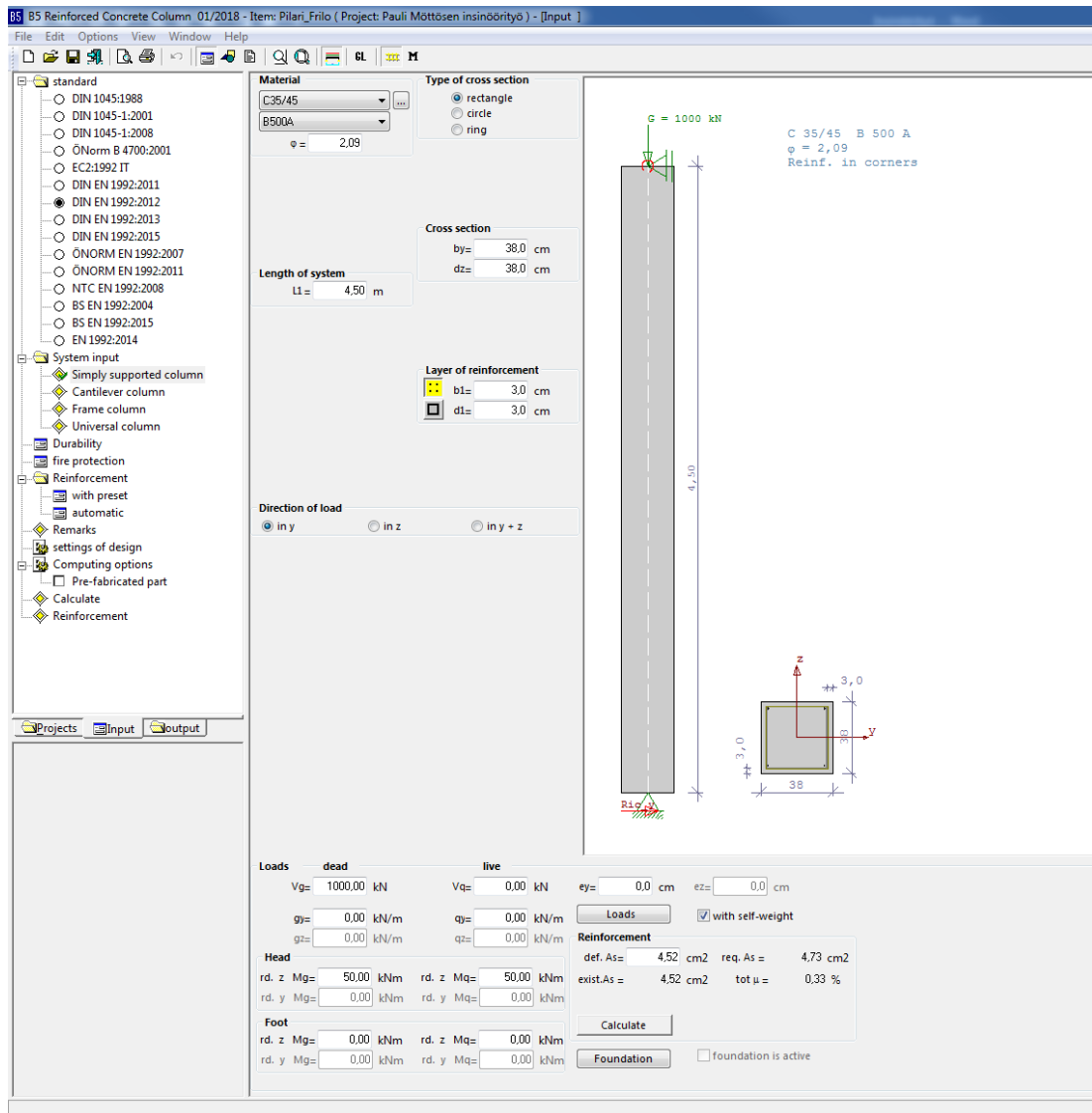
FRILO Softwaren vanhemmat ohjelmat eivät ilmoita perusnäkyvässä laskennan tulosta selkeästi kuten IDEA StatiCa ja Eurocode Service, joissa mitoitustulokset on esitetty punaisin tai vihrein symbolein. Esimerkiksi pilarimitoitushjelmassa laskennan tulokset nähdään vasta tulostuksen esikatselu-ikkunassa. Lisäksi tulosteessa mitoitustarkastelua ei ole erikseen korostettu, joten suunnittelijalta kestää hetken totutella ennen kuin oikean rivin laskennan lopusta löytää vaistomaisesti. Toisaalta ohjelman yksinkertaisuuden

vuoksi tulosten katsominen erikseen ei ole kohtuuttoman vaikeaa. Uudemmissa ohjelmissa taas yläpalkissa on lyhty, joka näyttää vihreää, kun mitoitus on kunnossa. Tämä helpottaa mitoittamisen seuraamista.

Ohjelmissa on erillinen kuvaajaohjelma, jossa voidaan valita kolmiulotteisessa kuvassa näkyviin esimerkiksi eri raudoituksen osat. Ohjelma aukeaa yläpalkista.

FRILO Softwaren pilari- ja pilarianturaohjelmassa rakenteelle voidaan syöttää hyvin monipuolisesti erilaisia raudoituksia. Raudoitus valitaan ohjelmissa valikosta, jossa on useita tavallisimpia raudoitusvaihtoehtoja perusasetuksina. Raudoitustyytit on esitetty valikoissa kuvaajin, joten niiden käyttö on suhteellisen intuitiivista ja nopeaa. Esimerkiksi pilarille voidaan määrittää useampia pääteräksiä poikkileikkauksen sivulle, jolloin ohjelma laskee automaattisesti terästen sijainnin poikkileikkauksessa. Vanhemmassa poikkileikkausohjelmassa taas raudoitusta ei syötetä ohjelmaan lainkaan, vaan ohjelma yksinkertaisesti laskee vaaditun raudoituksen pinta-alan annetun raudoituksen painopisteakselin suhteen. Painopisteakseli on esitetty rakenteen kuvaajassa viivalla.

Ohjelmistossa ei ole erillistä ohjelmaa palkin mitoittamiseen, mutta palkki voidaan mitoittaa ohjelmistoon kuuluvalla poikkileikkaus-ohjelmalla.



Kuva 3. Frilo Softwaren pilarimitoitusohjelman näkymä.

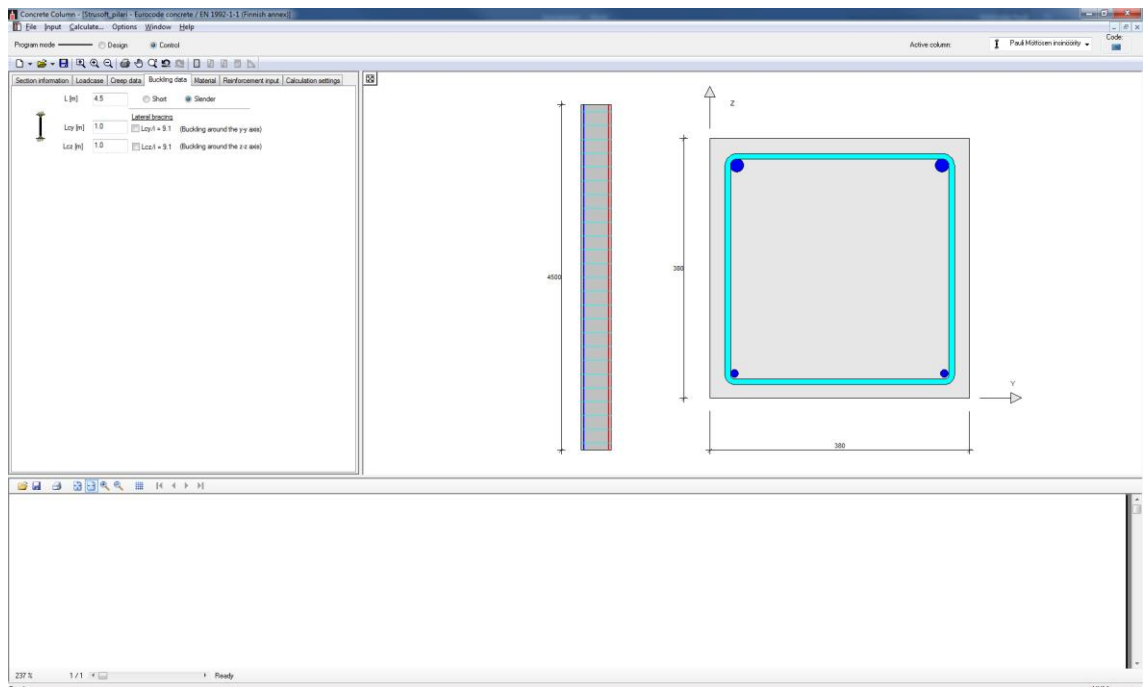
FRILo Softwaren ohjelmien tulosteet ovat selkeät ja sisältävät myös laskennan välivaiheiden tulokset. Tulosteiden sisällön voi valita vapaasti vasemman reunan päävalikosta mitoitustarkastelun tarkkuudella. Tulosteet sisältävät mitoitustulosten lisäksi rakenteen kuvaajat.

3.4 WIN-Statik

WIN-Statik on ruotsalaisen ohjelmistoyhtiö Strusoftin kehittämä mitoitusohjelmisto. Ohjelmisto sisältää seitsemän betonirakenteiden mitoitusohjelman lisäksi kehärakenteiden analysohjelman sekä muurattavien rakenteiden mitoitusohjelman. Ohjelmat käyttävät

sisäisten voimasuureiden laskennassa FEM-menetelmää. Ohjelmat mitoittavat betonirakenteita eurokoodin 1992-1-1 mukaisesti, lisäksi pilarianturan mitoitusohjelmassa geotekninen mitoitus tapahtuu eurokoodin 1997-1-1 mukaisesti. Ohjelmien käyttämistä suunnitteluperusteista ei löydy ohjelmissa tai yrityksen kotisivuilta mainintaa [17].

Ohjelmien käyttöliittymät ovat keskenään peruseriaatteiltaan samanlaiset, joskin ohjelmien valikoiden määrä ja toiminnot poikkeavat toisistaan paljonkin. Tiedot syötetään ohjelmaan yläpalkista avattavien valikoiden kautta. Ohjelmien näkymästä pääosan vie rakenteen usealle välilehdelle jaetut kuvaajat. Kuvaajien sisältö vaihtelee ohjelmittain, mutta niissä esitetään muun muassa rakenteen mitat, tuenta, raudoitus, kuormat ja taipumat.



Kuva 4. WIN-Statikin pilarimitoitushjelman näkymä.

Ohjelmat luovat rakenteen raudoituksen automaattisesti esiasetusten pohjalta. Ohjelmaan syötetään haluttu tankokoko ja raudoitusterästen teräslaatu, jonka perusteella ohjelma laskee tarvittavan tankomäärän ottaen huomioon muut rakenteen reunaehdot, kuten palkin tapauksessa esimerkiksi kokonaistaipuman. Pilarinmitoitushjelmassa raudoitus voidaan syöttää myös käsin taulukon kautta.

WIN-Statikin ohjelmien tulosteet ovat selkeät mutta eivät sisällä juurikaan laskennan väliarvoja. Tulosteiden sisällön muokausvaihtoehdot vaihtelevat ohjelmakohtaisesti.

4 Mitoittaminen ohjelmilla

4.1 Pilarin vertailulaskelma

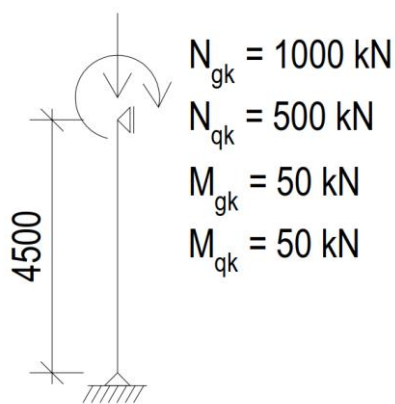
Ohjelmilla tehtiin vertailulaskelma pilarista ohjelmien mitoitusmenetelmien erojen selvittämiseksi. Laskelman tekeminen ohjelmilla osoittautui yllättävän hankalaksi. Opinnäytetyön aloitusvaiheessa oletettiin, että ohjelmien laskennan esiasetukset olisivat keskenään hyvin samanlaiset. Nopeasti kävi ilmi, että ulkomaisissa ohjelmissa laskenta-asetuksia pystyttiin muokkaamaan monipuolisesti, eivätkä asetukset olleet valmiiksi lainkaan samanlaisia kuin mihin allekirjoittanut esimerkiksi SKOL-pohjissa ja ammattikorkeakoulun kursseilla tehtävässä laskennassa on tottunut. Suunnittelijan täytyy luonnollisesti ohjelmia käyttäessään olla hyvin selvillä siitä, mitä tarkasteluja kunkin rakenneosan mitoituksessa on tehtävä ja miksi, sillä ohjelmissa voi olla ylimääräisiä ominaisuuksia tai jotkin tärkeät mitoitus tarkastelut voivat ohjelmista puuttua kokonaan.

FRILO Softwareen ja IDEA StatiCan ohjelmiin ei ollut saatavilla vertailuhetkellä Suomen kansallista liitettä, joten vertailussa käytettiin Eurokoodin ohjearvoja. Eurocode Servicessä ja WIN-Statikissa mitoitus tehdään Suomen kansallisen liitteen mukaan.

Betonirakenteiden suunnittelussa pilari on määritelmältään sauvamainen rakenneosa, jonka toinen sivumitta on enintään neljä kertaa toista sivumittaa leveämpi. Erillispilarilla taas tarkoitetaan yksittäistä pilarielementtiä tai kehärakenteen osaa, jota voidaan mitoituksessa käsitellä erillisenä tai muusta rakenteesta irrotettuna kokonaisuutena [1, s.115]. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan yksiaukkoisen erillispilarin mitoittamista ohjelmilla tapauksessa, jossa pilari on tuettu ala- ja yläpäästään nivelellisesti siten, että sivusiirtymät ovat estetyt molemmissa päissä. Pilarin vaikuttaa puristava normaalivoima ja yläpäässä momentti. Pilarin mitoittamista tutkitaan vain yhden akselin ympäri.

Eurokoodi antaa useita eri vaihtoehtoja pilarin mitoittamiseen. Tässä opinnäytetyössä vertailtavat ohjelmat mitoittavat pilarin nimellisen kaarevuuden menetelmällä, tosin FRILO Softwaren mitoitusohjelmassa on valittavissa myös Saksan kansallisen liitteen tarjoama vaihtoehtoinen tapa [20]. Strusoftin WIN-Statik tekee mitoituksen myös nimellisen jäykkyyden menetelmällä, mikäli tätä menetelmää halutaan käyttää.

Vertailussa betonin mitoituslujuutena käytettiin lujuutta C35/45 ja rakenteen rasitusluokkana oli XC1. Toleranssiluokkana oli 1. Rakennemalli ja pilarin kuormitus on esitetty kuvassa 3. Muuttuvat kuormat N_{qk} ja M_{qk} ovat hyötykuormaa, luokka A, asuintilat. Seuraamusluokka vertailussa on CC2. Raudoituksena on halkaisijaltaan 20 mm harjateräs-tangot pilarin nurkissa. Hakaraudoituksen halkaisija on 8 mm ja sen jakoväli 300 mm. Siten pääraudoituksen reunaetäisyys on 35 mm suojabetonin ollessa ympäristörasitusluokan ja betonin lujuuden vaatima 15 mm. Lisäksi mitoituksessa käytetyt virumaluku, hoikkuusluku, ja tehollinen pituus ovat samat joko ohjelmien laskemina tai erikseen niihin syötettyinä ohjelmasta riippuen.



Kuva 1. Vertailulaskelmassa mitoitettun pilarin kuormat ja rakennemalli.

| Pilarin mitoitustulokset, vertailulaskema | | | Eurocode Service | IDEA StatiCa 8 | FRILO Software | WIN-Statik | Vertailulas kelma |
|---|----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|------------|-------------------|
| <u>MRT</u> | | | | | | | |
| Annettu pääraudoitus | A_s | mm ² | 1257 | 1257 | 1257 | 1257 | 1257 |
| Vaadittu pääraudoitus | $A_{s,vaad}$ | mm ² | 835 | - | - | - | 854 |
| Lisämomentti | $N_{ed} * e_1$ | kNm | 20,3 | - | 22,5 | 21,6 | 21,6 |
| Nimellinen lisämomentti | M_2 | kNm | 45,7 | - | 49,9 | 69,3 | 45,8 |
| Mitoitusmomentti | M_{Ed} | kNm | 156,3 | 168,9 | 157,95 | 223,4 | 154,1 |

Taulukko 1. Pilarimitoitushjelmien ja käsin laskennan mitoitustulokset.

Kaikki vertailtavat ohjelmat mitoittavat pilarin eurokoodin EN 1992-1-1 määräysten mukaisesti.

Tulosten perusteella ohjelmien tavat mitoittaa pilari poikkeavat toisistaan paljon. Eurocode Service ei ota huomioon raudoituksen painoa, joten sen tekemä mitoitus eroaa muiden ohjelmien mitoituksesta jo lähtötietojen osalta. IDEA StatiCa ei esitä mitoitustuloksia, ainoastaan mitoittavat voimasuureet ja rakenteen käyttöasteen. Ohjelmat eivät myöskään laske vaadittua pääraudoituksen määrää Eurocode Serviceä lukuun ottamatta, vaan ilmoittavat mitoituksen olevan riittävä. WIN-Statikin tapa laskea mitoitusmomentti eroaa huomattavasti eurokoodin tavasta. Ohjelma laskee suoraan yhteen ensimmäisen asteen momentin ja lisämomentit, jolloin mitoitusmomentiksi tulee huomattavasti suurempi arvo kuin eurokoodin yhdistelykaavoilla laskettu arvo. Lisäksi toisen asteen vaikutus on ohjelmassa suurempi kuin käsin laskennassa saatu tulos. Myös IDEA StatiCan mitoitusmomentti poikkeaa käsin laskennan arvosta, mutta syytä tähän ei varmuudella saada selville. Ohjelmaan voidaan syöttää kaikki kansallisten liitteiden kertoimet, ja muutenkin ohjelma ilmoittaa tekevänsä mitoituksen eurokoodin mukaan. Mitoitusmomentin ohjelma ilmoittaa olevan kahden suuntaisen momentin ja normaalivoiman yhdistelmälle (M-M-N).

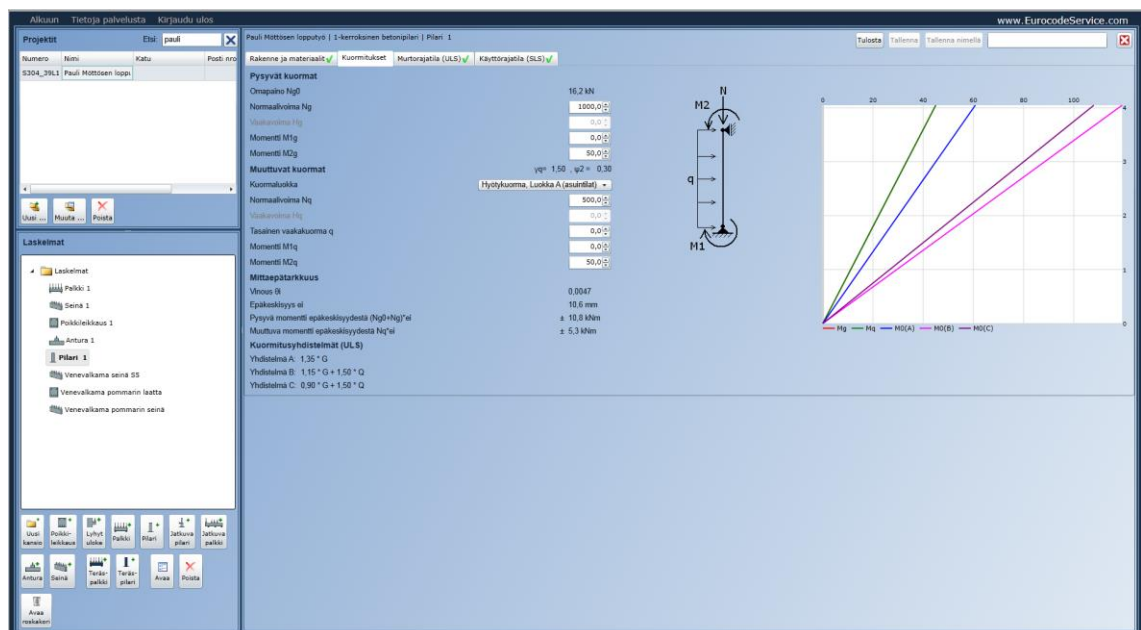
IDEA StatiCan ja WIN-Statikin mitoitustulokset poikkeavat Frilo Softwaren ja Eurocode Servicen tuloksista senkin vuoksi, että ne mitoittavat pilarin kahteen vaaka-akselin suuntaan huolimatta siitä, että projektin asetuksissa on määritelty kuormien suunnaksi vain yksi poikkileikkauksen akseli. Ohjelmat laskevat kuitenkin perusepäkeskisyydestä ja taipuman aiheuttamasta lisämomentista johtuvat ensimmäisen ja toisen kertaluvun momentit myös siinä suunnassa, jota ei varsinaisesti olla mitoittamassa. Laskennassa pilarit asetettiin tuetuiksi yläreunastaan myös siinä suunnassa, jossa laskenta ei tapahtunut. Laskentaesimerkin pilarin murtorajatilan käyttöasteeksi saatiin IDEA StatiCalla 99%, kun se Eurocode Servicellä ja FRILO Softwarella oli annetulla raudoituksella saavutetun momenttikestävyyden perusteella arvioituna noin 60%–80%. WIN-Statikilla käyttöaste oli 112%, mutta tulos ei ole edellä mainituista syistä ole vertailukelpoinen.

Strusoft mitoittaa pilarin valinnaisesti molemmilla eurokoodissa EN 1992-1-1 hyväksytyillä tavoilla, nimellisen kaarevuuden menetelmällä ja nimellisen jäykkyyden menetelmällä. Tämä ominaisuus voi olla hyödyllinen, sillä toinen menetelmistä antaa edullisempia mitoitustuloksia kuin toinen.

4.2 Pilarin mitoittaminen ohjelmilla

Eurocode Servicen pilarimitoitushjelmassa on neljä välilehteä. Ensimmäisellä välilehdellä valitaan rakenteen mitat, betonin suojaetäisyys sekä pilarin tuentatyyppi, jonka perusteella ohjelma laskee pilarin nurjahduspituuden. Ohjelma laskee tarkan nurjahduspituuden eurokoodin kaavoilla. Toisella välilehdellä syötetään kuormitukset. Ohjelmassa voidaan syöttää rakenteelle normaalivoima, molemman pilarin pään momentit ja tasainen vaakakuorma sekä pysyville että muuttuville kuormille. Ohjelma laskee omapainon automaattisesti.

Ohjelma laskee kolme murtorajatilan kuormitusyhdistelmää syötettyjen kuormien perusteella sekä lyhytaikaisen että pitkäaikaisen ominaiskuormien yhdistelmän käyttörajilatarkastelua varten. Ohjelma lisää omapainon pilarin normaalivoimaksi. Kolmannella välilehdellä esitetään murtorajatilan laskentatulokset sekä syötetään haluttu raudoitus. Neljäs välilehti esittää eurokoodin mukaiset käyttörajatilan tarkastelut sisältäen halkeaman-tarkastelun sekä pitkäaikaisella että lyhytaikaisella yhdistelmällä.



Kuva 5. Eurocode Servicen pilarimitoitushjelman kuormitukset-välilehti.

Kuormitukset -välilehdellä on käytännöllinen kuvaaja, joka esittää sekä syötettyjen kuormien että murtorajatilan kuormitusyhdistelmien momenttikäyrät. Murtorajatila-välileh-

dellä esitetään pilarin mitoitus nimellisen momentin menetelmällä. Tällä välilehdellä esitetään myös kuvaajassa kaikkien kolmen kuormitusyhdistelmän nimelliset lisämomentit sekä mitoitusmomentit. Suunnittelija saa kuvaajista nopeasti käsityksen siitä, missä kohtaa pilaria maksimimomentti sijaitsee, joskin kuvaajassa voisi näkyä myös pilarin kapasiteetti ja maksimimomentin kohtaa voisi merkitä pisteellä [9].

Tietoja muutettaessa joudutaan vaihtamaan välilehdeltä toiselle, jolloin esimerkiksi raudoituksen ja rakenteen mittojen tai kuormituksen muuttamisen vaikutuksia mitoitus tuloksiin ei nähdä välittömästi. Ohjelman käytössä huomioitavaa on myös se, että rakenne mitoitetaan vain yhteen suuntaan vaikuttaville kuormille. Ohjelma ei mitoita rakennetta useammasta suunnasta vaikuttavien kuormien yhdistelmille, joten rakenne pitää mitoittaa käytännössä erillisillä laskelmilla kahteen suuntaan. Mikäli epäkeskisyydet kahteen suuntaan ovat riittävän isoja, on mitoituksessa käytettävä vinon taivutuksen teoriaa.

IDEA StatiCan pilarimitoitushjelmassa välilehtiä on kuudessa ryhmässä yhteensä 17. Kolme välilehdistä sisältävät eri tarkkuustason tulosteet mitoitukselta. Ensimmäisillä Project- ja Geometry-välilehdillä syötetään rakenteelle projektin tiedot, betonin materiaalitiedot ja rakenteen mittatiedot. Seuraava Loads-ryhmä sisältää kolme välilehteä, joilla annetaan rakenteelle kuormaluokat, näihin sijoitettavat kuormat sekä määritetään kuormitusyhdistelmät. Load cases -välilehdeltä, voidaan valita laskentaan rakenteen omapainon lisäksi kahdeksan kuormitustapausta.

Concrete Design 1D -ryhmän välilehdiltä tehdään pilarin lopulliseen mitoitukseen vaikuttavat valinnat. Data-välilehdellä valitaan tarkasteltavat kestävyudet, kuten taivutuskestävyys murtorajatilassa ja jännitystarkastelut ja halkeamaleveys käyttörajatilassa. Ohjelmassa voitaisiin ottaa tarkasteluun mukaan myös esimerkiksi leikkauskestävyys ja leikkausvoiman, taivutusmomentin ja väännön yhteisvaikutus [Leskelä s.309-313], mutta nämä tarkastelut eivät tavallisessa pilarin mitoittamisessa ole tarpeellisia. Samalta välilehdeltä valitaan myös ympäristörasituksen tiedot ja virumaluku käyttäjän syöttämän tai ohjelman laskeman välillä. Reinforcement-välilehdellä taas syötetään raudoituksen tiedot IDEA StatiCan raudoituseditorilla. Buckling/Deflection-välilehdellä taas voidaan muuttaa taipuman ja toisen kertaluvun vaikutusten laskennan asetuksia. Geometrisen epätarkkuuden aiheuttaman epäkeskisyyden vaikutus voitaisiin määrittää koskemaan myös käyttörajatilatarkasteluja.

Concrete Design 1D -ryhmän välilehtien ollessa valittuina voidaan yläpalkista Code-näppäimellä saada esiin taulukko, jonka kautta päästään muuttamaan suurta määrää laskennassa käytettäviä kertoimia. Valikosta voidaan asettaa kansallisissa liitteissä määritettyjä kertoimia.

Ohjelma esittää mitoituksen välivaiheiden tulokset Results-välilehdellä. Seuraavassa Report-välilehtiryhmässä voidaan valita kolmesta eri vaihtoehdosta laajuudeltaan sopivin tuloste. Valittavana on suppea, normaali ja laaja mitoitusraportti. Raporttipohjissa tulosten sisältö voidaan valita vapaasti taulukon ja kuvaajan tarkkuudella.

FRILO Softwaren ohjelmistossa pilarin mitoittaminen tapahtuu pilari-ohjelmalla (B5), joka edustaa ohjelmien vanhempaa mallia. Ohjelmalla voidaan mitoittaa pilari myös poikkeileikkauksessa kahden akselin suuntaisesti. Pilarin lisäksi ohjelmalla voidaan mitoittaa myös teräsbetoniseinä, jonka mitoittaminen ei juurikaan poikkea pilarin mitoittamisesta.

Ohjelman näkymä on hyvin yksinkertainen. Vasemmalla olevasta puuvalikosta valitaan suunnittelunormi, pilarin tyyppi sekä laskennan ja raudoituksen asetukset, jotka avautuvat omissa erillisissä valikoissaan hiirenpainalluksella. Pilarin tyyppiä voidaan valita tässä vertailussa esimerkkinä käytettävän nivelellisesti tuetun pilarin lisäksi mastopilari sekä alareunastaan jäykästi ja yläreunastaan nivelellisesti tuettu pilari. Yläpalkissa olevista näppäimistä voidaan avata erillinen ohjelma, jolla voidaan luoda havainnekuvia mitoitettavasta rakenteesta. Yläpalkissa olevalla M-näppäimellä ohjelma piirtää momentti- ja normaalivoimakuvaajat, mikä on helppoudessaan ja yksinkertaisuudessaan hyvä ominaisuus. Yläpalkista voidaan siirtyä myös tekstinäkymään, mikäli halutaan tarkastella mitoituksen tuloksia.

Kuvanäkymän alapuolella oleviin kenttiin syötetään rakenteen kuormat. Rakenteelle voidaan syöttää sekä pysyvää että muuttuvaa kuormaa suoraan kenttiin, tai syöttää useampia kuormia erillisen taulukon kautta. Tämä mahdollistaa sekä nopean kuorman syötön tai monimutkaisempien kuormayhdistelmien syöttämisen kuitenkin niin, että käyttöliittymä pysyy melko yksinkertaisena. Rakenteelle voidaan syöttää tutkittavassa mitoitus-tapauksessa momentit rakenteen ala- sekä yläpään normaalivoiman lisäksi, sekä tasan jakautunut kuorma pilarin sivulle. Rakenteen kuvaaja vieressä olevaan ruutuun syötetään myös raudoitusterästen suojabetonin paksuus.

Rakenteen ympäristörasitus- ja materiaalitiedot valitaan Durability-valikosta. Rakenteelle voidaan tehdä melko monipuolisesti valintoja, esimerkiksi raudoitukselle ja betonille voidaan asettaa erikseen rasitusluokat. Lisäksi ohjelma laskee haluttaessa betonin kutistuman aiheuttaman viruman betonin sementtityypin ja muiden lähtöarvojen perusteella.

Ohjelma tekee pilarille tarvittaessa myös palotilanteen mitoituksen. Mitoitusmenetelmä voidaan valita kahden Eurokoodin antaman menetelmän välillä. Mitoitusmenetelmä, haluttu paloluokka ja muut palomitoituksen asetukset valitaan Fire protection -valikosta.

Ohjelma mitoittaa rakenteelle raudoituksen joko automaattisesti tai suunnittelijan tekemien esiasetusten mukaan. Esiasetukset tehdään Reinforcement-valikosta, joka avataan päävalikosta. Asetuksissa voidaan määrittää haluttu tankopaksuus, pääraudoituksen määrä sekä haluttu hakaraudoituksen määrä. Ohjelma luo raudoituksen annettujen vaatimusten mukaan automaattisesti. Ohjelma luo hakaraudoituksen pilariin ottaen huomioon tihennetyn hakavälin pilarin juuressa ja yläpäässä.

Reinforcement

ceiling
Sector

Nr.: height = m
thick. dp = cm RFB = m

distance edge of column - edge of ceiling
left = cm right = cm
front = cm behind = cm

binding beam dir z
 exists
b0 = cm
d0 = cm

binding beam dir y
 exists
b0 = cm
d0 = cm

column above ceiling
 exists rectangle circle
by = cm dz = cm

Reinforcement
longitudinal reinforcement
wire fabrics
steelbars

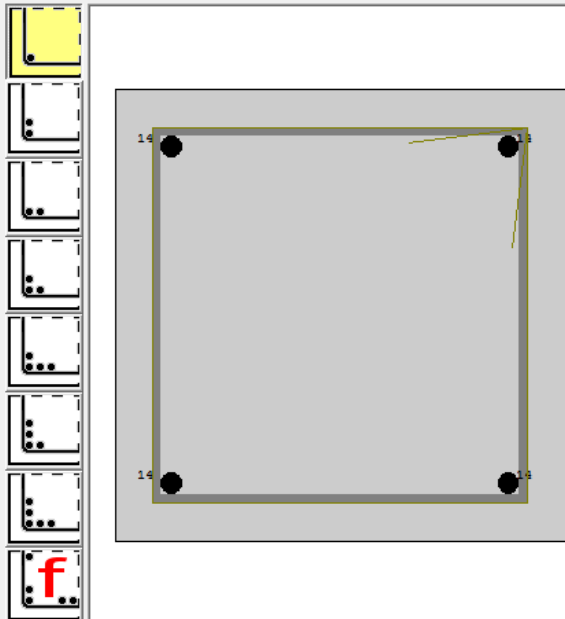
stirrups
wire fabrics
steelbars

length of reinforcement
defined existing
b1y= 4,5 cm 3,8 cm
d1z= 4,5 cm 3,8 cm

additional reinforcement
steelbars

concrete cover and reinforcement
c nom. w= cm
nec. As= 2,55 cm²
nec. As,f= 0,00 cm²
exist. As= 6,16 cm²
exist. As,f= 6,16 cm²
def. As= cm² <-

anchorage of longitudinal reinforcer
 all ending in ceiling
 all in column above
 defined in section reinf.



Cross section
 pier
 wall segment
 end of wall

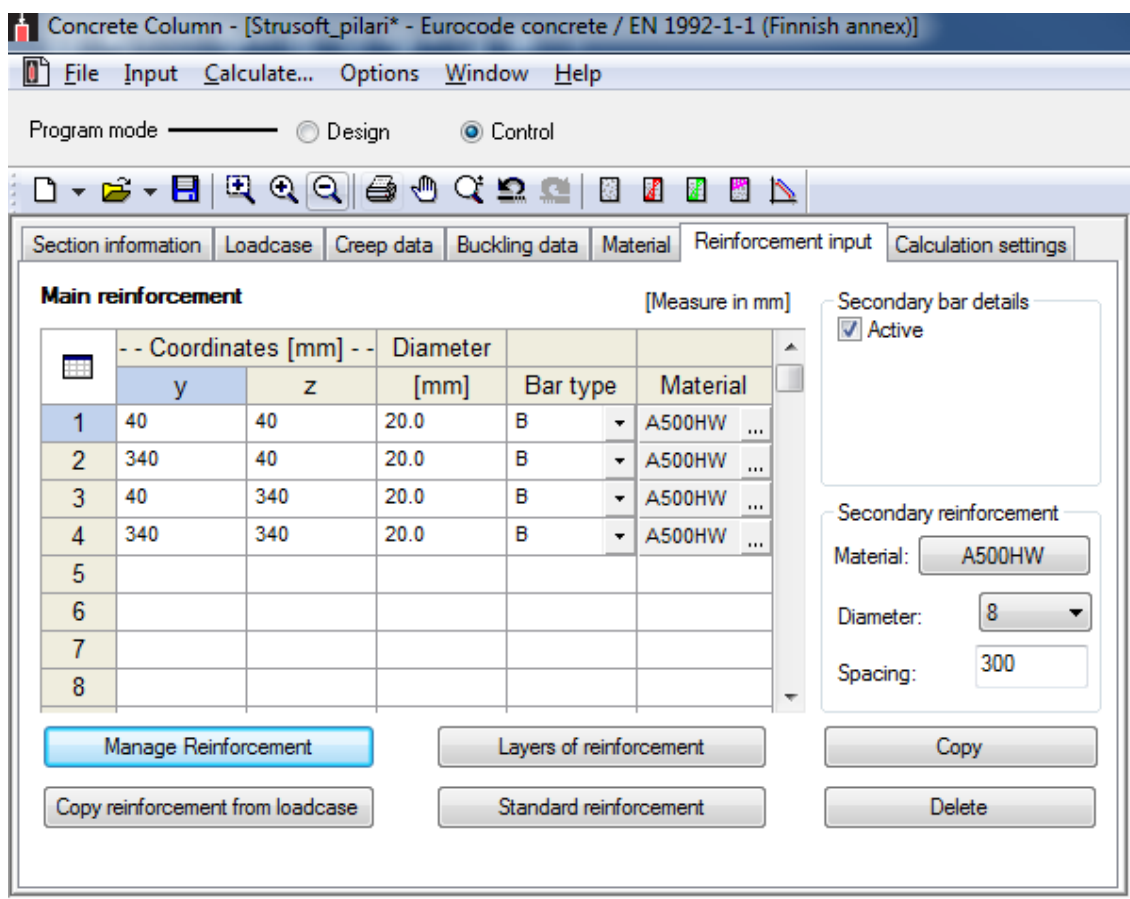
reinforcement position

Kuva 6. FRILO Softwaren pilarimitoitushjelman raudoitus-valikko.

Mitoituksen tulosteen asetukset tehdään näkymän vasemman puolen valikosta. Suunnittelija voi itse valita täysin tulosteeseen tulevat tiedot. Lyhimmillään ohjelma tulostaa vain lyhyen, yhden sivun mittaisen tiivistelmän mitoitus tuloksista. Lisäksi tulosteeseen voidaan valita esimerkiksi yksityiskohtaiset raudituksen mitoituksen ja nimellisen kaarevuuden menetelmällä tehdyn voimasuureiden laskennan tulokset sekä leikkaus- ja käyttörajatilatarkastelu.

Mielenkiintoinen lisäominaisuus ohjelmassa on päävalikosta valittava vaihtoehdoisen rakenteen mitoittaminen. Ohjelma avaa Steel column- tai Timber column -valintojen kautta FRILO Softwaren puu- ja teräspilareiden mitoitusohjelmat. Ohjelma syöttää mitoittettavan rakenteen mitat ja kuormat ohjelmiin suoraan, jolloin suunnittelija voi joissain tapauksissa verrata eri materiaaleja.

WIN-Statikin pilarimitoitushjelmalla voidaan mitoittaa yksiaukkoinen pilari. Ohjelmassa tiedot syötetään näkymän vasemmalla yläreunassa olevan valikon kautta. Valikossa on seitsemän välilehteä. Valikon lisäksi näkyvissä on rakenteen kuvaaja sekä alareunassa mitoitus tulosteen esikatselu. Ohjelmassa saadaan rakenteen mitta- ja raudituskuvaajan lisäksi esiin poikkileikkauksen rasiusten kuvaajat sekä yhteisvaikutusdiagrammi. Ohjelmassa on kaksi moodia: Design-moodi, jossa ohjelma laskee automaattisesti sopivan raudituksen pilarille, sekä Control-moodi, jossa suunnittelija voi itse määrittää raudituksen. Ohjelman näkymää voidaan muokata: näkymän ikkunat voidaan asettaa kelloviksi ja niiden kokoa voidaan muuttaa.



Kuva 7. WIN-Statikin Column-ohjelman rauditusvalikko.

Valikon ensimmäiseltä välilehdeltä syötetään rakenteen poikkileikkauksen tiedot. Poikkileikkaus valitaan erikseen avautuvasta Section Database -valikosta. Toisella Loadcase-välilehdellä syötetään rakenteen kuormat. Pilarille voidaan syöttää pilarin yläpäässä vaikuttavat momentit kahdessa vaaka-akselin suunnassa sekä pystysuora normaalivoima. Kuormat syötetään suoraan murtorajatilan ja käyttörajatilojen valmiina mitoituskuormina. Ohjelmaan voidaan syöttää pilarille useampia kuormitustapauksia, kuormien määrää ei ole ohjelmassa rajoitettu lainkaan. Käytännössä suunnittelijan pitää syöttää murtorajatilan ja käyttörajatilan pitkäaikaiset sekä lyhytaikaiset kuormitukset ohjelmaan erikseen. Ohjelma ei tee käyttörajatilan mitoitustarkasteluja Design-moodissa. Ohjelma ei myöskään erikseen laske mittapoikkeamasta johtuvaa momenttia.

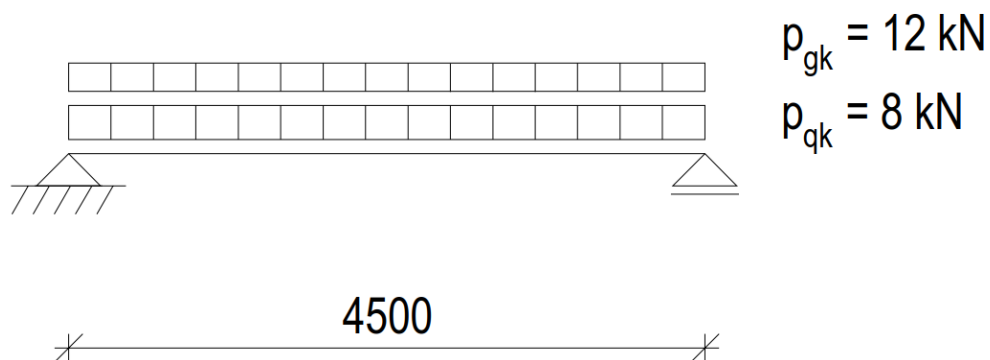
Kolmannella Creep Data -välilehdellä syötetään rakenteen virumaluku. Ohjelma ei laske virumalukua itse, vaan suunnittelijan on se määriteltävä itse. Buckling Data -välilehdellä syötetään pilarin pituus sekä nurjahduspituus kummassakin vaaka-akselin suunnassa.

Ohjelmassa ei määritetä rakenteen tuentatyyppiä erikseen, vaan suunnittelijan on osattava syöttää todellista rakennetta vastaavat nurjahduspituudet. Material-välilehdeltä syötetään pilarin ympäristöasituksen tiedot ja pilarin materiaali. Reinforcement-välilehdeltä joko syötetään erikseen avattavien valikoiden kautta raudoitus tai annetaan laskennan esitiedot riippuen valitusta moodista. Calculation Settings -välilehdeltä voidaan valita esimerkiksi mitoitusmenetelmä nimellisen kaarevuuden ja nimellisen jäykkyyden menetelmän välillä. Ohjelma ei tee käyttörajatilamitoitusta Design-moodissa.

WIN-Statikin pilarimitoitushjelma on yksinkertaisempi ja helppokäyttöisempi kun IDEA StatiCan vastaava ohjelma, mutta siinäkin on pikamitoituskäyttöön tarpeettoman paljon erikseen avattavia valikoita. Esimerkiksi poikkileikkauksen syöttäminen vaatii kolmen valikon avaamista. Hyvää ohjelmassa on näkymän selkeys, rakenteen kuvaaja ja mitoitus-tuloste ovat jatkuvasti näkyvissä. Ohjelma ei laske esimerkiksi virumalukua ja pilarin nurjahduspituutta, vaan suunnittelija on itse syötettävä ne ohjelmaan. Nämä olis verrattain helppo ohjelmoida laskettavaksi automaattisesti, joten tältä osin ohjelma häviää vertailussa muille tutkittaville ohjelmille.

4.3 Palkin vertailulaskelma

Palkin mitoittamista ohjelmilla vertaillaan vapaasti tuetun ja yläpinnaltaan symmetrisesti kuormitetun, poikkileikkaukseltaan suorakulmaisen teräsbetonipalkin tapauksessa. Palkki mitoitetaan eurokoodin mukaisesti murtorajatilassa taivutukselle ja leikkausvoimalle. Käyttörajatilassa tehdään halkeamaleveyden tarkastelu ja betonin sekä raudoitus-teräksen jännitystarkastelu.



Kuva 8. Vertailulaskelmassa mitoittettavan palkin rakennemalli ja kuormat.

Vertailulaskelmassa mitoitettavan palkin leveys on 280 mm ja korkeus 380 mm. Seuraamusluokka on CC2 ja palkin käyttöikä 50 vuotta. Rasitusluokka on vertailussa XC1 ja toleranssiluokka 1. Betonin lujuutena käytetään arvoa C35/45 ja raudoitusteräksien lujuutena on B500B. Hyötykuorman luokka on A, asuintilat. Raudoituksena palkissa on pääraudoituksena 2 T20 ja umpihaat T8 k200. Palkista tehtiin käsin laskennalla vertailulaskelma. Ohjelmien ja käsin laskennan mitoitustulokset esitetään taulukossa 2.

| Palkin mitoitustulokset, vertailulaskelma | | | Eurocode Service | IDEA StatiCa 8 | FRILO Software | WIN-Statik | Vertailulaskelma |
|---|---------------|--------------------|------------------|----------------|----------------|------------|------------------|
| <u>MRT</u> | | | | | | | |
| Vaadittu vetoraudoitusala | $A_{sl,vaad}$ | mm ² | 526 | - | 503 | 531 | 542 |
| Annettu vetoraudoitus | A_{sl} | mm ² | 628 | 628 | 628 | 628 | 628 |
| Taivutuskestävyys | M_{rd} | kNm | 86,2 | 87,1 % | - | - | 90,5 |
| Vaadittu leikkausraudoitusala | $A_{sw,vaad}$ | mm ² /m | 265 | - | 265 | 129 | 405 |
| Annettu leikkausraudoitus | A_{sw} | mm ² /m | 503 | 503 | 503 | 396 | 503 |
| Leikkauskestävyys | V_{Rd} | kN | 167,2 | 33,1 % | - | - | 162,9 |

| | | | | | | | |
|----------------------------|------------|-------------------|-------|--------|-------|------|-------|
| <u>KRT</u> | | | | | | | |
| kokonaistaipuma | | mm | 11,2 | 16,8 | - | 15,8 | 16,1 |
| Halkeamaleveys | w_k | mm | 0,2 | 81,6 % | - | 0,2 | 0,2 |
| Betonin jännitys | σ_c | N/mm ² | -15,9 | 82,0 % | -15,9 | - | -16,3 |
| Raudoitusterästen jännitys | σ_s | N/mm ² | 292,1 | 81,6 % | 292,5 | - | 300,4 |

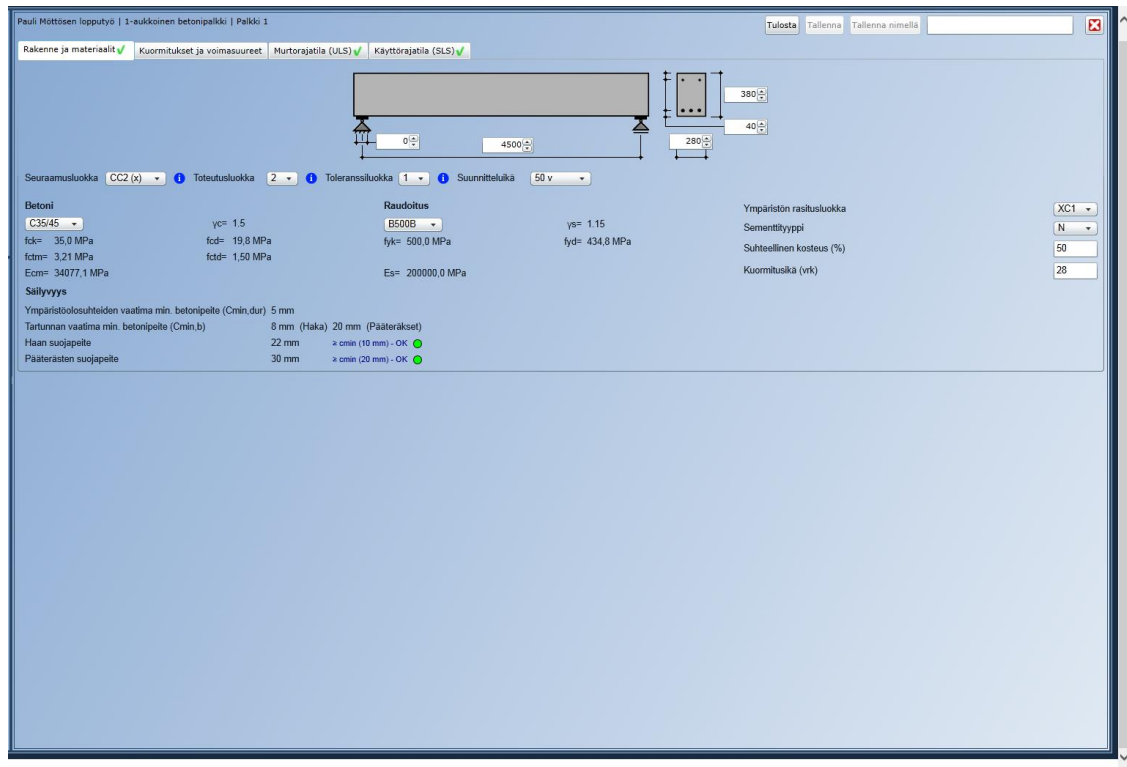
Taulukko 2. Palkin mitoitustulokset vertailtavilla ohjelmissa.

Vertailulaskelman tuloksista havaitaan, että Eurocode Servicen laskentatulokset ovat erittäin lähellä käsin laskennan tuloksia. Suurin ero tulee kokonaistaipuman laskennassa, jossa ohjelman tulos poikkeaa huomattavasti muiden ohjelmien tuloksista. FRILO Software ei ilmoita käyttörajatilan taipuma ja -halkeamaleveystarkastelussa mitoitusarvoja, mutta ilmoittaa mitoitustuloksen olevan hyväksytty. IDEA StatiCa esittää mitoitustulokset vain käyttöasteina. Taivutusmitoituksessa ohjelma ottaa huomioon palkin poikileikkauksen kahden suuntaisen momentin samalla tavoin kuin pilarin mitoituksessa. Lisäksi laskelmassa on käytössä taivutusmomentin uudelleenjakaminen ja taivutusmomentin sekä leikkausvoiman rajoittaminen. WIN-Statikin mitoitettava leikkausvoima on vain 43 kN, joten ohjelma antaa huomattavan vähäisen vaaditun leikkausraudoitusmäärän. Ohjelma ei laske betonin ja raudoitusterästen jännityksiä käyttörajatilassa.

Ohjelmien tavoissa mitoittaa leikkausraudoitus on eroja. Vertailulaskelmassa betonisen puristussauvan kulmaksi oli valittu $21,8^\circ$, joten leikkausraudoitukseksi saatiin pienin mahdollinen teräsmäärä. Koska laskennallinen leikkausraudoituksen pinta-ala jäi hyvin pieneksi, tuli mitoituksessa suurin sallittu hakaväli määrääväksi hakamäärän antavaksi tekijäksi. Eurocode Service ja FRILO Software ilmoittivat vaadittavan minimileikkausraudoituksen määrän, kun taas WIN-Statik vain lasketun vaaditun leikkausraudoituksen määrän. WIN-Statik mitoitti palkille automaattisesti leikkausraudoituksen sallitulla maksimihakavälillä, mutta ohjelmalla ei onnistuttu tekemään mitoitusta käyttäjän määrittämällä hakavälillä, vaikka tämän pitäisi olla mahdollista. IDEAS StatiCa 8:n mitoitustuloksista käy ilmi taas vain annetun leikkausraudoituksen käyttöaste.

4.4 Palkin mitoittaminen ohjelmilla

Eurocode Servicessä palkin mitoitusohjelma muistuttaa rakenteeltaan pilarin mitoitusohjelmaa. Mitoitus tapahtuu neljällä välilehdellä kuten pilarin tapauksessa. Ensimmäisellä välilehdellä määritetään rakenteen mitat ja materiaalitiedot. Toisella sivulla annetaan rakenteen kuormat. Kuormitusten määrittely tapahtuu ohjelmassa hyvin yksinkertaisesti, rakenteelle voi antaa vain yhden tasaisesti jakaantuneen pysyvän ja muuttuvan kuorman. Omapainon ohjelma laskee itse käyttäen betonille tiheyttä 25 kN/m^3 . Ohjelma laskee kuormien perusteella neljä kuormitusyhdistelmää, kaksi murtorajatilan yhdistelmää ja pitkäaikaisen sekä ominaiskuormien yhdistelmän käyttörajatilassa.



Kuva 9. Eurocode Servicen palkkiohjelman näkymä.

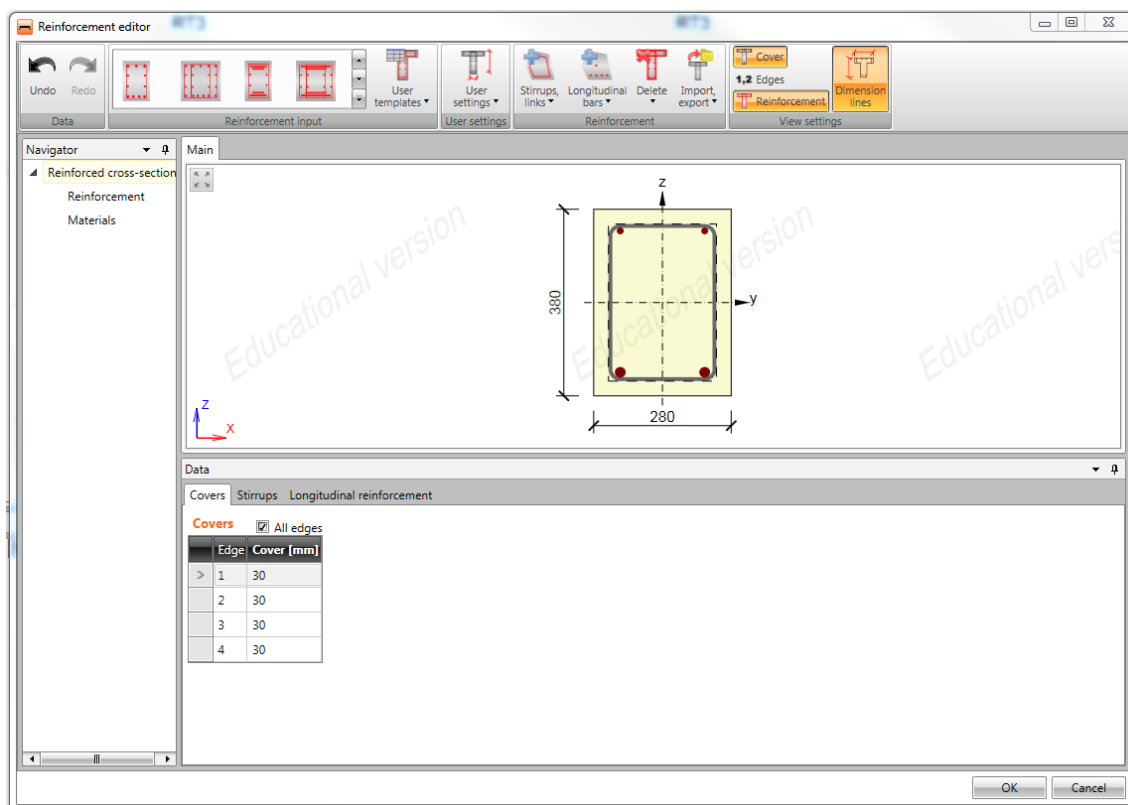
Kolmannella välilehdellä syötetään haluttu pää- ja leikkausraudoitus sekä esitetään eukoodimitoituksen tulokset taivutukselle ja leikkaukselle. Betonin puristussauvan kulma voidaan valita väliä 22,5° – 45°. Neljännellä välilehdellä käsitellään murtorajatilan mitoitustarkastelut. Ohjelma tekee halkeama- ja taipumatarkastelun käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmällä sekä raudoitusteräksen ja betonin jännitystarkastelun ominaiskuormien yhdistelmällä. Suhteellisen taipuman raja-arvo on ohjelmassa $L/250$.

IDEA StatiCan palkinmitoitusohjelma on ulkoasultaan hyvin samanlainen kuin ohjelmistovalmistajan pilarinmitoitusohjelma. Pääosan ohjelman näkymästä vie rakenteen kuvaaja. Ohjelma koostuu yhteensä 24:stä välilehdestä, joilla siirtyminen tapahtuu vasemman reunan päävalikosta. Ohjelmassa voidaan mitoittaa yksiaukkoisen palkin lisäksi myös jatkuva palkki siten, että jokaiselle aukolle annetaan oma poikkileikkauksensa. Lisäksi ohjelma jakaa palkin automaattisesti kolmeen osaan, mikä mahdollistaa palkin raudituksen suunnittelemisen erilaisella leikkausraudoituksella tukien vieressä, jossa leikkausvoima on suurin.

Ohjelman ensimmäisestä Project-välilehtiryhmästä annetaan rakenteen materiaalitiedot ja ympäristörasituksen arvot, sekä luodaan poikkileikkaukset. Geometry ryhmästä annetaan palkkien pituudet sekä määritetään niille tuennat. Loads-välilehtiryhmässä luodaan rakenteen kuormitustapaukset ja annetaan rakenteen kuormat omilla välilehdillään. Palkille voidaan antaa pistekuormia, tietyssä pisteessä vaikuttavia momenteja, jatkuvia kuormia sekä viivakuormia. Rakenteen tuelle voidaan lisäksi määrittää painuma. Välilehtiryhmän viimeiseltä Combinations-lehdeltä määritetään ohjelman mitoituksessa käyttämät kuormitusyhdistelmät. Ohjelma laskee määräävän murtorajatilan kuormitusyhdistelmän, sekä karakteristisen ja pitkäaikaisen käyttörajatilan kuormitusyhdistelmän eurokoodin mukaisesti. Lisäksi ohjelma laskee toistuvan käyttörajatilan kuormitusyhdistelmän, jota ei kuitenkaan suomalaisen käytännön mukaisessa palkin mitoituksessa tarvita.

Seuraavassa Results-välilehtiryhmässä esitetään voimasuureiden laskennan tulokset. Tulokset on jaettu kolmeen ryhmään: tukireaktiot, muodonmuutokset sekä sisäiset voimasuureet.

Concrete Design -välilehtiryhmä on samanlainen kuin IDEA StatiCan palkinmitoitusohjelmassa. Data-välilehdellä määritetään rakenteen ympäristörasitus ja muut materiaalitiedot. Välilehdellä voidaan myös muokata kansallisen liitteen antamia laskenta-asetuksia yläpalkin Code-painikkeen kautta. Välilehtiryhmässä myös määritetään rakenteen poikkileikkauksille rauditus, joka luodaan ohjelman rauditustyökalulla. Laskennassa voidaan ottaa käyttöön myös momentin tasaus. Ohjelman mitoitustulokset annetun raudituksen perusteella esitetään Results-välilehdellä.

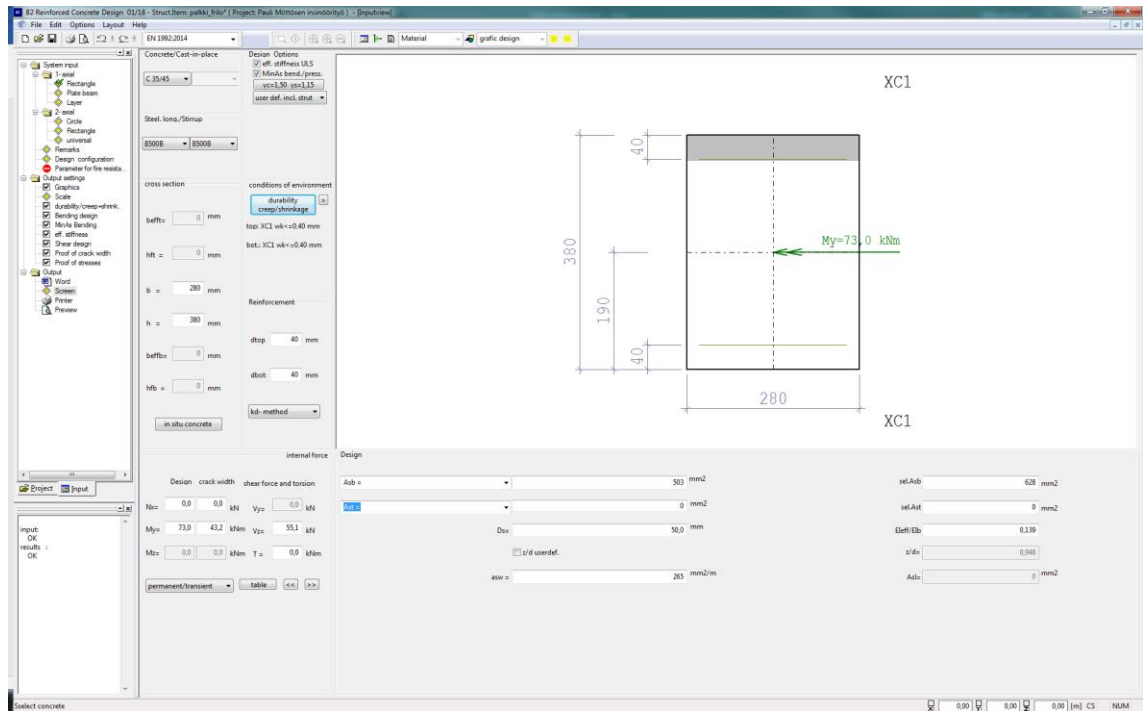


Kuva 10. IDEA StatiCan Beam -ohjelman raudoituseditori.

Report-välilehtiryhmä sisältää kaksi raporttipohjaa mitoitustulostetta varten. Sekä suppeammassa että tarkemmassa tulosteessa voidaan valita tulostettavat tiedot vapaasti. Tulosteen rakenne noudattaa ohjelman mitoituksen kulkua.

Frilo Softwaren ohjelmistossa ei ole erillistä mitoitusohjelmaa palkille, mutta poikkileikkausohjelmalla voidaan tehdä myös palkin mitoitus. Ohjelma ei laske kuormitusyhdistelmiä annettujen ominaiskuormien perusteella, vaan ohjelmaan syötetään suoraan mitoituskormat.

Poikkileikkausohjelma on ulkoasultaan melko samanlainen kuin FRILLO Softwaren pilari-mitoitusohjelma. Näkymän vasemmassa reunassa olevasta päävalikosta avataan valikot, joista päästään säätämään laskennan asetuksia. Poikkileikkausohjelma on sen verran yksinkertainen, että valikosta valitaan vain poikkileikkauksen tyyppi, laskennan asetukset ja tulosteeseen tulevat tiedot. Ohjelmassa ei liikuta eri välilehdillä, mikä tekee sen käytöstä helppoa. Varsinaiset mitoituksen lähtötiedot syötetään ohjelman perusnäky-mässä oleviin kenttiin. Perusnäky-mässä on myös selkeät ja helposti löytyvät valikot rakenteen materiaali- ja ympäristöasetusten parametrien muuttamiseen.



Kuva 11. Frilo Softwaren poikkileikkausohjelman näkymä.

Ohjelmaan syötetään rakenteelle normaalivoima ja taivutusmomentti murtorajatilan ja käyttöraajatilan tarkasteluille. Ohjelmasta ei selviä pintapuolisella tarkastelulla, millä kuormitusarvoilla ohjelma laskee raudoitusterästen ja betonin jännityksen käyttöraajilatar- kastelussa. Kuormitusarvot voidaan syöttää ohjelmassa suoraan kenttiin tai erikseen avattavan taulukon kautta kuten pilarimitoitusohjelmassa. Ohjelma laskee tarvittavan raudoitusmäärän, jonka perusteella suunnittelija syöttää haluamansa veto- ja leikkaus- raudoituksen pinta-alan sille tarkoitettuun kenttään. Syötettyä raudoitusmäärää käyte- tään pilarin lopullisessa mitoituksessa.

Ohjelma varoittaa päävalikon alapuolella olevassa infokentässä suunnittelun virheistä, kuten rakenteen kestävyuden ylittymisestä sekä liian ohuesta raudoituksen betonipeit- teestä. Mikäli Mitoituksessa on tapahtunut virhe, tulee kenttään näkyviin virheviesti, mutta ohjelma ei kerro tarkemmin virheen syytä. Ohjelma ei myöskään erikseen varoita liian vähäisen raudoituksen syöttämisestä, vaan suunnittelija on itse huomattava tämä.

Ohjelman yläpalkissa on tavallisten ohjelman toimintopainikkeiden lisäksi pudotusva- likko, josta voidaan valita käytettävä kansallinen suunnittelunormi. Yläpalkista saadaan myös näkyviin momentti- ja normaalivoimakuvaaja sekä tekstinäkymä kuten FRILo:n pilarimitoitusohjelmassa. Tekstinäkymästä nähdään mitoituksen laskenta-arvot.

Ohjelman päävalikossa voidaan valita tulosteeseen tulevat tarkastelut ja kuvaajat. Käyttäjä voi valita tulostettavat kohdat vapaasti. Päävalikosta avataan myös tulosteen esikatselu erilliseen ikkunaan.

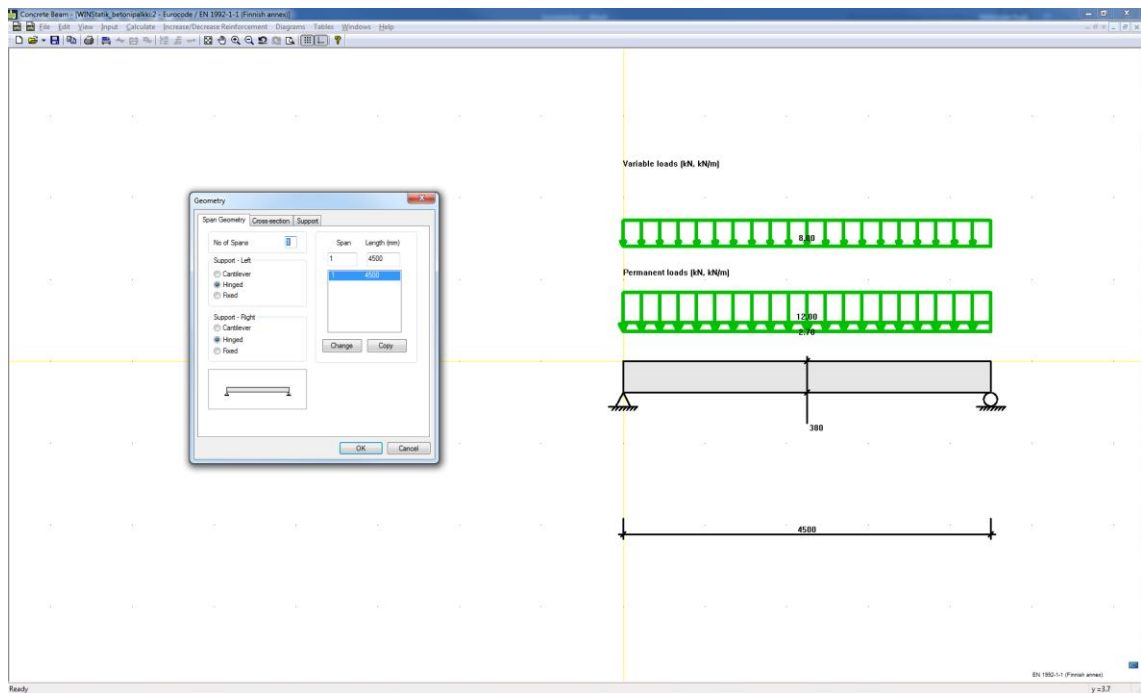
WIN-Statikin palkinmitoitusohjelmassa kaikki tietojen syöttäminen ohjelmaan tehdään yläpalkista avattavien valikoiden kautta. Ohjelman perusnäkyssä ovat koko näkymän vievät rakenteen mittojen, raudoituksen ja voimasuurepintojen kuvaajat, joiden välillä siirrytään yläpalkin symboleista. Ohjelma ei mitoittaessa ilmoita mitoitus tuloksia, vaan ne pitää erikseen tarkastaa Tables-valikosta. Jotta ohjelma tekee mitoituksen, on yläpalkista painettava Calculate-valikosta murtorajatilan ja käyttörajatilan laskenta päälle. Tämän jälkeen ohjelma ilmoittaa mitoituksen onnistumisesta tai epäonnistumisesta.

Ohjelma laskee automaattisesti palkin pää- ja hakaraidoituksen. Raudoitusta voidaan muuttaa Increase/Decrease reinforcement -valikosta. Raudoituksen muuttamisen jälkeen ohjelma laskee rakenteen kestävyuden annetulla raudoituksella.

Loads-välilehdeltä syötetään rakenteen kuormitus. Rakenteelle voidaan syöttää jatkuvaa kuorman lisäksi momentti sekä pistekuormia halutussa pisteessä sekä trapetsikuorma. Kuormat syötetään erikseen murtorajatilalle sekä käyttörajatilan pitkäaikaisella ja lyhytaikaisella yhdistelmälle. Kuormat syötetään ominaisarvoina ja niille määritetään yhdistelykertoimet valikossa. Tapa on hyvin yksinkertainen, joskin vaatii suunnittelijalta tarkkaavaisuutta oikeiden yhdistelykertoimien käytössä. Käytännössä ohjelmalla voi olla varmempaa käyttää valmiita kuormitusten suunnittelu arvoja mitoittamisessa.

Material-välilehdeltä syötetään rakenteen ympäristörasituksen tiedot ja käytettävien materiaalien tiedot. Raudoitusterästen halkaisija valitaan esiasetuksena ohjelman tekemälle mitoitukselle. Valikon rakenne on sama kuin WIN-Statikin pilarimitoitusohjelmassa. Serviceability Limit State -valikosta syötetään käyttörajatilamitoituksessa tarvittavat tiedot. Ohjelmalle annetaan virumaluvun lisäksi kutistuman arvo suoraan. Valikosta syötetään myös taipuman raja-arvo.

Mitoituksen tuloksia voidaan tarkastella Tables-alasvetovalikosta avattavien taulukoiden kautta. Ohjelmassa tuloksia voidaan tarkastella myös avaamalla tulosteen esikatselu File-valikosta. Ennen tulosten tarkastelua on muistettava painaa Calculate-valikosta murtorajatilan ja käyttörajatilan laskenta suoritettavaksi, sillä jos rakenteeseen on tehty muutoksia viimeisen laskennan jälkeen ovat tulokset kadonneet.



Kuva 12. WIN-Statikin palkkiohjelman kuormituskuvaaja ja mittatietojen syöttövalikko.

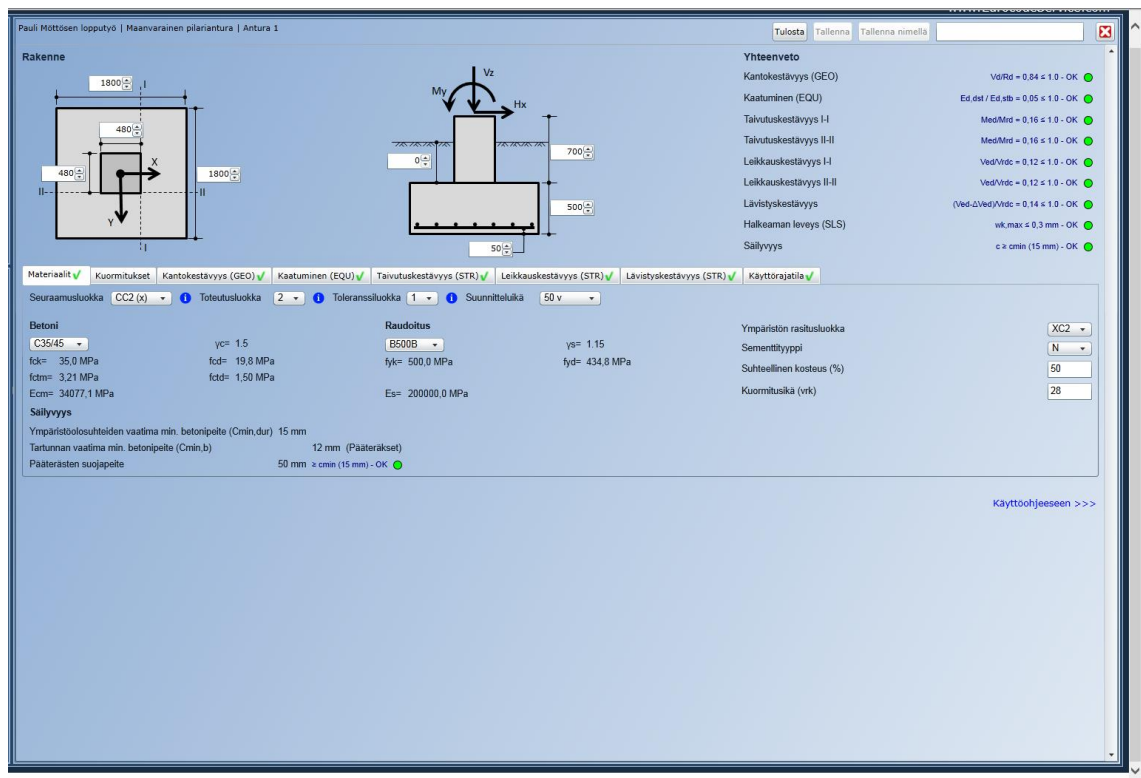
WIN-Statikissa valikoita ei ole kovin paljon ja ohjelman käytön opetteluun ei mene paljon aikaa. Poikkileikkauksen mittojen syöttäminen ja kuormitusten syöttäminen tapahtuvat valikoiden kautta yksinkertaisemmin kuin WIN-Statikin pilari-ohjelmassa. Huonoa ohjelmassa on raudituksen automaattimitoitus, joka ei välttämättä toimi ellei esiasetuksia tehdä väljemmiksi. Lisäksi se, ettei ohjelma tee laskentaa automaattisesti aina rakennetta muutettaessa tekee ohjelma käytöstä hieman hankalamman. Ohjelma ei myöskään tee rauditusterästen ja betonin jännitystarkastelua käyttörajatilassa. Ohjelman tuloste on tiivis ja selkeä, mutta osa tiedoista ei vertailulaskelmaa tehdessä päivittynyt siihen oikein. Tulosteesta jäi pois käyttörajatilan mitoitus tulokset sekä valitun hakaraudituksen perusteella laskettu rakenteen leikkauskestävyys. Ohjelma ei myöskään laskenut palkin kestävyttä leikkausraudoittamattomana, vaan ilmoitti kestävyuden olevan nolla.

4.5 Pilarianturan mitoittaminen ohjelmilla

Pilarianturan osalta verrataan ohjelmien käyttöä tapauksessa, jossa ohjelmilla mitoiteetaan kantavan perusmaan ja soratäytön päälle tehty pilariantura. Routasuojausta ei huomioida vertailussa. Tutkittavassa tapauksessa kuormat vaikuttavat anturasta lähtevän pilari päässä.

Eurokoodin mukaisessa tarkastelussa pilariantura pitää mitoittaa rakenteellisesti osan EN 1992-1 antamien ohjeiden mukaan ja geoteknisen suunnittelun osalta osan EN 1997-1 mukaan. Rakenteellisessa tarkastelussa mitoitetaan antura taivutukselle ja lävistykselle. Rakenteen geoteknisessä tarkastelussa tarkastetaan maan kantokestävyys (GEO) ja rakenteen tasapainon säilyminen (EQU).

Eurocode Servicen pilariantura-ohjelmassa on päänäkymän lisäksi kahdeksan välilehettä, joilla syötetään laskennan tiedot ja joilla esitetään mitoistulokset. Päänäkymässä on koko ajan näkyvillä rakenteen mitta- ja voimasuurekuvaajat sekä yhteenveto rakenteen käyttöasteista mitoistutarkasteluittain. Kuvaajien kenttiin syötetään rakenteen mitatiedot sekä alareunan pääraudoituksen suojabetonikerroksen paksuus.



Kuva 13. Eurocode Servicen pilarianturan mitoitusohjelman näkymä.

Ensimmäisellä välilehdellä syötetään rakenteen suunnittelu- ja materiaalitiedot sekä rasitukset. Ohjelma tarkastaa lisäksi pääraudoituksen suojabetonipaksuuden. Seuraavalla kuormitukset- välilehdellä syötetään rakenteen kuormitukset. Kuormitusten syöttäminen on pilariantura-ohjelmassa huomattavasti monipuolisemmat valintamahdollisuudet kuin esimerkiksi Eurocode Servicen pilari- ja palkki-ohjelmissa. Rakenteelle voidaan syöttää kuormituksia 12 kuormaluokassa, joille voidaan valita omapainon lisäksi vapaasti

pudotusvalikosta eurokoodin antamat kuormaluokat. Jokaiseen kuormitustapaukseen voidaan syöttää yhteensä viisi kuormaa: molempien vaaka-akseleiden ympäri vaikuttavat momentit, vaaka-akseleiden suuntaiset vaakavoimat sekä pystykuorma. Kuormat vaikuttavat pilarin päässä. Ohjelmassa ei voida syöttää kuormia suoraan anturan yläpintaan, ellei pilarin pituutta aseteta nolllaksi.

Anturan pystykuormalle ei voida ohjelmassa syöttää epäkeskisyyttä. Epäkeskisyyys täytyy syöttää ohjelmaan käsin syöttämällä rakenteelle momentti. Tämä on nähty ohjelmassa puutteena. [12.]

Kolmannella välilehdellä tehdään rakenteelle kantokestävyyden tarkastus. Eurokoodi antaa mahdollisuuden mitoittaa antura pohjapaineelle kahdella menetelmällä, DA2 ja DA2* [RIL 207-2017, s.55]. Eurocode Servicellä rakenne voidaan mitoittaa rakenteen molemmilla menetelmillä. Mitoitustavat eroavat toisistaan kuormien osavarmuuskäsittelyn suhteen. DA2-menetelmässä osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin laskennan alussa, kun taas DA2*-menetelmällä laskettaessa kokonaiskuormia kerrotaan osavarmuusluvulla vasta mitoitustarkastelun yhteydessä.

Lisäksi ohjelmassa maan kantokestävyys voidaan joko laskea ohjelmalla tai syöttää ohjelmaan suoraan, mikäli se on määritetty jo muilla keinoin.

Eurocode Service laskee anturan pohjapaineen eurokoodissa esitetyllä tavalla, jossa peruspilarin yläreunaan vaikuttavat momentti ja vaakakuorma muutetaan pystykuorman epäkeskisyydeksi, jonka perusteella taas lasketaan anturan tehollinen pohjapinta-ala (A'). [1, s. 452.]

Kaatuminen (EQU) -välilehdellä tarkastetaan rakenteen kaatumisvarmuus molempien akselien suhteen. Rakenteen pysyvät ja muuttuvat kuormat kerrotaan eurokoodissa annetuilla kertoimilla. Pysyvistä kuormista otetaan huomioon sekä edulliset että epäedulliset kuormat, muuttuvista kuormista vain epäedulliset.

Taivutuskestävyys-välilehdellä mitoitetaan anturan vetorauskoitus. Mitoitus voidaan tehdä kahden vaaka-akselin suuntaan. Mitoitava poikkileikkaus on eurokoodin mukaisesti peruspilarin reunan kohdalla. Ohjelma ei tarkasta pääraudoituksen ankkurointia, joten suunnittelijan on tarkastettava se itse.

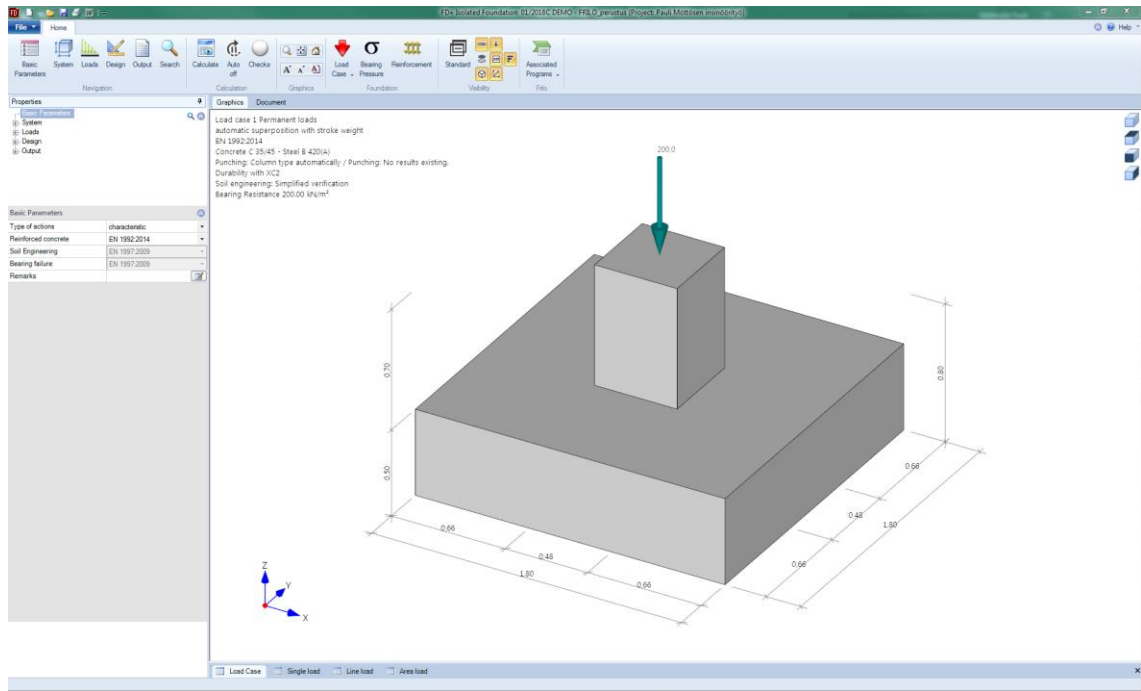
Ohjelmassa tehdään anturan leikkaustarkastelu kahdella tavalla. Suomen kansallisen liitteen mukaan eurokoodin EN 1992-1-1 mukaista tapaa laskea anturan leikkausta ei käytetä. Sen sijaan mitoitus tehdään vanhan rakennusmääräyskokoelman osan B4 mukaisesti. Eurocode Servicessä mitoitus tehdään molemmilla menetelmillä.

Ohjelma tekee käyttörajatilan halkeamatarkastelun eurokoodin EN 1992-1-1 kohdan 7.3.4 mukaisesti.

FRILO Softwaren ohjelmistossa on useita anturan mitoittamiseen tarkoitettuja ohjelmia, joista Isolated Foundation -ohjelma (FD+) soveltuu parhaiten pilarianturan mitoittamiseen. Ohjelma on ulkoasultaan FRILO Softwaren uudempaa sarjaa. Ohjelman ulkoasu on päivitetty modernimmaksi verrattuna aiempaan versioon ja lisäksi rakenteen kuvaaja on muutettu 3D-malliksi. Ohjelmassa ei ole enää kenttiä, joihin mitoituksen tiedot syötetään. Edelleen ohjelman vasemman reunan päävalikosta avautuvat valikot, joihin syötetään nyt kaikki mitoituksen tiedot. Samoihin valikkoihin päästään käsiksi myös yläpalkin kuvakkeista.

Ohjelmalla mitoittamista tutkittiin Saksan kansallisella liitteellä, sillä tällä hetkellä ohjelmaan ei ole saatavissa Suomen kansallista liitettä. Ohjelma ottaa raudoituksen ja taivutuskestävyyden laskennassa huomioon Saksan kansallisen liitteen vaatimukset momentin huippuarvon jakautumisesta teräsbetonirakenteissa, minkä vuoksi mitoitustulokset eroavat jonkin verran suomen kansallisen liitteen mukaan tehdystä laskennasta.

Kun ohjelma avataan, avautuu myös rakenteen luomistyökalu, jolla rakenteen mitat ja peruskuormituksen voi määritellä nopeasti.



Kuva 14. FRILO Softwaren pilarianturan mitoitustyökalu.

Ensimmäiseltä Basic Parameters -ryhmästä valitaan käytettävä suunnittelunormi sekä valitaan, käytetäänkö mitoituksessa ominaiskuormia vai suoraan mitoitusarvoja. Seuraavalta System-ryhmän välilehdiltä syötetään pilarin, anturan ja kantavan maakerroksen mitta- ja materiaalitiedot. Soil-välilehdeltä määritetään tapa, jolla ohjelma mitoittaa anturan pohjapaineelle. Vaihtoehdot ovat pohjapaineen laskenta saksalaisen DIN 1054:2015 standardin mukaan, kantokestävyyden syöttäminen suoraan tai käyttäjän määrittelemä tapa. Käytännössä ohjelman soveltaminen Suomen olosuhteisiin käy ainoastaan syöttämällä suoraan sallittu pohjapaine ohjelmaan. Ohjelma laskee anturan alustan kantokestävyyden yksinkertaistetulla menetelmällä, mikä tarkoittaa maan kantokestävyyden tarkastamista mitoitettavan murtorajatilan kuormitusyhdistelmällä. Ohjelma ei alenna maan kantokestävyyden arvoa kuten Eurocode Service kantokestävyyden osavarmuusluvulla $\gamma_{R,v}$, jonka arvona se käyttää kerrointa 1,55.

Seuraavassa Loads-ryhmässä taas syötetään rakenteen kuormat. Load cases -valikosta sekä luodaan kuormitustapaukset ja syötetään niihin kuormat. Kuormitustapauksia voidaan luoda rajattomasti. Lisäksi erillisistä valikoista voidaan luoda piste-, viiva- sekä pintakuormia itse anturaosalle. Pintakuorma voidaan antaa myös yläpuolisen täytön painosta aiheutuvana kuormana, kun maan tiheydelle annetaan arvo.

Seuraavassa Design-ryhmässä määritellään laskennan parametrit. Punching-valikosta syötetään lävistyksen laskennassa tarvittavat tiedot. Ohjelma laskee lävistyksen eurokoodissa esitetyllä tavalla. Mikäli ohjelmassa valitaan leikkaustarkastelu tehtäväksi kuten palkissa, tekee ohjelma rakenteelle leikkaustarkastelun jos siihen syntyy palkin leikkausta muistuttava kuormitusilanne. Reinforcement-välilehdeltä syötetään raudoituksen laskennan reunaehdot kuten betonipeitteen paksuudet laatan alapinnassa ja muualla anturassa. Valikosta päästään varsinaiseen raudoitustyökaluun, jolla raudoitus voidaan joko syöttää itse tai asettaa tarkempia määreitä sen automaattiseen luomiseen. Raudoitus voidaan mitoittaa myös useammalle kaistalle, jolloin ohjelma ottaa huomioon pohjapaineen ja taivutusmomentin epätasaisen jakautumisen anturan keskellä ja reunaosilla. Lisäksi ohjelma luo ja mitoittaa haluttaessa myös peruspilarin tartuntaraudoituksen. Ohjelma ei kuitenkaan mitoita pääraudoituksen ankkurointia, mutta luo raudoituksen siten, että raudoitusterästen betonipeitteet ja keskiöetäisyydet tulevat eurokoodin määräysten mukaiseksi.

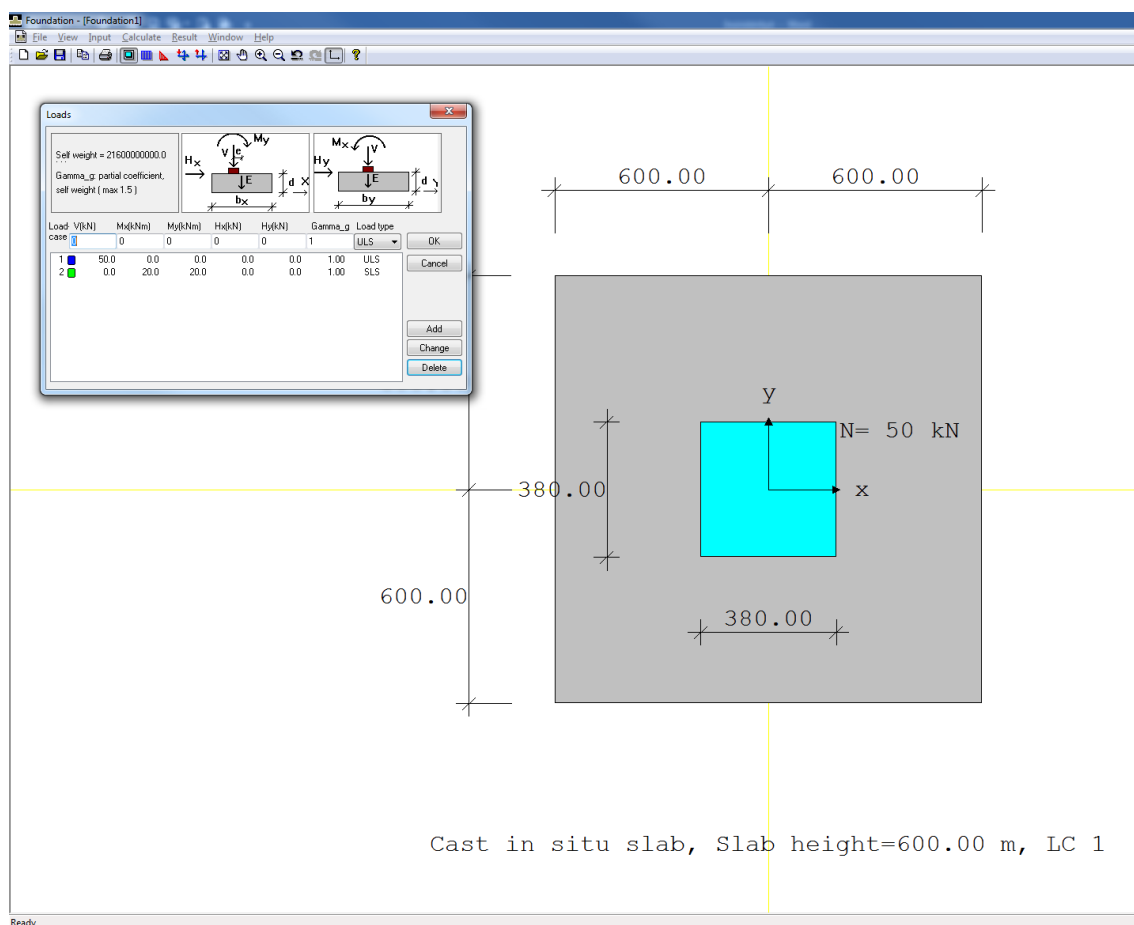
Soil Engineering- valikosta valitaan tehtävät geotekniset mitoituslaskelmat. Ohjelmassa voidaan valita tarkastettavaksi rakenteen tasapaino, liukuminen, maan kantokestävyys, sekä myös rakenteen painuma.

FRILO Softwaren pilarianturan mitoitusohjelma on helppokäyttöinen, mutta rakenteen pikamitoituksessa käytettäväksi melko monimutkainen. Ohjelmassa on siirrytty visuaaliseen suuntaan hylkäämällä kentät, joihin tiedot syötetään. Tämä tekee mitoituksen hankalammaksi, sillä ohjelman perusnäkyvässä ei näy enää mitoituksen lukuarvoja. Mitoituksen käyttöasteet ovat toisaalta koko ajan näkyvissä, mutta lukuarvot löytyvät vain tulosten esikatselusta.

Ohjelman soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin rajoittaa se, että geoteknisen suunnittelun ohjeisto Eurokoodi 7 ei ole kokonaisuudessaan käytössä Saksassa, vaan suuri osa sen määräyksistä on korvattu DIN 1054-standardilla. Hyvillä perusasetuksilla mitoittaminen ohjelmalla voi onnistua nopeasti, mutta ohjelma on optimoitu käytettäväksi saksalaisilla mitoitusmenetelmillä, joten sen soveltuminen käytettäväksi Suomen oloissa on epävarmaa. Esimerkiksi sinänsä perusmitoituksen kannalta epäolennainen painumatarkastelu tehdään saksalaisen DIN 4019:2014 standardin mukaan ja maan kantokestävyden tarkasteluissa käytetty standardi on DIN 4017, joten ohjelman käyttökelpoisuudesta ja muuntautumiskyvystä suomalaisen rakennusmääräysten mukaiseen rakenteen mitoitta-

miseen ei ole tämän insinööriyön puitteissa mahdollista tehdä tarkkaa selvitystä. Ohjelma tarkastaa lävistyksen eurokoodissa määritetyllä tavalla, joten mahdollisuus muokata ohjelma tekemään lävistystarkastelun Suomen kansallisessa liitteessä määritetyllä tavalla on epävarmaa. Ohjelma ei myöskään tee käyttörajatilan halkeamatarkastelua anturalle.

WIN-Statikin pilariantura-ohjelma on hyvin samanlainen kuin valmistajan palkinmitoitusohjelma. Kaikki mitoituskalkeelman tiedot syötetään ohjelmaan yläpalkista avattavien valikoiden kautta. Ohjelmassa ei ole anturan voimasuurekuvaajaa, mutta rakenteen kuvaajan lisäksi ohjelmassa on pohjapaineen jakautuminen ja ohjelman laskema rauditus esitetty kuvaajin. Ohjelma mitoittaa anturan pohjapaineelle ja taivutusmomentille eurokoodin mukaisesti ja laskee tarvittavan pääraudoituksen määrän kahdessa suunnassa. Ohjelma myös tarkastaa pääraudoituksen ankkurointipituuden. Ohjelma tarkastaa anturan lävistyskestävyyden ja tekee anturalle käyttörajatilassa halkeamaleveyden tarkastelun.



Kuva 15. WIN-Statikin pilarianturan mitoitusohjelman näkymä.

Input-ryhmästä avautuvista valikoista syötetään rakenteen kuormat, mitat, raudoituksen esiasetukset sekä käyttörajatilamitoituksen ja geoteknisen mitoituksen tiedot. Ohjelmassa rakenteelle voidaan syöttää vaakavoima ja momentti kahdessa vaakakselin suunnassa, sekä normaalivoima. Normaalivoima ja momentit kohdistuvat pilariin, kun taas vaakavoimat kohdistuvat itse anturaan. Normaalivoimalle voidaan ohjelmassa syöttää epäkeskeisyys. Tämä on etu verrattuna Eurocode Serviceen, jossa pystykuorman epäkeskeisyys täytyy syöttää rakenteeseen pilarin päässä vaikuttavana momenttina.

Geotekninen mitoitus ohjelmassa perustuu eurokoodin EN 1997-1-1 luvussa 2.3.7.3.4 annettuihin ohjeisiin. Ohjelma mitoittaa anturan pohjapaineelle mitoitustavalla 2 kun käytössä on Suomen kansallinen liite. Ohjelman käyttämä mitoitusmenettely (DA tai DA*) ei kuitenkaan selviä ilman tarkempaa tutkimusta ja vertailulaskelmaa. Tapa, jolla ohjelma laskee mitoittavan pohjapaineen, ei kuitenkaan perustu eurokoodissa annettuun yksinkertaiseen menetelmään, vaan ohjelma käyttää pohjapaineen laskennassa ns. Navierin menetelmää. Ohjelma tarkastaa myös rakenteen tasapainon eurokoodin mukaisesti ja tekee rakenteen painumatarkastelun.

5 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tutkittiin neljää betonirakenteiden mitoitusohjelmaa sen kannalta, miten ne soveltuvat pikamitoitusohjelmiksi. Insinööriyössä määriteltiin pikamitoitusohjelmalle asetettavat vaatimukset ohjelmien teknisen toiminnan ja käytettävyyden kannalta. Vaatimuksia pohdittiin ensin insinööriyön aloituskokouksessa, jossa päädyttiin lisäksi tekemään kysely ja haastatteluja yrityksen sisällä ohjelmia käyttävien suunnittelijoiden käyttäjäkokemusten ja ohjelmia koskevien näkemysten selvittämiseksi. Kyselyllä ja haastatteluilla selvitettiin ohjelmien käyttötapoja, ohjelmien tarpeellisiksi katsottuja ominaisuuksia sekä ohjelmien heikkouksia.

Insinööriyön vertailua varten etsittiin vaatimukset mahdollisimman hyvin täyttäviä ohjelmia eurooppalaisilta ohjelmistovalmistajilta. Pois karsiutui neljä ohjelmaa. Karsiutumisen tärkein syy oli se, että ohjelmien ei nähty olevan muokattavissa Suomen kansallisen liitteen mukaiseen mitoitukseen, tai että ohjelmista havaittiin, etteivät ne täytä pikamitoitusohjelman määritelmiä.

Vertailuun valittujen ohjelmien teknistä toimivuutta arvioitiin tekemällä vertailulaskelma teräsbetonipalkin ja -pilarin mitoittamisesta. Ohjelmien käyttövarmuutta ja käytettävyyttä taas arvioitiin mitoittamalla ohjelmilla vertailulaskelmien mitoitus tapauksia ja tutkimalla ohjelmien asetuksia ja ohjelmien käyttämiä mitoitusmenetelmiä sikäli kuin ohjelmien esittämistä mitoitus tuloksista ja mitoituksen välivaiheista oli mahdollista tehdä niistä päätelmiä.

Insinööriyössä havaittiin nopeasti, että ainoastaan Eurocode Service täyttää selvästi nopeakäyttöisen mitoitusohjelman vaatimukset. Ohjelma on optimoitu nopeaan, yksiker taisten rakenteiden mitoittamiseen riisumalla ohjelmasta kaikki mitoitusmenetelmiä koskevat valinnat. Ohjelmassa ei ole lainkaan erikseen avattavia valikoita, vaan kaikki tiedot syötetään välilehdillä oleviin kenttiin. Tämä tekee tietojen syöttämisestä helppoa, ja lisäksi ohjelmien käyttäjä näkee kunkin välilehden sisällön hetkessä. Lisäksi välilehtien määrä on minimoitu ja ohjelmassa ei ole mahdollista muuttaa laskenta-asetuksia. Ohjelman kuvaajat ovat suurimmaksi osaksi selkeitä ja havainnollisia, sekä auttavat rakenteiden toiminnan ymmärtämisessä.

IDEA StatiCan, FRILO Softwaren ja WIN-Statikin ohjelmat on suunniteltu tekemään tarvittaessa huomattavasti monimutkaisempaa mitoittamista kuin mitä nopeakäyttöiseltä mitoitusohjelmalta vaaditaan. Tämän vuoksi ohjelmissa mitoitusasetuksia voidaan muuttaa paljon, mikä taas tarkoittaa sitä, että ohjelmissa on paljon valikoita ja välilehtiä. Ohjelmien käyttö vaatii paljon enemmän perehtymistä niiden toimintaan kuin nopeakäyttöiselle mitoitusohjelmalle on tarkoituksen mukaista, varsinkin kun ohjelmien perusasetukset voivat vaatia muutoksia, jotta mitoittaminen tapahtuu oikein. Erot ohjelmistojen eri mitoitusohjelmien välillä voivat vaikeuttaa ohjelman käyttöä pikamitoitusohjelmalla, varsinkin jos välilehtiä ja valikoita on paljon ja niiden sisältö vaihtelee ohjelmittain. Käyttäjä joutuu hetken muistelemaan ja etsimään ohjelmien toimintoja, varsinkin jos ohjelmien käytössä tulee pidempiä taukoja. Kunkin ohjelmiston ohjelmat muistuttivat toisiaan kuitenkin sen verran paljon, että yhden ohjelman opettelemisesta oli huomattavasti hyötyä seuraavien ohjelmiin perehtymisessä. Itse ohjelmien käytön kokematonkin suunnittelija oppii alle tunnissa, mutta suomalaisesta käytännöstä poikkeavien mitoitus tapojen vuoksi ohjelmien laskentaperusteisiin perehtyminen taas vei huomattavan paljon enemmän aikaa.

IDEA StatiCan ohjelmissa tulosten esittämiseen ohjelmissa on vaihteleva määrä erilaisia tulostuspohjia, joten niiden sisällön muistaminen voi olla hankalaa. Tulostuspohjien sisällön voi käyttäjä määrittää itse valikosta, joten ohjelman käyttäjä pysyy sen avulla tulosteeseen tulevista tarkasteluista selvillä. Oikeiden asioiden etsimiseen ohjelmasta kuuluu todennäköisesti aikaa, mikä taas hidastaa työntekoa ja on turhauttavaa. Toisaalta ohjelmassa on mahdollista muokata hyvät asetukset perusmitoitukseen yksinkertaisesti tallentamalla muokattu laskelma pohjatiedostoksi.

Ohjelmien opetteluun menee kokemattomalta suunnittelijalta helposti useampi tunti aikaa, sillä ohjelmien mitoitus ei tapahdu esimerkiksi ammattikorkeakoulussa opettujen menetelmien mukaan. Ohjelman käyttö on mahdollista oppia muutamassa minuutissa, mutta suunnitteluperusteiden oppimiseen menee varmasti pidemmän aikaa. Kun ohjelman käyttöön alkaa päästä sisälle alkaa sen käyttö sujua nopeasti. Allekirjoittaneen mielestä aivan sellaisenaan ohjelma ei sovellu pikamitoitusohjelmaksi, mutta kun asetukset saa muokattua sopiviksi sillä on mahdollista tehdä kohtuullisen nopea mitoitus rakenteelle. IDEA StatiCan ohjelmissa on turhaan monia erilaisia tapoja päästä käsiksi samoihin asioihin, mikä tekee siitä sekavan; samat asiat löytyvät yläpalkista ja sivupalkista. Mitoitustulokset (lyhdyt) eivät ole koko ajan näkyvillä, minkä vuoksi välilehdillä täytyy hyppiä edes takaisin tarkastamassa asioita.

Raudoituksen syöttäminen on ohjelmissa pikamitoituskäytön kannalta tarpeettoman monimutkaista, syöttötapa mahdollistaa kyllä minkä tahansa raudoituksen luomisen rakenteeseen. Tämä on tarpeetonta pikamitoitusohjelmalle, tärkeintä olisi saada raudoitusten tankomäärä ja vaadittava raudoituksen pinta-ala selville nopeasti. Rauditusjärjestelyt voidaan suunnitella erikseen toki huomioiden raudoitustankojen sijainnin vaikutus poikileikkauksen raudoituksen momenttivarten.

Ohjelman nopean käytön kannalta ohjelmassa on liikaa välilehtiä ja ”täppiä”. Ohjelmissa asiat mahtuisivat kolmelle tai neljälle välilehdelle, nyt välilehtiä 10–15. IDEA StatiCan ohjelmisto on myös melko suppea, siitä puuttuvat esimerkiksi seinän ja pilarianturan mitoitushjelmat. Pilari-ohjelmalla voisi olla mahdollista mitoittaa myös seinä, mutta tähän ei ole nopeaa tapaa vaan ohjelman asetuksia pitäisi muuttaa yksitellen.

FRILO Softwaren ohjelmat ovat selkeitä käyttää, ja niiden sisältö selviää käyttäjälle melko nopeasti. Etenkin vanhemmissa pilari- ja palkki-ohjelmissa ohjelman rakenne selviää melkein yhdellä vilkaisulla. Ohjelmissa suurin osa mitoituksen tiedoista syötetään

samassa perusnäkyssä oleviin kenttiin, joten tietoja ei tarvitse etsiä eri välilehdiltä. Ohjelmissa opastavia tekstejä on riittävästi, vaikkakin englanninkieliset tekstit ovat selvästi osittain suoraan käännetty saksasta englanniksi ja siksi epäselviä. Ohjelmassa on jonkin verran mahdollisuus muuttaa laskenta-asetuksia, mikä on pikamitoitustarkoituksessa tarpeetonta.

FRILO Softwaren ohjelmistolla on oma projektikansiojärjestelmänsä, mutta ohjelmat saadaan auki myös käyttämättä kansiojärjestelmää, mikä on varmasti monen suoraan omaan projektikansioon laskelmat tallentavan suunnittelijan mieleen.

Raudoituksen syöttäminen FRILO:n pilari- ja pilarianturan mitoitusohjelmassa on hankalampaa kuin EuroCode Servicessä, mutta helpompaa kuin IDEA StatiCassa. Frilon poikkileikkausohjelmassa, jolla voidaan mitoittaa esimerkiksi palkki ja yhteen suuntaan kantava laatta, ei raudoitusta syötetä lainkaan.

Ongelmallisinta FRILON ohjelmissa on niiden soveltuminen Suomen kansallisen liitteen mukaiseen mitoitukseen. Iso osa Saksan kansallisen liitteen mukaisista mitoitustavoista näyttää olevan ohjelmiin sisään ohjelmoituja, kuten esimerkiksi lumikuorman laskeminen pilarimitoitusohjelmassa.

Eurocode Servicessä kaikki tieto on pyritty laittamaan esille ohjelman perusnäkyssä, joten ohjelman käyttäjän ei tarvitse erikseen avata valikkoja halutessaan syöttää tietoja tai tarkastella mitoitustuloksia. Myös FRILO Softwaren poikkileikkausohjelmassa asiat löytyvät melko vähäisellä työllä, mutta pilari- ja pilariantura-ohjelmissa valikoita on enemmän. Sekä IDEA StatiCassa että FRILO Softwaressa erilaisia valintamahdollisuuksia on kuitenkin niin paljon, että ne soveltuvat rakenteiden nopeaan mitoittamiseen vain erittäin hyvillä perusasetuksilla.

WIN-Statikin ohjelmat ovat riittävän yksinkertaisia nopeakäyttöisiksi mitoitusohjelmiksi, mutta niissäkin nopeakäyttöisyyttä heikentävät valikoiden ja laskenta-asetusten valintojen määrä. Pilari-ohjelmassa rakenteen tiedot syötetään erikseen eri tarkasteluja varten, ja lisäksi ohjelmassa voidaan käyttää joko täysin automaattista suunnittelua tai syöttää mitoituksen esiasetukset erikseen. Tämä tekee ohjelman omaksumisesta hiukan työläämpää ja nostaa kynnyksen ohjelman käyttöön. Lisäksi ohjelman tapa laskea lopullinen

mitoitusmomentti on epäselvä. WIN-Statikin pilarianturan mitoitusohjelma on käytettävyydeltään ja selkeydeltään hyvä, mutta ohjelman mitoitustulosten luotettavuudesta ei tämän insinööriyön puitteissa päästä varmuuteen.

WIN-Statikin ohjelmien käyttöliittymä tuntuu vanhanaikaiselta ja jäykältä, vaikkakaan ohjelmat eivät ole vaikeampia käyttää kuin muutkaan vertailun ohjelmat. Esimerkiksi palkki-ohjelmassa laskenta täytyy käynnistää erikseen murtorajatilán ja käyttörajatilán laskennalle, mikä vaikuttaa jäänteeltä ajalta, jolloin tietokoneiden laskentateho oli huomattavasti nykyistä huonompi. Ohjelmaa käyttäessä suunnittelija joutuu muutenkin hyppimään eri valikoissa mikä tekee ohjelman käytöstä tarpeettoman hankalaa.

Lähteet

- 1 Leskelä, Matti V. 2008. By 210. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen betoniyhdistys ry.
- 2 Nykyri, Pekka. 2013. By 201. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. Osa 1. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- 3 Nykyri, Pekka. 2014. By 201. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja. Osa 2. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- 4 RT 10-11128. 2013. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. RIL 229-1-2013. 2013. Rakennesuunnittelun asiakirjaohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 6 Lassila, Reetta. 2016. Rakennesuunnittelun resepti. Tietomallintaminen ja LEAN-työskentely rakennushankkeen suunnittelunohjauksen apuvälineenä. Tampereen teknillinen yliopisto. <<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24304>> Luettu 1.2.2018.
- 7 Junnonen, J.-M. & Kärnä, S. 2015. Suunnitelmien virheettömyydellä tehokkaampaan rakentamiseen. Tiivistelmä RALA-projektipalautetiedon suunnittelijapalautteen analyysistä. <http://www.rala.fi/tiedostot/Suunnittelijapalautet_tulostiivistelma.pdf> Luettu 31.1.2018.
- 8 Suomen standardisoimisliitto SFS. 2004. SFS-EN 1992-1-1. Eurokoodi 2: betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 9 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. RIL 207-2017. 2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 10 Yrityksen työntekijän haastattelu. 5.2.2018.
- 11 Yrityksen työntekijän haastattelu. 26.2.2018
- 12 Yrityksen työntekijän haastattelu. 26.2.2018.
- 13 Kysely betonirakenteiden pikamitoitusohjelmien ja Eurocode Servicen käytöstä. Kerätty 25.2.2018.
- 14 A-Insinöörit Oy:n internet-sivut. <<https://www.ains.fi/konserni>>. Luettu 30.3.2018.

- 15 Eurocode Service Oy:n internet-sivut. <<http://www.eurocodeservice.com>> Luettu 28.4.2018.
- 16 IDEA StatiCa s.r.o:n internet-sivut. <<http://www.ideastatica.com> > Luettu 28.4.2018.
- 17 Strusoft AB:n internet-sivut. <<http://www.strusoft.com> > Luettu 28.4.2018.
- 18 FRILO Software GmbH: internet-sivut. <<http://www.friilo.eu/en/products/reinforced-concrete.htm>> Luettu 28.4.2018.
- 19 Lesny, Kerstin. 2011. Implementation of Eurocode 7 In Germany and Consequences for Practical Design. University of Duisburg Essen. <http://homepage.tudelft.nl/c6g1e/workshop_delft_homepage/presentations_final/07_presentation_workshop_delft_lesny_final.pdf> Luettu 13.3.2018
- 20 SFS-EN 1992-1-1 + A1 +AC. Eurokoodi. Betonirakenteiden suunnittelu.

Liite 1. Pilarin vertailulaskelma käsin laskennalla

Pilarin vertailulaskelma (EN 1992-1-1: 5.8.8)

Pilarin mitoituslaskelma nimellisen kaarevuuden menetelmällä

Rasitusluokka: XC1

$$N_k = 1000 \text{ kN}$$

$$M_k = 50 \text{ kNm}$$

$$N_q = 500 \text{ kN}$$

$$M_q = 50 \text{ kNm}$$

$$l = 4500 \text{ mm}$$

$$\text{Poikkileikkaus: } h = 380 \quad b = 380$$

Rakenteen omapaino:

$$g_k = 0,38\text{m} \cdot 0,38\text{m} \cdot 4,5\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 16,2 \text{ kN}$$

Mitoituskuormat:

Murtorajatila (Mrt)

$$N_{Ed} = 1,15 \cdot (1000 \text{ kN} + 16,2 \text{ kN}) + 1,5 \cdot 500 \text{ kN} = 1918,7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_{0Eqp} = 1,15 \cdot 50 \text{ kNm} + 1,5 \cdot 50 \text{ kNm} = 132,5 \text{ kNm}$$

Käyttörajatila (Krt)

Lyhytaikainen tila:

$$N_d = 1000 \text{ kN} + 16,2 \text{ kN} + 500 \text{ kN} = 1516,2 \text{ kN}$$

$$M_d = 50 \text{ kNm} + 50 \text{ kNm} = 100 \text{ kNm}$$

Pitkäaikainen tila:

$$N_{0Ed} = 1000 \text{ kN} + 16,2 \text{ kN} + 0,3 \cdot 500 \text{ kN} = 1166,2 \text{ kN}$$

$$M_{0Eqp} = 50 \text{ kNm} + 0,3 \cdot 50 \text{ kNm} = 65 \text{ kNm}$$

Murtorajatilatarkastelu

Pystyteräkset: T20 (Nurkissa)

$$\rightarrow A_{s, \text{valittu}} = 1257 \text{ mm}^2 \quad \text{Haat: T8 k300}$$

$$c_{nom} = 22 \text{ mm}$$

$$d' = c_{nom} + \frac{20 \text{ mm}}{2} + 8 \text{ mm} = 40 \text{ mm} \quad d = h - d' = 340 \text{ mm}$$

Raudoitusteräs: B500B

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

$$f_{yd} = 435 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa}$$

Betoni C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_{cd} = 19,8 \text{ Mpa}$$

$$E_{cm} = 34\,000 \text{ MPa}$$

Hoikkuusluku:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = 40,8$$

Vinoudesta aiheutuva lisämomentti:

$$N_{Ed} \cdot e_i = N_{Ed} \cdot \frac{l_0}{400} = 21,6 \text{ kNm}$$

1. kertaluvun momentti:

$$M_A = 0 \text{ kNm}$$

$$M_B = 132,5 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_{d,i} + \text{Maks.}(M_A; M_B) = 21,6 \text{ kNm} + 132,5 \text{ kNm} = 154,1 \text{ kNm}$$

$$M_{01} = M_{d,i} + \text{Min.}(M_A; M_B) = 21,6 \text{ kNm} + 0 \text{ kNm} = 21,6 \text{ kNm}$$

$$M_{0E} = 0,6 \cdot M_{02} + 0,4 \cdot M_{01} = 92,5 \text{ kNm} + 8,6 \text{ kNm} = 101,1 \text{ kNm} \geq 0,4 \cdot M_{02} \quad \text{OK}$$

2. kertaluvun momentti:

$$M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = 1918,7 \cdot 23,8 \text{ mm} = 45,8 \text{ kNm}$$

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0}{c} = 1,18 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{mm}} \cdot \frac{(4500 \text{ mm})^2}{10} = 23,8 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0} = 0,657 \cdot 1,261 \cdot 1,4215 \cdot 10^{-5} = 1,18 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$K_r = \frac{nu-n}{nu-n_{bal}} \leq 1 \quad n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,671 \quad n_{bal} = 0,4 \quad nu = 1 + \omega = 1 + \frac{A_s}{A_c} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,19$$

$$K_r = \frac{1,19-0,671}{1,19-0,4} \leq 1 \quad \rightarrow K_r = 0,657$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \quad \varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,1 \cdot \frac{65 \text{ kNm}}{132,5 \text{ kNm}} = 1,03 \quad \varphi(\infty, t_0) = 2,1$$

$$K_\varphi = 1 + 0,253 \cdot 1,03 = 1,261 \quad \beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + 0,175 - 0,272 = 0,253$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 d} = \frac{F_{yd}/E_s}{0,45 d} = \frac{435 \text{ MPa}/200000 \text{ MPa}}{0,45 \cdot 340 \text{ mm}} = 0,000014215 = 1,4215 \cdot 10^{-5}$$

Mitoitusmomentti:

$$M_{Ed} = \text{Maks.}(M_{02}; M_{0E} + M_2; 0,5 \cdot M_{01} + M_2)$$

$$M_{Ed} = \text{Maks.}(154,1 \text{ kNm}; 101,1 \text{ kNm} + 45,8 \text{ kNm}; 0,5 \cdot 21,6 \text{ kNm} + 45,8 \text{ kNm})$$

$$M_{Ed} = 154,1 \text{ kNm}$$

Raudoitus yhteisvaikutuskäyrästä (RIL 202):

$$\gamma = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = 0,671 \quad \mu = \frac{M_{Ed}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = 0,142 \quad \frac{d'}{h} = 0,1 \text{ käyrältä } \omega = 0,12$$

$$A_s = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,13 \cdot 380 \text{ mm} \cdot 380 \text{ mm} \cdot \frac{19,8 \text{ MPa}}{435 \text{ MPa}} = 854 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq A_{s, valittu} = 1257 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Liite 2. Pilarin vertailulaskelma Eurocode Servicellä

Kohde:

Pauli Möttösen lopputyö

Projekti nro:

S304_39L1025

Sivu:

1/4

Katu:

Rakennetyyppi:

1-kerroksinen betonipilari

Pvm:

22.3.2018

Postiosoite:

Nimi:

Pilari 1

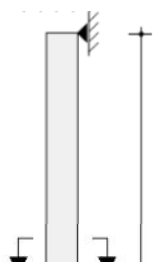
Suunnittelija:

pamot

Rakenne ja materiaalit

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Pilarin korkeus, L | 4500 mm |
| Pilarin pl. leveys, B | 380 mm |
| Pilarin pl. korkeus, H | 380 mm |
| Terästen p.p. alareunasta, d' | 40 mm |
| Poikkil. tehollinen korkeus, d | 340 mm |
| Suhteellinen kiertymäjoustavuus, YP | 10000,00 |
| Suhteellinen kiertymäjoustavuus, AP | 10000,00 |
| Hoikkusuulu λ | 41,0 |
| Nurjahduspituus | 4499 mm |

XYH=380B=380d=340d'=40



| | |
|------------------------------------|--------|
| Suunnitteluikä | 50 v. |
| Seuraamusluokka | CC2 |
| Toteutusluokka | 2 |
| Toleranssiluokka | 1 |
| Ympäristöluokka | XC1 |
| Ympäristön suhteellinen kosteus RH | 50 % |
| Rakenteen kuormitusikä | 28 vrk |

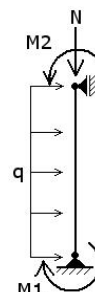
| | | | |
|--|-----------|--|------------|
| Betonin lujuusluokka | C35/45 | Betoniteräs | B500B |
| - Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c | 1,5 | - Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s | 1,15 |
| - Lieriölujuuden ominaisarvo f_{ck} | 35,0 MPa | - Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk} | 500,0 MPa |
| - Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm} | 3,21 MPa | - Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd} | 434,8 MPa |
| - Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd} | 19,8 MPa | - Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s | 200000 MPa |
| - Sekanttimoduli E_{cm} | 34077 MPa | | |
| - Sementin tyyppi | Tyyppi N | | |

Säilyvyys / suojapeite

| | |
|--|-------|
| Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite | 5 mm |
| Tartunnan vaatima min. betonipeite - haat | 8 mm |
| Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset | 20 mm |

| | | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|
| Kohde: Pauli Möttösen lopputyö | Projekti nro: S304_39L1025 | Sivu: 2/4 |
| Katu: | Rakennetyyppi: 1-kerroksinen betonipilari | Pvm: 22.3.2018 |
| Postiosoite: | Nimi: Pilari 1 | Suunnittelija: pamot |

| Kuormitukset | Pysyvät | Muuttuvat |
|----------------------|--|------------------|
| Pilarin omapaino Ng0 | 16,2 kN | - |
| Normaalivoima N | 1000,0 kN | 500,0 kN |
| Vaakavoima H | 0,0 kN | 0,0 kN |
| Tas. vaakakuorma q | - | 0,00 kN/m |
| Momentti M1 | 0,0 kNm | 0,0 kNm |
| Momentti M2 | 50,0 kNm | 50,0 kNm |
| Osavarmuuskertoimet | $\gamma_g = 1,35$ (yhd.A) $\gamma_g = 1,15$ (yhd.B) $\gamma_g = 0,9$ (yhd.C) | $\gamma_q = 1,5$ |



Hyötykuorman pitkäaik. yhdistelykerroin $\psi_2 = 0,3$ - Hyötykuorma, Luokka A (asuintilat)

Kuormitusyhdistelmät

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Murtorajatila, yhdistelmä A: | $1,35 * G$ |
| Murtorajatila, yhdistelmä B: | $1,15 * G + 1,50 * Q$ |
| Murtorajatila, yhdistelmä C: | $0,90 * G + 1,50 * Q$ |
| Käyttörajatila, ominaisyhdistelmä: | $G + Q$ |
| Käyttörajatila, pitkäaik. yhdistelmä: | $G + 0,30 * Q$ |

Epäkeskisyyss- mittaepätarkkuudet

| | |
|-------------------|--------------|
| Vinous θ_i | $1 / 0,0047$ |
| Epäkeskisyyss ei | 11 mm |

Momentit (kNm)

| h [mm] | Mg | Ng*ei | Mq | Nq*ei | M0(A) | M0(B) | M0(C) | M2(A) | M2(B) | M2(C) | MEd(A) | MEd(B) | MEd(C) |
|--------|------|------------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 4050 | 45,0 | $\pm 10,8$ | 45,0 | $\pm 5,3$ | 60,8 | 119 | 108 | 19,3 | 16,5 | 17,1 | 94,5 | 156 | 154 |
| 3600 | 40,0 | $\pm 10,8$ | 40,0 | $\pm 5,3$ | 54,0 | 106 | 96,0 | 34,2 | 29,3 | 30,3 | 103 | 156 | 154 |
| 3150 | 35,0 | $\pm 10,8$ | 35,0 | $\pm 5,3$ | 47,3 | 92,8 | 84,0 | 44,9 | 38,4 | 39,8 | 107 | 151 | 150 |
| 2700 | 30,0 | $\pm 10,8$ | 30,0 | $\pm 5,3$ | 40,5 | 79,5 | 72,0 | 51,3 | 43,9 | 45,5 | 106 | 144 | 143 |
| 2250 | 25,0 | $\pm 10,8$ | 25,0 | $\pm 5,3$ | 33,8 | 66,3 | 60,0 | 53,5 | 45,7 | 47,4 | 102 | 132 | 131 |
| 1800 | 20,0 | $\pm 10,8$ | 20,0 | $\pm 5,3$ | 27,0 | 53,0 | 48,0 | 51,3 | 43,9 | 45,5 | 92,9 | 117 | 116 |
| 1350 | 15,0 | $\pm 10,8$ | 15,0 | $\pm 5,3$ | 20,3 | 39,8 | 36,0 | 44,9 | 38,4 | 39,8 | 79,7 | 98,5 | 97,2 |
| 900 | 10,0 | $\pm 10,8$ | 10,0 | $\pm 5,3$ | 13,5 | 26,5 | 24,0 | 34,2 | 29,3 | 30,3 | 62,3 | 76,1 | 74,5 |
| 450 | 5,0 | $\pm 10,8$ | 5,0 | $\pm 5,3$ | 6,8 | 13,3 | 12,0 | 19,3 | 16,5 | 17,1 | 40,5 | 50,1 | 48,0 |
| 0 | 0,0 | $\pm 10,8$ | 0,0 | $\pm 5,3$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 14,5 | 20,3 | 17,7 |

| Kohde: | Projekti nro: | Sivu: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|--|--------|---------|---------|---|------|------|------|----------------------------|------|------|------|-----------------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|--|---------|---------|---------|---------------------------------------|---------|---------|---------|------------------------------------|--|--|--|------------------------------------|---------|---------|---------|--|---------|--------|--------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Pauli Möttösen lopputyö | S304_39L1025 | 3/4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Katu: | Rakennetyyppi: | Pvm: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1-kerroksinen betonipilari | 22.3.2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Postiosoite: | Nimi: | Suunnittelija: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pilari 1 | pamot | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Taivutus/puristuskestävyys (ULS)</p> <p>Valittu raudoitus: Nurkkateräskset 4 * 1 * T20 Haat T8 K300 Väliteräskset 2 * 0 * T16</p> <p>Todellinen raud.ala As 1257 mm² > As,Vaadittu (835 mm²) - OK Raudoitussuhde ω 0,191 Minimi raud. pinta-ala As, min 441 mm² < As,Valittu (1257 mm²) - OK Maksimi raud. pinta-ala As, max 8664 mm² > As (1257 mm²) - OK</p> <p>Mitoitusmomentin laskenta</p> <p>Minimiepäkeskisyys 20 mm Virumaluku $\varphi(\infty, t_0)$ 2,09 Poikkileikkauksen tehollinen korkeus 340 mm Kaarevuus 1/r0 0,014</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Yhdistelmä A</th> <th>Yhdistelmä B</th> <th>Yhdistelmä C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normaalivoiman mitoitusarvo N_{Ed}</td> <td>1372 kN</td> <td>1919 kN</td> <td>1665 kN</td> </tr> <tr> <td>1. Kertaluvun momentti M_{0Ed} (max)</td> <td>67 kNm</td> <td>133 kNm</td> <td>120 kNm</td> </tr> <tr> <td>Pysyvän momentin osuus M_{0Eqp}/M_{0Ed}</td> <td>0,96</td> <td>0,49</td> <td>0,54</td> </tr> <tr> <td>Virumisaste φ_{ef}</td> <td>2,01</td> <td>1,02</td> <td>1,13</td> </tr> <tr> <td>Korjauserroin K_{φ}</td> <td>1,506</td> <td>1,258</td> <td>1,285</td> </tr> <tr> <td>Korjauserroin K_r</td> <td>0,900</td> <td>0,659</td> <td>0,771</td> </tr> <tr> <td>Kaarevuus 1/r</td> <td>0,019</td> <td>0,012</td> <td>0,014</td> </tr> <tr> <td>Taipuma e_2</td> <td>39 mm</td> <td>24 mm</td> <td>28 mm</td> </tr> <tr> <td>Nimellinen lisämomentti $M_2=N_{Ed} * e_2$ (max)</td> <td>53 kNm</td> <td>46 kNm</td> <td>47 kNm</td> </tr> <tr> <td>Lisämomentti $N_{Ed} * e_i$</td> <td>15 kNm</td> <td>20 kNm</td> <td>18 kNm</td> </tr> <tr> <td>Mitoitusmomentti $M_{Ed}=M_{0Ed}+N_{Ed} * e_i+M_2$</td> <td>107 kNm</td> <td>156 kNm</td> <td>144 kNm</td> </tr> <tr> <td>Määrävän poikkileikkauksen paikka (h)</td> <td>2970 mm</td> <td>3870 mm</td> <td>4500 mm</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Poikkileikkauksen kestävyys</td> </tr> <tr> <td>Betonipuristuma $\epsilon_c(\max)$</td> <td>-1,63 ‰</td> <td>-3,50 ‰</td> <td>-3,50 ‰</td> </tr> <tr> <td>Teräsvenymä/puristuma $\epsilon_s(\max)$</td> <td>-3,50 ‰</td> <td>0,57 ‰</td> <td>0,96 ‰</td> </tr> <tr> <td>Vaadittu teräsmäärä</td> <td>0 mm²</td> <td>835 mm²</td> <td>326 mm²</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Yhdistelmä A | Yhdistelmä B | Yhdistelmä C | Normaalivoiman mitoitusarvo N_{Ed} | 1372 kN | 1919 kN | 1665 kN | 1. Kertaluvun momentti M_{0Ed} (max) | 67 kNm | 133 kNm | 120 kNm | Pysyvän momentin osuus M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,96 | 0,49 | 0,54 | Virumisaste φ_{ef} | 2,01 | 1,02 | 1,13 | Korjauserroin K_{φ} | 1,506 | 1,258 | 1,285 | Korjauserroin K_r | 0,900 | 0,659 | 0,771 | Kaarevuus 1/r | 0,019 | 0,012 | 0,014 | Taipuma e_2 | 39 mm | 24 mm | 28 mm | Nimellinen lisämomentti $M_2=N_{Ed} * e_2$ (max) | 53 kNm | 46 kNm | 47 kNm | Lisämomentti $N_{Ed} * e_i$ | 15 kNm | 20 kNm | 18 kNm | Mitoitusmomentti $M_{Ed}=M_{0Ed}+N_{Ed} * e_i+M_2$ | 107 kNm | 156 kNm | 144 kNm | Määrävän poikkileikkauksen paikka (h) | 2970 mm | 3870 mm | 4500 mm | Poikkileikkauksen kestävyys | | | | Betonipuristuma $\epsilon_c(\max)$ | -1,63 ‰ | -3,50 ‰ | -3,50 ‰ | Teräsvenymä/puristuma $\epsilon_s(\max)$ | -3,50 ‰ | 0,57 ‰ | 0,96 ‰ | Vaadittu teräsmäärä | 0 mm ² | 835 mm ² | 326 mm ² |
| | Yhdistelmä A | Yhdistelmä B | Yhdistelmä C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Normaalivoiman mitoitusarvo N_{Ed} | 1372 kN | 1919 kN | 1665 kN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Kertaluvun momentti M_{0Ed} (max) | 67 kNm | 133 kNm | 120 kNm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pysyvän momentin osuus M_{0Eqp}/M_{0Ed} | 0,96 | 0,49 | 0,54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Virumisaste φ_{ef} | 2,01 | 1,02 | 1,13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Korjauserroin K_{φ} | 1,506 | 1,258 | 1,285 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Korjauserroin K_r | 0,900 | 0,659 | 0,771 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kaarevuus 1/r | 0,019 | 0,012 | 0,014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Taipuma e_2 | 39 mm | 24 mm | 28 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nimellinen lisämomentti $M_2=N_{Ed} * e_2$ (max) | 53 kNm | 46 kNm | 47 kNm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lisämomentti $N_{Ed} * e_i$ | 15 kNm | 20 kNm | 18 kNm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mitoitusmomentti $M_{Ed}=M_{0Ed}+N_{Ed} * e_i+M_2$ | 107 kNm | 156 kNm | 144 kNm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Määrävän poikkileikkauksen paikka (h) | 2970 mm | 3870 mm | 4500 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poikkileikkauksen kestävyys | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Betonipuristuma $\epsilon_c(\max)$ | -1,63 ‰ | -3,50 ‰ | -3,50 ‰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Teräsvenymä/puristuma $\epsilon_s(\max)$ | -3,50 ‰ | 0,57 ‰ | 0,96 ‰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vaadittu teräsmäärä | 0 mm ² | 835 mm ² | 326 mm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A-Insinöörit Oy Puutarhakatku 10 33210 Tampere Y-tunnus: 1841818-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tulostettu 22.3.2018 11:28 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurocodetools.fi

| | | |
|-------------------------|----------------------------|----------------|
| Kohde: | Projekti nro: | Sivu: |
| Pauli Möttösen lopputyö | S304_39L1025 | 4/4 |
| Katu: | Rakennetyyppi: | Pvm: |
| | 1-kerroksinen betonipilari | 22.3.2018 |
| Postiosoite: | Nimi: | Suunnittelija: |
| | Pilari 1 | pamot |

Halkeamatarkastelu - Käyttörajatila

| | Pitkäaikaisyhdistelmä | Ominaisyhdistelmä |
|---|-----------------------|-------------------|
| Normaalivoima N (max) | 1166 kN | 1516 kN |
| Taivutusmomentti M (max) | 65 kNm | 100 kNm |
| Virumaluku $\phi(\infty, t_0)$ | 2,09 | - |
| Suurin halkeamaväli (sr,max) | 0 mm | 0 mm |
| Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$) | 0,00 ‰ | 0,00 ‰ |
| Halkeaman leveys (wk) | 0,00 mm | 0,00 mm |
| | ≤ 0,4 mm - OK | |

Jännitystarkastelu (SLS)

| | | |
|--|-----------|---|
| Betonijännitys $\sigma_c(\max)$ | -12,5 MPa | -20,0 MPa ≤ 0,6*f_{ck} (21,0 MPa) - OK |
| Teräs jännitys $\sigma_s(\max)$ | -47,9 MPa | -12,4 MPa ≤ 0,6*f_{yk} (300,0 MPa) - OK |

A-Insinöörit Oy | Puutarhakatu 10 | 33210 Tampere | Y-tunnus: 1841818-1

Tulostettu 22.3.2018 11:28 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurcodetools.fi

Liite 3. Pilarin vertailulaskelma FRILO Softwarella

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 1

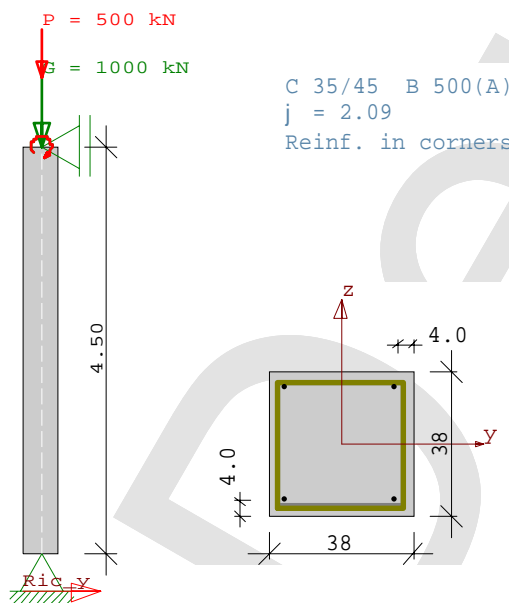
Item: Pilari_Frilo

Reinforced Concrete Column B5 01/2018 (Frilo R-2018-1/P09)

SIMPLY SUPPORTED COLUMN, Rectangle, 1-axial strained in y-direction (around z)

Calculation base: EN 1992-1-1:2004/A1:2014

$E = 34000 \text{ N/mm}^2$ $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$



1 $M_{cry} = 29.36 \text{ kNm}$ $M_{crz} = 29.36 \text{ kNm}$

Requirements durability

| | |
|---------------------|----------------------------------|
| attack on concrete | X0 |
| attack on reinforc. | XC1 |
| min. concrete class | C 20/25 |
| stirrup | $\phi, l = 8 \text{ mm}$ |
| long. reinforcement | $\phi, m = 20 \text{ mm}$ |
| allowance in design | $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ |
| reduced c_{min} | $\geq C 30/37$ |
| stirrup | $c_{min, l} = 10 \text{ mm}$ |
| concrete coverage | $c_{nom, l} = 20 \text{ mm}$ |
| longitudinal bars | $c_{min, m} = 20 \text{ mm}$ |
| concrete coverage | $c_{nom, m} = 30 \text{ mm}$ |
| laying dist. link | $c, l > 22 \text{ mm}$ |
| all. crack width | $w_k = 0.40 \text{ mm}$ |

Modulus of creep and degree of shrinkage

| | | | | |
|------------------|--------------------|---|------------|-------------------------|
| air moisture | LU | = | 50 % | cement 32.5R;42.5 |
| load age | t_0 | = | 28 days | $t = \text{infinitely}$ |
| modulus of creep | $\phi(t_0, t)$ | = | 2.09 | |
| shrinkage strain | $\epsilon_{cs}(t)$ | = | -0.45 o/oo | |

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 2

NODES - LOADS :

| LcNo. | KNo. | V (kN) | ey (cm) | ez (cm) | Py (kN) | Pz (kN) | My (kNm) | Mz act con alt (kNm) | |
|-------|------|-------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------------------|---|
| 1 | 2 | 1000.0 | . | . | . | . | . | . | g |
| | | 500.00 | . | . | . | . | . | A | p |
| 2 | 2 | . | . | . | . | . | 50.00 | . | g |
| | | . | . | . | . | . | 50.00A | . | p |
| | | 16.25 (dead load) | | | | | | | |

Actions:

| No. | CI Name | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 | γ |
|-----|------------------|----------|----------|----------|----------|
| A 1 | Cat A - domestic | 0.70 | 0.50 | 0.30 | 1.50 |

Further design fundamentals:

Accuracy Gkn = 1.98e-5
 Number of sub-element per member section: 6
 Stress-strain-curve of concr. for deform. analy. EN 1992-1-1 3.1.5
 Calc. of compr. force in concr. without deduction of reinf.
 If $n > -0.10$: eff EI acc.toEN2 7.4.2 (7.19)
 Creep effects are considered by modified stress-strain-curve.
 $\phi_{eff} = \phi_0 * M_0 / Med$ (M_0 By permanent combination with ei)
 consequencey class acc. EN 1990 tab b.1CC2 -> KFi = 1.0 (Tab B.3)

FLBemBn.DLL: version9.0.1.121

CALCULATED COMBINATIONS by 2 Loads

| Lc- Comb | K1 | K2 | K3 | K4 |
|----------|----|----|----|-----|
| | g | g | g | g |
| | A | A | A | |
| 1 | x | . | x | . |
| 2 | x | x | . | (a) |

a)Without proof of buckling because: $\lambda < \lambda_{lim}$
 Partial safety factor $\gamma_C = 1.50$ $\gamma_S = 1.15$ $\gamma_G = 1.35 / 1.00$

Proof according EN 1992-1-1:2004/A1:2014

$\gamma_C = 1.50$ $\gamma_S = 1.15$ $\phi_{eff} = 1.00$

Design values LcCom = 1 in : y-direction

| | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|
| System | | Fixed |
| Buckling length | sk = | 4.50 m |
| Slenderness | λ = | 41.0 |
| Normal force | N = | -2121.93 kN |
| Specific normal force | n = | -63 |
| Inter. moment | h = 3.75 m, M = | -118.75 kNm |
| Methodical eccentr. | e = M / N = | 5.60 cm |
| Related eccentricit | y e / b = | 0.1473 |
| Unintentional eccentrici | ty ei = | 1.06 cm |
| Displacement Th.2.Ord. | e2 = | 1.03 cm |
| Design moment | M des. = | -151.94 kNm |

| | | |
|---------------|----------------|-----------------------|
| Reinforcement | tot ω = | .1621 |
| | ρ = | .87 % |
| | Req As = | 12.56 cm ² |

The influence of creep will considered acc. EN 1992-1-1 5.8.4 curve.

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 3

| INTERNAL FORCES and design for shear: with ea, Th.2.O. | | | | | | | |
|--|------------|---------|------------|------------|--------------|----------|---------------------------|
| Lc-Comb | height (m) | Nd (kN) | Ved,y (kN) | Vrd,c (kN) | Vrd,max (kN) | Θ (Grad) | aswy (cm ² /m) |
| 1 | 4.500 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 466.3 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | 3.750 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 452.9 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | 3.000 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 440.4 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | 2.250 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 428.6 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | 1.500 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 469.4 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | .750 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 469.4 | 45.0 | 0.0 |
| 1 | .000 | -2121.9 | 31.7 | 153.3 | 469.4 | 45.0 | 0.0 |

Minimum shear reinforcement for beam is not considered

| Proof according EN 1992-1-1:2004/A1:2014 (5.8.8): Method based on nominal curvature | |
|---|------------------------------------|
| System | Fixed |
| Inclination | α = .0050 |
| Buckling length | sk = 4.50 m |
| Slenderness with sk | λ = 41.0 |
| Normal force | Nsd = -2121.93 kN |
| Specific normal force | n = -.630 |
| Moment at head | M2 = -142.50 kNm |
| Moment at foot | M1 = .00 kNm |
| Eccentricity at head | e02 = -6.72 cm |
| Eccentricity at foot | e01 = .00 cm |
| Equivalent eccentricity ee | = 4.03 cm |
| Unintentional eccentricie | = 1.06 cm |
| Excentricity of creep | ek = .47 cm |
| Factor C EN2 (5.33) | C = 10.00 |
| Eccentricity Th.2.Ord. | e2 = 2.35 cm |
| Total eccentricity | etot = 7.44 cm = ee + ea + e2 |
| Design moment | Msd = 157.95 kNm |
| Reinforcement tot Ome tot ω | = .0630 |
| | ρ = .34 % |
| LcCom = 1 | As = 4.88 cm ² (min As) |
| The influence of creep will considered acc. EN 1992-1-1 5.8.8.3 (4). | |

| DEFLECTIONS, elongations + bending stiffness: with ei, Th.2.O | | | | | | | | | |
|---|------------|---------|---------|-------|-----------|-------|-------|--------------|--------------|
| Lc-Comb | height (m) | fy (cm) | fz (cm) | ε1 | ε2 (o/oo) | ε3 | ε4s | ef_Elz /Elbz | ef_Ely /Elby |
| 1 | 4.50 | .000 | | -2.87 | .18 | -2.87 | -.14 | .300 | .405 |
| 1 | 3.75 | -1.034 | | -3.09 | .32 | -3.09 | -.04 | .286 | .405 |
| 1 | 3.00 | -1.575 | | -3.00 | .26 | -3.00 | -.09 | .293 | .405 |
| 1 | 2.25 | -1.646 | | -2.59 | .02 | -2.59 | -.26 | .317 | .405 |
| 1 | 1.50 | -1.328 | | -2.14 | -.28 | -2.14 | -.47 | .328 | .405 |
| 1 | .75 | -.735 | | -1.66 | -.67 | -1.66 | -.78 | .330 | .405 |
| 1 | .00 | .000 | | -1.16 | -1.16 | -1.16 | -1.16 | .405 | .405 |

| Serviceability: Deflections quasi-permanent combination (cm) | | | | | | | | | |
|--|------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Combination: Max | | Th.1.O. | | | | Th.2.O. | | | |
| Lc-Comb | height (m) | fEli fy | fEli fz | fEliφ fy | fEliφ fz | fEieff fy | fEieff fz | fEieffφ fy | fEieffφ fz |
| 1 | 4.50 | .000 | | .000 | | .000 | | .000 | |
| 1 | 3.75 | -.086 | | -.225 | | -.089 | | -.089 | |
| 1 | 3.00 | -.126 | | -.328 | | -.130 | | -.130 | |
| 1 | 2.25 | -.127 | | -.332 | | -.132 | | -.132 | |
| 1 | 1.50 | -.100 | | -.262 | | -.105 | | -.105 | |
| 1 | .75 | -.055 | | -.143 | | -.057 | | -.057 | |
| 2 | .00 | .000 | | .000 | | .000 | | .000 | |

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 4

| Serviceability: deflection rare combination | | | | | | |
|---|------------|------------------|----------|----------|----------------|---------|
| Combination: Max | | State II Th.2.O. | | | without ϕ | |
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | fy | fz (cm) |
| 2 | 4.500 | -1016.2 | | -100.00 | .00 | .00 |
| 2 | 3.750 | -1016.2 | | -84.76 | -.14 | .00 |
| 2 | 3.000 | -1016.2 | | -68.73 | -.20 | .00 |
| 1 | 2.250 | -1516.2 | | -53.12 | -.21 | .00 |
| 1 | 1.500 | -1516.2 | | -35.81 | -.16 | .00 |
| 1 | .750 | -1516.2 | | -18.02 | -.09 | .00 |
| 1 | .000 | -1516.2 | | .00 | .00 | .00 |

| Serviceability: deflection rare combination | | | | | | |
|---|------------|------------------|----------|----------|-------------|---------|
| Combination: Max | | State II Th.2.O. | | | with ϕ | |
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | fy | fz (cm) |
| 1 | 4.500 | -1516.2 | | -100.00 | .00 | .00 |
| 2 | 3.750 | -1016.2 | | -84.76 | -.14 | .00 |
| 2 | 3.000 | -1016.2 | | -68.73 | -.20 | .00 |
| 1 | 2.250 | -1516.2 | | -53.12 | -.21 | .00 |
| 1 | 1.500 | -1516.2 | | -35.81 | -.16 | .00 |
| 1 | .750 | -1516.2 | | -18.02 | -.09 | .00 |
| 1 | .000 | -1516.2 | | .00 | .00 | .00 |

| Usability: deformations freq combination | | | | | | |
|--|------------|------------------|----------|----------|----------------|---------|
| Combination: Max | | State II Th.2.O. | | | without ϕ | |
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | fy | fz (cm) |
| 2 | 4.500 | -1016.2 | | -75.00 | .00 | .00 |
| 1 | 3.750 | -1266.2 | | -63.80 | -.10 | .00 |
| 1 | 3.000 | -1266.2 | | -51.91 | -.15 | .00 |
| 1 | 2.250 | -1266.2 | | -39.44 | -.15 | .00 |
| 1 | 1.500 | -1266.2 | | -26.54 | -.12 | .00 |
| 1 | .750 | -1266.2 | | -13.34 | -.07 | .00 |
| 1 | .000 | -1266.2 | | .00 | .00 | .00 |

| Usability: deformations freq combination | | | | | | |
|--|------------|------------------|----------|----------|-------------|---------|
| Combination: Max | | State II Th.2.O. | | | with ϕ | |
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | fy | fz (cm) |
| 1 | 4.500 | -1266.2 | | -75.00 | .00 | .00 |
| 1 | 3.750 | -1266.2 | | -63.80 | -.10 | .00 |
| 1 | 3.000 | -1266.2 | | -51.91 | -.15 | .00 |
| 1 | 2.250 | -1266.2 | | -39.44 | -.15 | .00 |
| 1 | 1.500 | -1266.2 | | -26.54 | -.12 | .00 |
| 1 | .750 | -1266.2 | | -13.34 | -.07 | .00 |
| 1 | .000 | -1266.2 | | .00 | .00 | .00 |

| Usability: stress at perm combination | | | | | | | | | |
|--|------------|------------------|----------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------|
| EN 1992-1-1:2004/A1:2014 7.2 (3) Adm. $\sigma_C = 0.45 * f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$ | | | | | | | | | |
| Combination: Max | | State II Th.2.O. | | | without ϕ | | | | |
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | ϵ_1 (o/oo) | ϵ_S | σ_C (N/mm ²) | σ_S | η |
| 1 | 4.500 | -1166.2 | | -65.0 | -.42 | -.08 | -14.2 | -15 | .90 |
| 1 | 3.750 | -1166.2 | | -55.2 | -.39 | -.10 | -13.2 | -20 | .84 |
| 1 | 3.000 | -1166.2 | | -44.9 | -.36 | -.12 | -12.2 | -25 | .77 |
| 1 | 2.250 | -1166.2 | | -34.0 | -.33 | -.15 | -11.1 | -30 | .70 |
| 1 | 1.500 | -1166.2 | | -22.9 | -.29 | -.17 | -10.0 | -35 | .63 |
| 1 | .750 | -1166.2 | | -11.5 | -.26 | -.20 | -8.8 | -40 | .56 |

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 5

Usability: stress at perm combination
EN 1992-1-1:2004/A1:2014 7.2 (3) Adm. $\sigma_C = 0.45 * f_{ck} = 16 \text{ N/mm}^2$

| Combination: Max | | State II Th.2.O. without ϕ | | | | | | | |
|------------------|------------|---------------------------------|----------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------|
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | ϵ_1 (o/oo) | ϵ_S | σ_C (N/mm ²) | σ_S | η |
| 1 | .000 | -1166.2 | | .0 | -.23 | -.22 | -7.8 | -45 | .49 |

| Combination: Max | | State II Th.2.O. with ϕ | | | | | | | |
|------------------|------------|------------------------------|----------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------|
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | ϵ_1 (o/oo) | ϵ_S | σ_C (N/mm ²) | σ_S | η |
| 1 | 4.500 | -1166.2 | | -65.0 | -1.13 | -.24 | -12.5 | -48 | .79 |
| 1 | 3.750 | -1166.2 | | -55.2 | -1.06 | -.30 | -11.6 | -60 | .74 |
| 1 | 3.000 | -1166.2 | | -44.9 | -.98 | -.36 | -10.8 | -73 | .68 |
| 1 | 2.250 | -1166.2 | | -34.0 | -.90 | -.43 | -9.8 | -86 | .63 |
| 1 | 1.500 | -1166.2 | | -22.9 | -.81 | -.50 | -8.9 | -99 | .57 |
| 1 | .750 | -1166.2 | | -11.5 | -.72 | -.57 | -7.9 | -113 | .50 |
| 1 | .000 | -1166.2 | | .0 | -.64 | -.63 | -7.1 | -126 | .45 |

Serviceability: stresses rare combination
EN 1992-1-1:2004/A1:2014 7.2 (2) Adm. $\sigma_C = 0.6 * f_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$
EN 1992-1-1:2004/A1:2014 7.2 (5) Adm. $\sigma_S = 0.8 * f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$

| Combination: Max | | State II Th.2.O. without ϕ | | | | | | | |
|------------------|------------|---------------------------------|----------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------|
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | ϵ_1 (o/oo) | ϵ_S | σ_C (N/mm ²) | σ_S | η |
| 1 | 4.500 | -1516.2 | | -100.0 | -.59 | -.06 | -20.0 | -13 | .95 |
| 1 | 3.750 | -1516.2 | | -85.4 | -.54 | -.10 | -18.5 | -19 | .88 |
| 1 | 3.000 | -1516.2 | | -69.7 | -.50 | -.13 | -17.0 | -27 | .81 |
| 1 | 2.250 | -1516.2 | | -53.1 | -.45 | -.17 | -15.3 | -34 | .73 |
| 1 | 1.500 | -1516.2 | | -35.8 | -.40 | -.21 | -13.6 | -42 | .65 |
| 1 | .750 | -1516.2 | | -18.0 | -.35 | -.25 | -11.8 | -51 | .56 |
| 1 | .000 | -1516.2 | | .0 | -.30 | -.29 | -10.1 | -58 | .48 |

| Combination: Max | | State II Th.2.O. with ϕ | | | | | | | |
|------------------|------------|------------------------------|----------|----------|---------------------|--------------|---------------------------------|------------|--------|
| Lc-Comb | height (m) | N (kN) | My (kNm) | Mz (kNm) | ϵ_1 (o/oo) | ϵ_S | σ_C (N/mm ²) | σ_S | η |
| 1 | 4.500 | -1516.2 | | -100.0 | -1.59 | -.22 | -17.5 | -44 | .83 |
| 1 | 3.750 | -1516.2 | | -85.4 | -1.48 | -.31 | -16.3 | -61 | .78 |
| 1 | 3.000 | -1516.2 | | -69.7 | -1.36 | -.40 | -15.0 | -80 | .71 |
| 1 | 2.250 | -1516.2 | | -53.1 | -1.23 | -.50 | -13.6 | -101 | .65 |
| 1 | 1.500 | -1516.2 | | -35.8 | -1.10 | -.61 | -12.1 | -122 | .58 |
| 1 | .750 | -1516.2 | | -18.0 | -.96 | -.72 | -10.6 | -143 | .50 |
| 1 | .000 | -1516.2 | | .0 | -.83 | -.82 | -9.2 | -164 | .44 |

SUPPORT: forces and moments γ -Case loads with ea Th. 2.O.

| Nodes No. | AV (kN) | Hy (kN) | Mz (kNm) | Hx (kN) | My (kNm) | Lc- Comb |
|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| 2 | | 31.7 | | .0 | | 1 |
| 1 | 2121.9 | -31.7 | | .0 | | 1 |
| | 2121.9 | -15.0 | | .0 | | 3 |

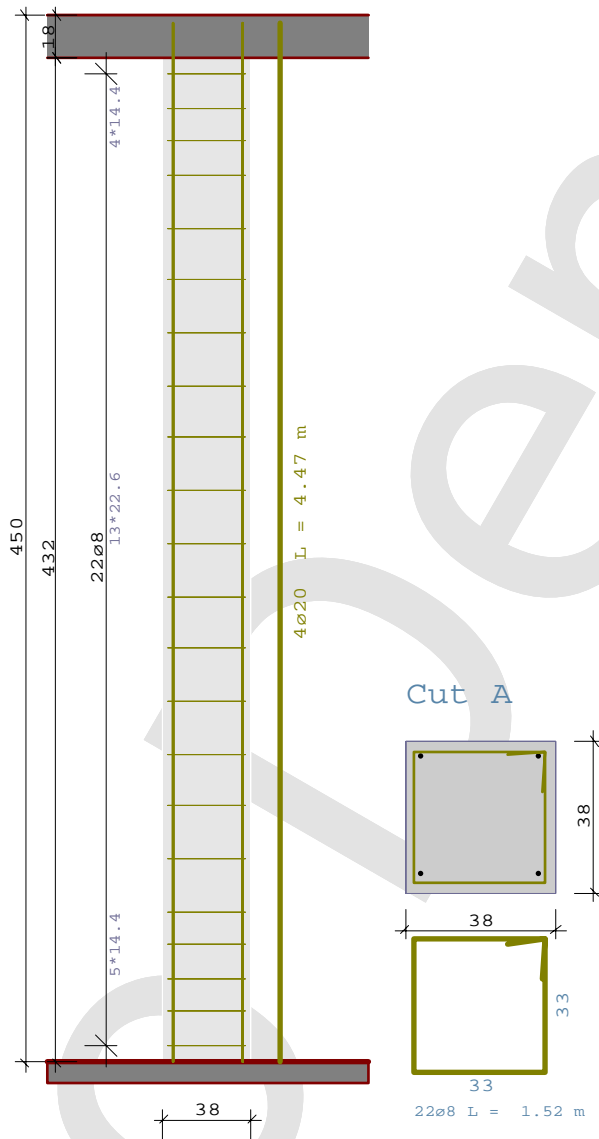
Demo Frilo
Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020


Project: Pauli Möttösen insinööritö
Item: Pilari_Frilo
27.3.2018

Page: 6

Scale 1 : 32.5

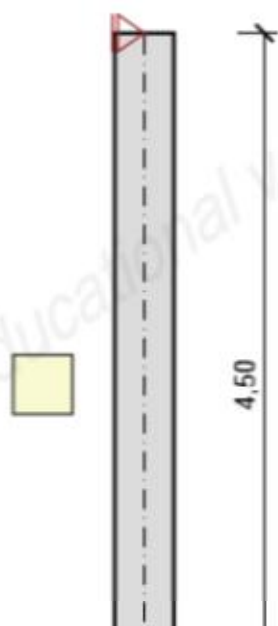


Liite 4. Pilarin vertailulaskelma IDEA StatiCalla

| | | |
|--------------------|------------------------------------|---|
| Project: | Pauli Möttösen opinnäytetyö |  <small>Calculate yesterday's estimates</small> |
| Project no: | | |
| Author: | Pauli Möttönen | |

| Table of content |
|----------------------------|
| 1 Project Data |
| 2 Column data |
| 3 Materials |
| 4 Cross-sections |
| 5 Load Cases |
| 6 Loads |
| 7 Load Combinations |
| 8 Results |
| 9 Concrete design |

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Title of the project | Pauli Möttösen opinnäytetyö |
| Identification of project | |
| National code | EN 1992-1-1:2004/AC:2010-11 |
| National annex | EN |
| Author | Pauli Möttönen |
| Date | 14.2.2018 |



| | |
|-----------------|--------------------|
| Length | 4,50 m |
| Cross-Section | Rectangle 380, 380 |
| Material | C35/45 |
| Supports | |
| Top support | Hinge |
| Bottom support | Hinge |

Project: Pauli Möttösen opinnäytetyö
 Project no:
 Author: Pauli Möttönen

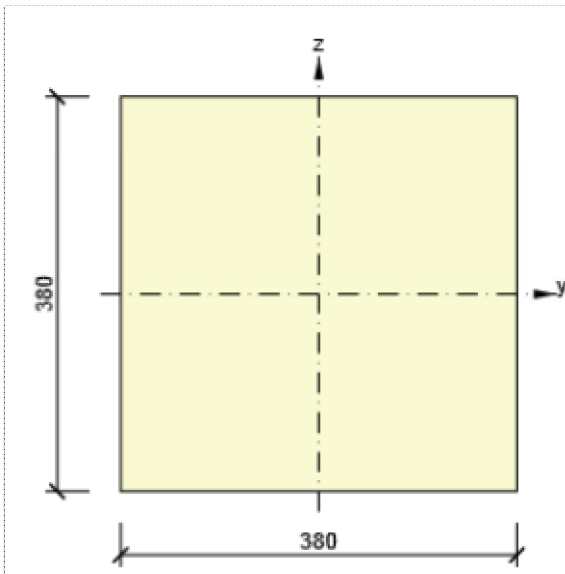
3 Materials

| Name | f_{ck} [MPa] | f_{cm} [MPa] | f_{ctm} [MPa] | E_{cm} [MPa] | μ [-] | Unit mass [kg/m ³] |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| C35/45 | 35,0 | 43,0 | 3,2 | 34077,1 | 0,20 | 2500 |
| $\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu2} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{c3} = 17,5 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu3} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, Exponent - n: 2,00, Aggregate size = 16 mm, Cement class: R (s = 0,20), Diagram type: Parabolic | | | | | | |

4 Cross-sections

Rectangle 380, 380

| Symbol | Value | Unit |
|----------|------------|--------------------|
| Material | C35/45 | |
| A | 144400 | [mm ²] |
| S_y | 0 | [mm ³] |
| S_z | 0 | [mm ³] |
| I_y | 1737613333 | [mm ⁴] |
| I_z | 1737613333 | [mm ⁴] |
| C_{gy} | 0 | [mm] |
| C_{gz} | 0 | [mm] |
| i_y | 110 | [mm] |
| i_z | 110 | [mm] |



5 Load Cases


| Type | Name |
|--------------------|------|
| Self weight g_0 | G0 |
| Permanent g_1 | G1 |
| Live load q_{LT} | LT |

Permanent load factors

| $Y_{G,supp}$ [-] | $Y_{G,inf}$ [-] | ξ [-] |
|---------------------|--------------------|--------------|
| 1,15 | 1,15 | 0,90 |

Variable load factors

| Type of loads | Y_q [-] | ψ_0 [-] | ψ_1 [-] | ψ_2 [-] |
|---------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Long-term | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| Short-term | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| Wind | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| Snow | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |

| | | |
|--------------------|------------------------------------|---|
| Project: | Pauli Möttösen opinnäytetyö |  <small>Calculate yesterday's estimates</small> |
| Project no: | | |
| Author: | Pauli Möttönen | |

6 Loads

| Name | Top | |
|------|-----------|-------------|
| | V [kN] | My [kNm] |
| G1 | -1000,0 | 50,0 |
| LT | -500,0 | 50,0 |

Symbols explanations

V - Vertical force

My - Bending moment around the global Y-axis.

7 Load Combinations

| Name | Type | Evaluation |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------|
| ULSF | ULS Fundamental | Eurocode, formula 6.10 |
| G0; G1; LT; STA; STB; WL; WR; SN | | |
| SLSC | SLS Char | Eurocode, formula 6.14b |
| G0; G1; LT; STA; STB; WL; WR; SN | | |
| SLSQ | SLS Quasi | Eurocode, formula 6.16b |
| G0; G1; LT; STA; STB; WL; WR; SN | | |
| SLSF | SLS Freq | Eurocode, formula 6.15b |
| G0; G1; LT; STA; STB; WL; WR; SN | | |

8 Results

Internal forces, Member Extreme, Centroidal forces

| Member | Combi | Position [m] | N [kN] | V _z [kN] | M _y [kNm] |
|--------|---------|-----------------|-----------|------------------------|-------------------------|
| 1 | ULSF(1) | 0,00 | -1918,3 | -29,4 | 0,0 |
| 1 | ULSF(2) | 4,50 | -1150,0 | -12,8 | -57,5 |
| 1 | ULSF(1) | 4,50 | -1900,0 | -29,4 | -132,5 |

| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| ULSF(1) | 1,15*G0 + 1,15*G1 + 1,5*LT |
| ULSF(2) | 1,15*G0 + 1,15*G1 |

9 Concrete design

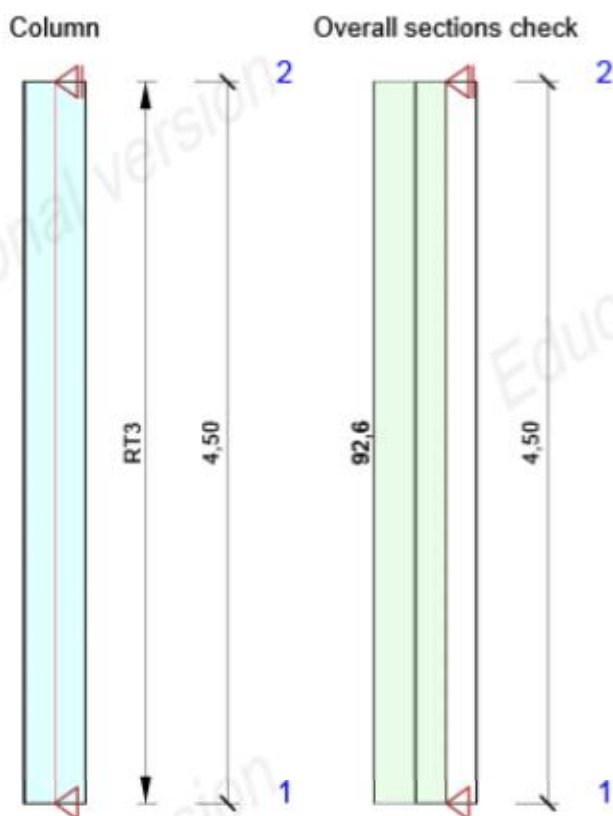
National code

| | |
|---------------------|---------------------|
| National code | EN 1992-1-1:2014-12 |
| Design working life | 50 years |

Educational version

Scheme of reinforcement

Project: Pauli Möttösen opinnäytetyö
Project no:
Author: Pauli Möttönen



Summary of section checks

| Combination | N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | $M_{Ed,z}$ [kNm] | V_{Ed} [kN] | Value [%] | Check |
|--------------------|---|---------------------|---------------------|------------------|--------------|-------|
| Capacity N-M-M | | | | | | |
| ULSF(1) | -1905,5 | -168,9 | 56,0 | -29,4 | 92,6 | OK |
| Shear | | | | | | |
| ULSF(1) | -1905,5 | -168,9 | 56,0 | -29,4 | 19,4 | OK |
| Interaction | | | | | | |
| ULSF(1) | -1905,5 | -168,9 | 56,0 | -29,4 | 84,6 | OK |
| Stress Limitation | | | | | | |
| SLSQ(7) | -1150,0 | -65,0 | 0,0 | -14,4 | 89,5 | OK |
| Crack Width | | | | | | |
| SLSQ(7) | -1165,9 | 0,0 | 0,0 | -14,4 | 0,0 | OK |
| Combination | Critical load effect description | | | | | |
| ULSF(1) | 1,15*G0 + 1,15*G1 + 1,5*LT | | | | | |
| SLSQ(7) | G0 + G1 + 0,3*LT | | | | | |

Lateral stability

Lateral stability check has not been done. Probably there is not any item for check.

Bill of material

Project: Pauli Möttösen opinnäytetyö
Project no:
Author: Pauli Möttönen



| Length [m] | Concrete | | | Reinforcement [kg] | Total weight [kg] | Reinforcement / m ³ concrete [kg/m ³] |
|---------------|----------|-------------------|------|-----------------------|----------------------|---|
| | Name | [m ³] | [kg] | | | |
| 4,50 | C35/45 | 0,65 | 1625 | 56 | 1680 | 86 |

| Φ [mm] | Material | Type of reinforcement | Length [m] | Weight [kg] |
|-----------|----------|-----------------------|---------------|----------------|
| 20 | B 500B | Reinforcement bars | 18,00 | 44 |
| 8 | B 500B | Stirrups | 28,98 | 11 |

Liite 5. Pilarin vertailulaskelma Win Statikilla

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2 Date: 2018-03-27
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Input - Eurocode concrete / EN 1992-1-1 (Finnish annex)

Column: Murtorajatila - Ultimate limit state

General

| Designation | Value |
|---|----------------------------|
| Exposure class: | XC1 Dry or permanently wet |
| Life class: | L50 |
| Quality control and reduced deviations: | No |
| Reduced or measured geometrical data: | No |

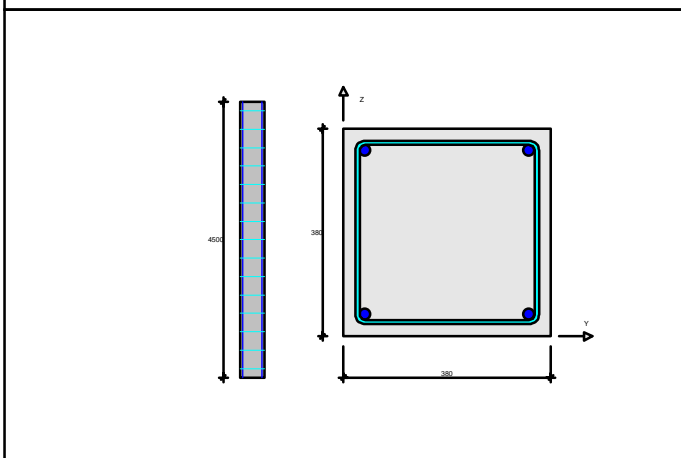
Column geometry

| Designation | Value | Designation | Value |
|--------------------------------|-------|-------------------------|---------|
| Column length (m): | 4.5 | Column type: | Slender |
| Buckling length, L_{cy} (m): | 0 | Stabilized L_{cy}/i : | No |
| Buckling length, L_{cz} (m): | 4.5 | Stabilized L_{cz}/i : | No |

Concrete Material C35/45

| Design values for Ultimate Limit State (MPa) | Value [MPa] | Design values for Ultimate Limit State (MPa) | Value [MPa] |
|--|-------------|--|-------------|
| f_{cd} | 19.83 | e_{cu} | 0.0035 |
| f_{ctd} | 1.50 | g_c | 1.50 |
| E_{cd} | 28398 | Low strength variation: | No |
| e_{c1} | 0.0020 | | |

Section Loadcase: Murtorajatila
 Section: Pauli Möttösen insinööriyö



Loadcase dependent parameters

| Loadcase | Creep coefficient |
|---------------------------------|-------------------|
| Murtorajatila (Effective creep) | 2.09 |

Loadcase

| Designation | M_z [kNm] | M_y [kNm] | N [kN] | Limit state | Type |
|---------------|-------------|-------------|----------|-------------|------|
| Murtorajatila | 132.5 | 0 | -1918.7 | ULS | |

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2 Date: 2018-03-27
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Tutkintotyöt\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Reinforcement

| | | | Material | f_{yd} (MPa) | f_{ycd} (MPa) | E_{sd} (MPa) | Z-coord (mm) | g_s |
|---------------|----------|---|----------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------|
| Bottom | Layer: 1 | 2 | A500HW | 435 | 435 | 200000 | 40 | 1.15 |
| Top | Layer: 1 | 2 | A500HW | 435 | 435 | 200000 | 340 | 1.15 |

Shear reinforcement

Angle (deg) 90.0

| s | Diameter | Material |
|-----|----------|----------|
| 300 | 8 | A500HW |

Column: Murtorajatila - Calculation settings

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Design settings | |
| Use compression reinforcement | Yes |
| Use minimum reinforcement | Yes |
| 2nd order moment calculation | Curvature method (EN 5.8.8) |

Analysis results

Column: Murtorajatila - Ultimate limit state

Slender bending capacity

| | |
|--|---|
| Buckling data | Calculated WITH 2nd order moment according to the Curvature method (EN 5.8.8) |
| Moment from load | $M_y = 0$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiy} = 0$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{y2} = 0$ kNm |
| Total design moment | $M_{yd2} = 0 + 0 + 0 = 0$ kNm |
| Moment with respect to unintentional load eccentricity according to EN 6.1 will be decisive. | $M_y = 38.4$ kNm |
| Moment capacity | $M_{Rdy} = 199.1$ kNm |
| Utilization ratio | $M_{yd2}/M_{Rdy} = 38.4/199.1 = 0.19$ |
| Moment from load | $M_z = 132.5$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiz} = 21.6$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{z2} = 69.3$ kNm |
| Total design moment | $M_{zd2} = 132.5 + 21.6 + 69.3 = 223.4$ kNm |
| Minimum moment with respect to unintentional load eccentricity according to EN 6.1. | $M_z = 38.4$ kNm |
| Moment capacity | $M_{Rdz} = 199.1$ kNm |
| Utilization ratio | $M_{zd2}/M_{Rdz} = 223.4/199.1 = 1.12$ |
| Utilization ratio, biaxially | No check is necessary according to EN 1992-1-1 5.8.9 (5.38) |

Axial force capacity

| | |
|---|-------------------------------------|
| Maximum compression axial force | $N_{Rd} = -3385.4$ kN |
| Maximum compression axial force (reduced by current moment) | $N_{Rd} = -2248.0$ kN |
| Utilization ratio | $N/N_{Rd} = -1918.7/-2248.0 = 0.85$ |

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2

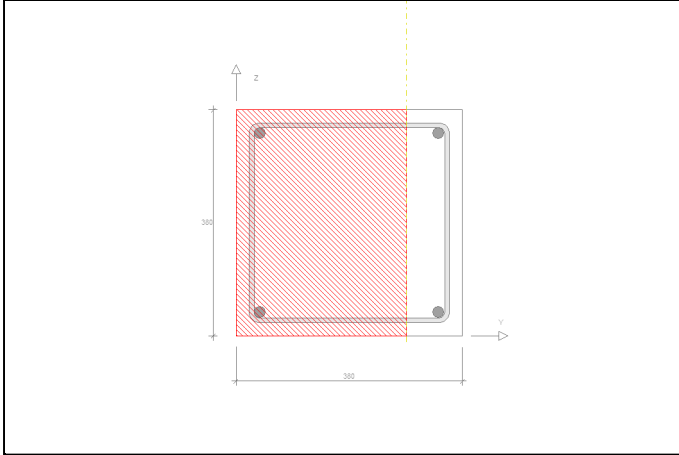
Date: 2018-03-27

Description:

Made by:

Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Compression zone diagram
Loadcase: Murtorajatila
Section: Pauli Möttösen insinöörityö



Input - Eurocode concrete / EN 1992-1-1 (Finnish annex)

Column: Käyttörajatila, lyhyt - Serviceability limit state
Short

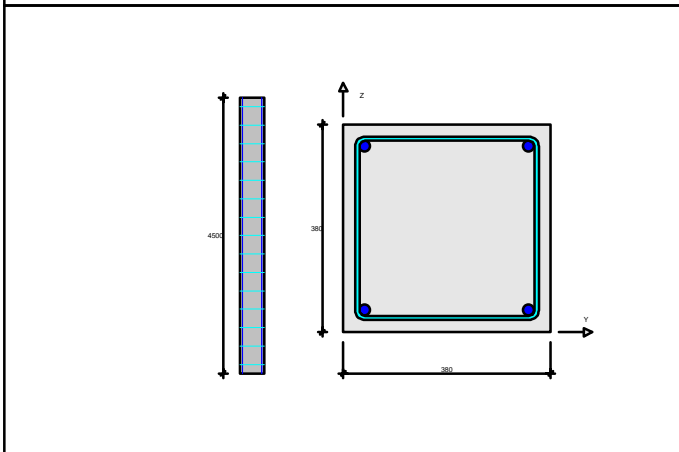
General

| Designation | Value |
|---|----------------------------|
| Exposure class: | XC1 Dry or permanently wet |
| Life class: | L50 |
| Quality control and reduced deviations: | No |
| Reduced or measured geometrical data: | No |

Column geometry

| Designation | Value | Designation | Value |
|--------------------------------|-------|-------------------------|---------|
| Column length (m): | 4.5 | Column type: | Slender |
| Buckling length, L_{cy} (m): | 0 | Stabilized L_{cy}/i : | No |
| Buckling length, L_{cz} (m): | 4.5 | Stabilized L_{cz}/i : | No |

Section Loadcase: Käyttörajatila, lyhyt
Section: Pauli Möttösen insinöörityö



Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2 Date: 2018-03-27
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Loadcase

| Designation | Mz [kNm] | My [kNm] | N [kN] | Limit state | Type |
|-----------------------|----------|----------|---------|-------------|-------|
| Käyttörajatila, lyhyt | 100.0 | 0 | -1516.2 | SLS | Short |

Reinforcement

| | Material | f_{yd} (MPa) | f_{ycd} (MPa) | E_{sd} (MPa) | Z-coord (mm) | g_s |
|--|----------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------|
| Bottom Layer: 1 2 Æ 20 | A500HW | 500 | 500 | 200000 | 40 | 1.00 |
| Top Layer: 1 2 Æ 20 | A500HW | 500 | 500 | 200000 | 340 | 1.00 |

Shear reinforcement

Angle (deg) 90.0

| s | Diameter | Material |
|-----|----------|----------|
| 300 | 8 | A500HW |

Column: Käyttörajatila, lyhyt - Calculation settings

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Design settings | |
| Use compression reinforcement | Yes |
| Use minimum reinforcement | Yes |
| 2nd order moment calculation | Curvature method (EN 5.8.8) |

Analysis results**Column: Käyttörajatila, lyhyt - Serviceability limit state**
Short**Control result**

| | |
|--------------------------------------|---|
| Moment from load | $M_y = 0$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiy} = 0$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{y2} = 0$ kNm |
| Total design moment | $M_{yd2} = 0 + 0 + 0 = 0$ kNm |
| Moment from load | $M_z = 100.0$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiz} = 17.1$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{z2} = 62.7$ kNm |
| Total design moment | $M_{zd2} = 100.0 + 17.1 + 62.7 = 179.8$ kNm |

General

| | |
|-------------------------|--|
| Cracked section | Yes Stage II |
| Crack moment | $M_{cr,z} = 131.1$ kNm |
| Moment of inertia | $I_z = 655.4 \cdot 10^{-6}$ m ⁴ |
| Compression zone height | $x = 245$ mm |
| Effective depth | $d = 340$ mm |

Stresses**Concrete**

| | |
|------------------------|--------------------------|
| Max compression stress | $S_{cc,max} = -31.9$ MPa |
|------------------------|--------------------------|

Reinforcement

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Max compression stress | $S_{sc,max} = -156$ MPa |
| Max tension stress | $S_{st,max} = 73$ MPa |

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2

Date: 2018-03-27

Description:

Made by:

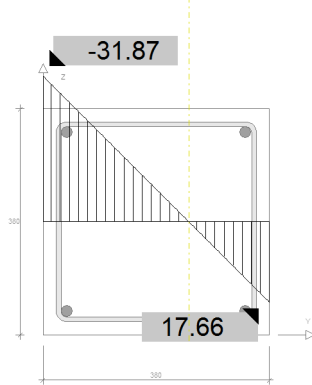
Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Control result

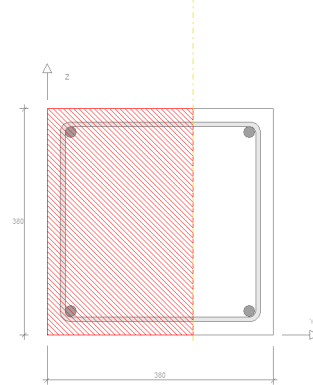
Crack width (mm)

| | |
|-------------------------------|--|
| Max crack width | $w_k = 0.04 \text{ mm}$ |
| Crack distance | $s_{r, \text{max}} = 176 \text{ mm}$ |
| Min req bar area in crackzone | $A_{s, \text{min}} = 56 \text{ mm}^2 < A_{s, \text{tensile}} = 628 \text{ mm}^2$ |
| Distribution coefficient | $z = 0.99$ |

Stress diagram [MPa]
Loadcase: Käyttörajatila, lyhyt
Section: Pauli Möttösen insinööri



Compression zone diagram
Loadcase: Käyttörajatila, lyhyt
Section: Pauli Möttösen insinööri



Input - Eurocode concrete / EN 1992-1-1 (Finnish annex)

**Column: Käyttörajatila, pitkä - Serviceability limit state
Long**

General

| Designation | Value |
|---|----------------------------|
| Exposure class: | XC1 Dry or permanently wet |
| Life class: | L50 |
| Quality control and reduced deviations: | No |
| Reduced or measured geometrical data: | No |

Column geometry

| Designation | Value | Designation | Value |
|--------------------------------|-------|-------------------------|---------|
| Column length (m): | 4.5 | Column type: | Slender |
| Buckling length, L_{cy} (m): | 0 | Stabilized L_{cy}/i : | No |
| Buckling length, L_{cz} (m): | 4.5 | Stabilized L_{cz}/i : | No |

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2

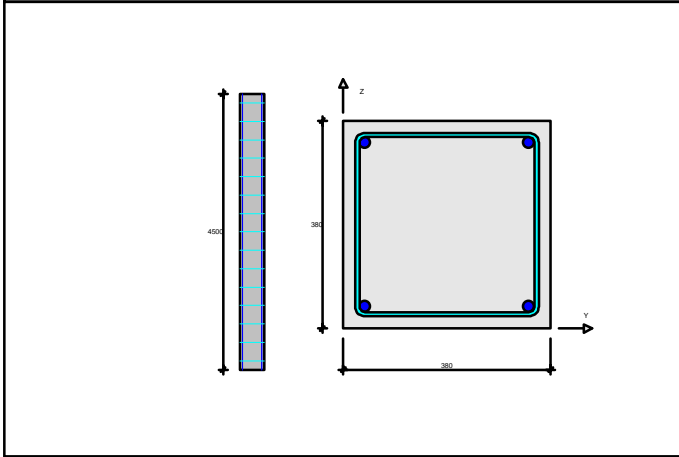
Date: 2018-03-27

Description:

Made by:

Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Section Loadcase: Käyttörajatila, pitkä
Section: Pauli Möttösen insinööri



Loadcase dependent parameters

| Loadcase | Creep coefficient |
|-----------------------|-------------------|
| Käyttörajatila, pitkä | 2.09 |

Loadcase

| Designation | Mz [kNm] | My [kNm] | N [kN] | Limit state | Type |
|-----------------------|----------|----------|---------|-------------|------|
| Käyttörajatila, pitkä | 65.0 | 0 | -1166.2 | SLS | Long |

Reinforcement

| | | | Material | f_{yd} (MPa) | f_{ycd} (MPa) | E_{sd} (MPa) | Z-coord (mm) | g_s |
|---------------|----------|---|----------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------|
| <u>Bottom</u> | Layer: 1 | 2 | A500HW | 500 | 500 | 200000 | 40 | 1.00 |
| <u>Top</u> | Layer: 1 | 2 | A500HW | 500 | 500 | 200000 | 340 | 1.00 |

Shear reinforcement

Angle (deg) 90.0

| s | Diameter | Material |
|-----|----------|----------|
| 300 | 8 | A500HW |

Column: Käyttörajatila, pitkä - Calculation settings

| Design settings | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Use compression reinforcement | Yes |
| Use minimum reinforcement | Yes |
| 2nd order moment calculation | Curvature method (EN 5.8.8) |

Concrete Column 6.4.009

© StruSoft AB 2017

Project: Concrete Column calculation2

Date: 2018-03-27

Description:

Made by:

Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Tutkintotyö\Muut\Strusoft_pilari.ccc

Analysis results

Column: Käyttörajatila, pitkä - Serviceability limit state
Long

Control result

| | |
|--------------------------------------|--|
| Moment from load | $M_y = 0$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiy} = 0$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{y2} = 0$ kNm |
| Total design moment | $M_{yd2} = 0 + 0 + 0 = 0$ kNm |
| Moment from load | $M_z = 65.0$ kNm |
| Moment from initial bow imperfection | $M_{eiz} = 13.1$ kNm |
| Addition from 2nd order effects | $M_{z2} = 73.6$ kNm |
| Total design moment | $M_{zd2} = 65.0 + 13.1 + 73.6 = 151.7$ kNm |

General

| | |
|-------------------------|---|
| Cracked section | Yes Stage II |
| Crack moment | $M_{cr,z} = 119.7$ kNm |
| Moment of inertia | $I_z = 2222.1 \cdot 10^{-6}$ m ⁴ |
| Compression zone height | $x = 256$ mm |
| Effective depth | $d = 340$ mm |

Stresses

Concrete

| | |
|------------------------|--------------------------|
| Max compression stress | $s_{cc,max} = -21.6$ MPa |
|------------------------|--------------------------|

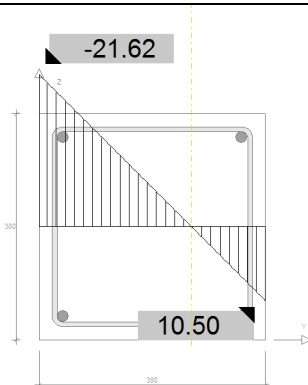
Reinforcement

| | |
|------------------------|-------------------------|
| Max compression stress | $s_{sc,max} = -331$ MPa |
| Max tension stress | $s_{st,max} = 129$ MPa |

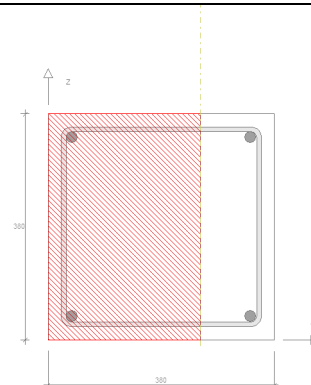
Crack width (mm)

| | |
|-------------------------------|--|
| Max crack width | $w_k = 0.07$ mm |
| Crack distance | $s_{r,max} = 161$ mm |
| Min req bar area in crackzone | $A_{s,min} = 73$ mm ² < $A_{s,tensile} = 628$ mm ² |
| Distribution coefficient | $z = 0.95$ |

Stress diagram [MPa]
Loadcase: Käyttörajatila, pitkä
Section: Pauli Möttösen insinööri



Compression zone diagram
Loadcase: Käyttörajatila, pitkä
Section: Pauli Möttösen insinööri



Liite 6. Palkin vertailulaskelma käsin laskennalla

Suorakaidepalkin mitoitus

| | |
|------------------|-----|
| Toteutusluokka | 2 |
| Toleranssiluokka | 1 |
| Rasitusluokka | XC1 |
| Suunn. käyttöikä | 50 |
| Paloluokka R | |

| | |
|----------------|-------|
| M_{Ed} , MNm | 0,073 |
| V_{Ed} , MN | 0,055 |

Palkin mitat

| | |
|--------------------|-----|
| Leveys b_w , mm | 280 |
| Korkeus h , mm | 380 |
| Jänneväli L , mm | |

Raudoitus

Pääraudoitus I

| | |
|-----------------------|-----|
| Tankomäärä, n | 2 |
| Halkaisija, ϕ mm | 20 |
| Myötölujuus f_{yk} | 500 |

Pääraudoitus II

| | |
|-----------------------|-----|
| Tankomäärä, n | 0 |
| Halkaisija, ϕ mm | 0 |
| Myötölujuus f_{yk} | 500 |

Tangot mahtuvat yhteen riviin

Haat

| | |
|-----------------------|-----|
| Leikkeisyys, n | 2 |
| Halkaisija, ϕ mm | 8 |
| Myötölujuus f_{yk} | 500 |

Puristusraudoitus

| | |
|-----------------------|--|
| Tankomäärä, n | |
| Halkaisija, ϕ mm | |
| Myötölujuus f_{yk} | |

| | |
|---|-------------|
| Syötetyn pääraudoituksen pinta-ala $A_{s,tot}$, mm ² | 628,3185307 |
| Suhteellinen raudoitusala $\rho = A_{s,tot} / bd$ | 0,006775346 |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| μ | 0,119836319 |
| Tarvittava raudoituksen pinta-ala | |

Materiaaliosavarmuusluvut

Betoni γ_c 1,50

Raudoitus γ_s 1,15

Betonin lujuuskertoimet

α_{cc} 0,85

α_{ct} 1

Pinta-ala, m² 0,1064

Piiri, m 0,00132

Paino MN/m 0,00266

Pinta-ala A_{s1} , mm² 628,3185307

Vapaa väli 22

f_{yd} 434,7826087

Pinta-ala A_{s1} , mm² 0

Vapaa väli 0

f_{yd} 434,7826087

Pinta-ala A_{sw} , mm² 100,5309649

f_{ywd} 434,7826087

Pinta-ala A_{s2} , mm² 0

f_{yd} 0

Vähimmäisraudoitusmäärä

$A_{s,min}$ 154,79312

μ_{bd} 0,372

η 1

$A_{s,req}$ 541,6167088

Taivutuskestävyys

$M_{Rc,d}$, MNm 0,090477868

Leikkaus

$\cot \Theta$ 2,5

$V_{Rd,max}$, MN 0,294535932

$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$ Ehto toteutuu

Valittu hakavali s 200

leikkauskestävyys

V_{rd} , MN 0,162860163

Hakavali s, mm 592,2187751

s_{max} 248,4

s_{min} 265,0

Betonipeite ja palkin tehollinen korkeus

$c_{min,dur}$, mm 5

c_{min} , mm 13,2

c_{nom} , mm 23,2

Valitaan: c_{nom} , mm 30

Tehol. Korkeus d_1 331,2

Tehol. Korkeus d_2 38,8

$c_{min,b}$, mm 13,2

Δc_{dev} , mm 10

nurkkatankojen keskiöetäisyys

a 48

a_{sd} 58

Betoni

Puristuslujuus, MPa

f_{ck} 35

f_{cm} 43

f_{cd} 19,83333333

d_g 16

Vetolujuus

f_{ctm} 3,209962442

$f_{ctk} = f_{ctk,0,05}$ 2,246973709

f_{ctd} 1,497982473

TAIPUMAN JA HALKEILUN RAJOITTAMINEN

Voimasuureet

M_{ek} , MNm 0,0574

M_{Eqp} , MNm 0,0432

Lyhyt

Pitkä

Jänneväli L, mm 4500

Taipuman raja-arvo mm 18

Viruma

t_0 28

t 4000

RH, % 50

Virumaluku φ 2,1

h_0 161,2121212

φ_0 2,156145541

β_c 0,967176527

Kutistuma

| | |
|-----------------------|----------------|
| t_s | 2 |
| $\epsilon_{cd,0}$, ‰ | 0,26 |
| k_h | 0,908181818 |
| $\epsilon_{ca}(t)$ | 6,24998E-05 ok |

| | |
|--------------------|-------------|
| t | 4000 |
| h_0 | 161,2121212 |
| $\epsilon_{cd}(t)$ | 0,000231389 |
| ϵ_{cs} | 0,000293888 |

Kimmokertoimet

| | |
|-------------------|-------------|
| E_s , GPa | 200 |
| E_{cm} , GPa | 34,0771462 |
| $E_{c,eff}$, GPa | 10,99262781 |

Kimmokertoimien suhdeluvut

| | |
|------------------|-------------|
| α_e | 5,869036064 |
| $\alpha_{e,eff}$ | 18,1940118 |

Halkeamaton tila

Lyhytaikainen tila

| | |
|------------------------------|-------------|
| $X_{I,ST}$ | 193,9464342 |
| $I_{I,ST}$, mm ⁴ | 1339636631 |

Pitkäaikainen tila

| | |
|------------------------------|-------------|
| $X_{I,LT}$ | 203,0152311 |
| $I_{I,LT}$, mm ⁴ | 1475883335 |

Haljennut tila

Lyhytaikainen tila

| | |
|-------------------------------|-------------|
| $X_{II}=X_{ST}$ | 81,15550012 |
| $Z_{II}=Z_{ST}$ | 304,1481666 |
| $I_{II,ST}$, mm ⁴ | 280445938,9 |

Pitkäaikainen tila (bet. viruma)

| | |
|-------------------------------|-------------|
| $X_{II}=X_{LT}$ | 128,6154885 |
| $Z_{II}=Z_{LT}$ | 288,3281705 |
| $I_{II,LT}$, mm ⁴ | 667731178,3 |

Halkeilumomentti (Taipuman rajoittamisessa)

| | |
|------------------|-------------|
| $M_{R,cr}$, MNm | 0,058347408 |
|------------------|-------------|

Mitoitusehto: $M_{ek} \geq M_{R,cr}$

Halkeilukestävyys

| | |
|------------------|-------------|
| $M_{R,cr}$, MNm | 0,021630867 |
|------------------|-------------|

Palkki halkeaa

Halkeiluaste ζ ominaiskuormien yhdistelmän perusteella

| | |
|---------|-----|
| β | 0,5 |
|---------|-----|

| | |
|---------|------------|
| ζ | 0,92899416 |
|---------|------------|

ULKOISEN KUORMAN AIHEUTTAMA TAIPUMA

Halkeamattoman tilan kaarevuus (pitkäaikainen yhdistelmä)

| | |
|--------------------|-------------|
| $1/r_{I,LT}$, 1/m | 0,002662749 |
|--------------------|-------------|

Haljenneen tilan kaarevuus (pitkäaikainen yhdistelmä)

| | |
|---------------------|-------------|
| $1/r_{II,LT}$, 1/m | 0,005885462 |
|---------------------|-------------|

Osittain haljenneen tilan kaarevuus

| | |
|------------------|-------------|
| $1/r_{LT}$, 1/m | 0,005656631 |
|------------------|-------------|

Kuormituksen aiheuttama taipuma

| | |
|-----|-------------|
| K | 0,104166667 |
|-----|-------------|

| | |
|----------------------|-------------|
| $\alpha_{LT,M}$, mm | 11,93195526 |
|----------------------|-------------|

KUTISTUMAN AIHEUTTAMA TAIPUMA

Raudoituksen staattinen momentti poikkileikkauksen painopisteen suhteen

| | | | |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Halkematon tila | | Haljennut tila | |
| $S_{I,LT}$, mm ³ | 80540,86563 | $S_{II,LT}$, mm ³ | 127287,6026 |
| Kaarevuus | | | |
| $1/r_{CS}$, 1/m | 0,001646251 | ϵ_{CS} , % | 0,05 |
| Kutistuman aiheuttama taipuma | | | |
| α_{CS} , mm | 4,167073326 | K_{CS} | 0,125 |

KOKONAISTAIPUMA PITKÄAIKAISELLA KUORMITUKSELLE

| | |
|---------------|-------------|
| α , mm | 16,09902858 |
|---------------|-------------|

HALKEILUN RAJOITTAMINEN

Halkeilukestävyys (halkeilun rajoittamisessa)

| | |
|------------------|-------------|
| $M_{R,cr}$, MNm | 0,021630867 |
|------------------|-------------|

Vetoterästen jännitys haljenneessa tilassa

KRT: Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä, lyhytaikainen tila

| | |
|-----------------------|-------------|
| $\sigma_{s,ST}$, MPa | 226,0573726 |
|-----------------------|-------------|

KRT: Pitkäaikainen kuormitusyhdistelmä, pitkäaikainen tila

| | |
|-----------------------|-------------|
| $\sigma_{s,LT}$, Mpa | 238,4606932 |
|-----------------------|-------------|

Vähimmäisraudoitusala (halkeamamitoituksessa)

| | |
|-------------|------------|
| k_c | 0,4 |
| k | 0,944 |
| $A_{s,min}$ | 285,249501 |

$A_{s1} > A_{s,min}$ Toteutuu, raudoituksen määrä on riittävä halkeamaleveyden rajoittamiseen.

Halkeamaleveyden rajatila

Halkeilun mitoitusehto rasitusluokan mukaan (kansallinen liite)

| | | | |
|----------------|-----|--------------------------|-----|
| w_{max} (mm) | 0,4 | Korotettu arvo w_{max} | 0,8 |
|----------------|-----|--------------------------|-----|

Halkeamaleveyden suora laskenta

Tehollinen raudoitussuhde halkeaman muodostumishetken mukaan (suhteellinen raudoitusala) $\rho_p;eff$

$h_{c,eff}$ 99,61483329
 $\rho_p;eff$ 0,022526713

Raudoituksen ja betonin venymäero

Keskimääräinen venymä

k_t 0,4
 $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ (m) 0,000869633

$\epsilon_{sm} = 0,6 * \epsilon_s$ (m) 0,000715382

Käytetään arvoa: 0,000869633

Venymäerolle käytettävä vähintään tätä arvoa.

Halkeamavälin maksimiarvo

k_1 0,8
 k_2 0,5

k_3 3,4
 k_4 0,425
 $c = c_{nom} + \phi_h$ 38

$S_{r,max}$ (mm) 280,1319185

w_k (mm) 0,243611976

MITOITUSEHTO TÄYTTYY!

Jännitysten rajoittaminen

Lyhytaikainen kuormitus, halkeamaton tila

Raja-arvo

σ_c (y), MPa -16,2820271

$0,6 * f_{ck}$ 21

MITOITUSEHTO TÄYTTYY!

σ_s , MPa 300,3632682 Mitoitusehto ei täyty

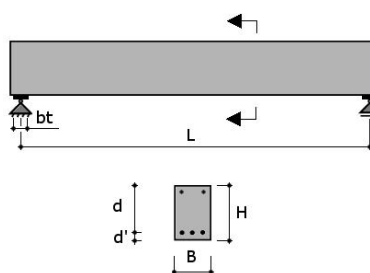
$0,6 * f_{yk}$ 300

Liite 7. Palkin vertailulaskelma Eurocode Servicellä

| | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Kohde: | Projekti nro: | Sivu: |
| Pauli Möttösen lopputyö | S304_39L1025 | 1/3 |
| Katu: | Rakennetyyppi: | Pvm: |
| | 1-aukkoinen betonipalkki | 28.4.2018 |
| Postiosoite: | Nimi: | Suunnittelija: |
| | Palkki 1 | pamot |

Rakenne ja materiaalit

| | |
|------------------------------------|---------|
| Jänneväli, L | 4500 mm |
| Palkin leveys, B | 280 mm |
| Palkin korkeus, H | 380 mm |
| Tuen leveys, bt | 0 mm |
| Terästen p.p. alareunasta, d' | 40 mm |
| Palkin tehollinen korkeus, d | 340 mm |
| Suunnitteluikä | 50 v. |
| Seuraamusluokka | CC2 |
| Toteutusluokka | 2 |
| Toleranssiluokka | 1 |
| Ympäristöluokka | XC1 |
| Ympäristön suhteellinen kosteus RH | 50 % |
| Rakenteen kuormitusikä | 28 vrk |



| | | | |
|--|-----------|--|------------|
| Betonin lujuusluokka | C35/45 | Betoniteräs | B500B |
| - Materiaaliosavarmuuskerroin γ_c | 1,5 | - Materiaaliosavarmuuskerroin γ_s | 1,15 |
| - Lierölujuuden ominaisarvo f_{ck} | 35,0 MPa | - Myötölujuuden ominaisarvo f_{yk} | 500,0 MPa |
| - Keskimääräinen vetolujuus f_{ctm} | 3,21 MPa | - Myötölujuuden mitoitusarvo f_{yd} | 434,8 MPa |
| - Puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd} | 19,8 MPa | - Kimmokertoimen mitoitusarvo E_s | 200000 MPa |
| - Sekanttimoduli E_{cm} | 34077 MPa | | |
| - Sementin tyyppi | Tyyppi N | | |

Säilyvyys / suojapeite

| | |
|--|-------|
| Ympäristöolosuhteiden vaatima min. betonipeite | 5 mm |
| Tartunnan vaatima min. betonipeite - haat | 8 mm |
| Tartunnan vaatima min. betonipeite - pääteräkset | 20 mm |

Kuormitukset

| | |
|--|---|
| Palkin omapaino g_0 | 2,7 kN/m |
| Muut pysyvät kuormat g_1 | 12,0 kN/m |
| Hyötykuormat q_1 | 8,0 kN/m |
| Pysyvän kuorman osavarmuuskerroin γ_g | 1,35 (yhdistelmä A) tai 1,15 (yhdistelmä B) |
| Hyötykuorma osavarmuuskerroin γ_q | 1,5 |
| Hyötykuorma pitkäaik.arvon yhdistelykerroin ψ_2 | 0,3 - Hyötykuorma, Luokka A (asuintilat) |

| | | |
|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Kohde: | Projekti nro: | Sivu: |
| Pauli Möttösen lopputyö | S304_39L1025 | 2/3 |
| Katu: | Rakennetyyppi: | Pvm: |
| | 1-aukkoinen betonipalkki | 28.4.2018 |
| Postiosoite: | Nimi: | Suunnittelija: |
| | Palkki 1 | pamot |

Voimasuureet

| Kuormitusyhdistelmä | Tasainen kuormitus | Momentin mitoitusarvo | Leikkausvoiman mitoitusarvo | Leikkausvoiman maksimi |
|---|--------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|
| Murtorajatila, yhd. A: 1,35* G | 19,8 kN/m | 50 kNm | 38 kN | 45 kN |
| Murtorajatila, yhd. B: 1,15 * G + 1,50 * Q | 28,9 kN/m | 73 kNm | 55 kN | 65 kN |
| Käyttörajatila, ominais yhd.: G + Q | 22,7 kN/m | 57 kNm | | |
| Käyttörajatila, pitkäaik.yhd.: G + 0,30 * Q | 17,1 kN/m | 43 kNm | | |

Taivutuskestävyys

| | | |
|--|---------------------|--------------------------------------|
| Taivutusmomentin mitoitusarvo Med | 73 kNm | |
| Tehollinen korkeus d | 340 mm | |
| Suhteellinen momentti μ | 0,114 | |
| Momenttivarsi z | 319 mm | |
| Vaadittu puristusraudoitusala As' | 0 mm ² | |
| Vaadittu vetoraudoitusala As | 526 mm ² | |
| Minimirauoitusala As,min | 159 mm ² | |
| Valittu puristusraudoitus | - | |
| Valittu vetoraudoitus | 2xT20 | |
| Todellinen puristusraudoitusala As'(tod) | 0 mm ² | |
| Todellinen vetoraudoitusala As(tod) | 628 mm ² | > As min.(159 mm ²) - OK |
| Taivutuskestävyys Mrd | 86 kNm | > Med (73,0 kNm) - OK |
| Betonipuristuma $\epsilon_c(\max)$ | -2,21 ‰ | |
| Teräsvenymä $\epsilon_s(\max)$ | 10,00 ‰ | |


Leikkauskestävyys

| | | |
|--|------------------------------|---|
| Leikkausvoiman mitoitusarvo Ved | 55 kN | |
| Leikkausvoiman maksimi tuella Vmax | 65 kN | |
| Leikkauskestävyys (raudoittamaton pl.) Vrd,c | 46 kN | |
| Puristuspaarteen kaltevuus cot(θ) | 2,50 ($\theta=21,8^\circ$) | |
| Leikkauskestävyyden yläraja Vrd,max | 302 kN | > Vmax (64,9 kN) - OK |
| Vaadittu leikkausraudoitusala Asw/s | 166 mm ² /m | |
| Minimi leikkausraudoitusala Asw/s,min | 265 mm ² /m | |
| Valittu leikkausraudoitus | T8(2L) K200 | |
| Todellinen leikkausraudoitusala Asw/s,tod | 503 mm ² /m | > Asw min.(265 mm ² /m) - OK |
| Leikkauskestävyys Vrd | 167 kN | > Ved (55,1 kN) - OK |
| Ankkuroitava lisävetovoima ΔF_{td} | 69 kN | |
| Ankkuroitava lisäpinta-ala ΔA_s | 158 mm ² | |

| | | |
|---|---|---|
| Kohde: | Projekti nro: | Sivu: |
| Pauli Möttösen lopputyö | S304_39L1025 | 3/3 |
| Katu: | Rakennetyyppi: | Pvm: |
| | 1-aukkoinen betonipalkki | 28.4.2018 |
| Postiosoite: | Nimi: | Suunnittelija: |
| | Palkki 1 | pamot |
| | Pitkäaikaisyhdistelmä: G + 0,30 * Q | Ominaisyhdistelmä: G + Q |
| Halkeamatarkastelu | | |
| Suurin halkeamaväli (sr,max) | 228 mm | 252 mm |
| Venymien erotus ($\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$) | 0,89 ‰ | 0,98 ‰ |
| Halkeaman leveys (wk) | 0,20 mm | 0,25 mm |
| | ≤ 0,4 mm - OK | |
| Taipumatarkastelu | | |
| Virumaluku $\phi(\infty, t_0)$ | 2,14 | |
| Kuivumiskutistuma $\epsilon(\infty)$ | 0,41 ‰ | |
| Sisäinen kutistuma $\epsilon(\infty)$ | 0,06 ‰ | |
| Halkeamattoman pl. jäykkyys K | 16,4 MNm ² | 46,4 MNm ² |
| Halkeamamomentti M _{cr} | 27,8 kNm | 23,6 kNm |
| Halkeilleen pl. jäykkyys K _{cr} | 7,8 MNm ² | 10,1 MNm ² |
| Jakautumakerroin ξ | 0,79 | 0,83 |
| Tehollinen jäykkyys K _{eff} | 9,6 MNm ² | 16,3 MNm ² |
| Taipuma virumasta | 5,2 mm | |
| Taipuma kutistumasta | 1,6 mm | |
| Kokonaistaipuma | 11,2 mm | 14,3 mm |
| Suhteellinen taipuma | L/403 | L/316 |
| | < L/250 (18 mm) - OK | |
| Jännitystarkastelu | | |
| Betonijännitys $\sigma_c(\max)$ | -7,9 MPa | -15,9 MPa ≤ 0,6*f_{ck} (21,0 MPa) - OK |
| Teräsjännitys $\sigma_s(\max)$ | 232,0 MPa | 292,1 MPa ≤ 0,6*f_{yk} (300,0 MPa) - OK |
| A-Insinöörit Oy Puutarhakatu 10 33210 Tampere Y-tunnus: 1841818-1 | | |

Tulostettu 28.4.2018 11:03 käyttäen Eurocode Service Oy web-palvelua www.eurodetools.fi

Liite 8. Palkin vertailulaskelma IDEA StatiCalla

| | | |
|--------------------|------------------------------------|---|
| Project: | Pauli Möttösen insinöörityö |  <small>Calculate yesterday's estimates</small> |
| Project no: | | |
| Author: | | |

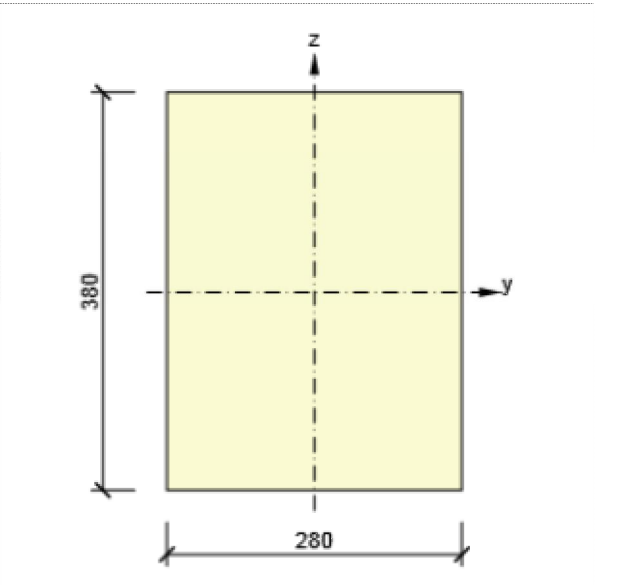
| |
|----------------------------|
| Table of content |
| 1 Project Data |
| 2 Cross-Sections |
| 3 Material |
| 4 Geometry |
| 5 Load Cases |
| 6 Loads |
| 7 Load Combinations |
| 8 Results |
| 9 Concrete design |

1 Project Data

| | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Title of the project | Pauli Möttösen insinöörityö |
| Identification of project | |
| Author | |
| Description | |
| Date | 14.2.2018 |
| Design code | EN |
| Type of beam | Cast-in-situ reinforced concrete beam |

2 Cross-Sections

1. Rectangle 380, 280

| Symbol | Value | Unit | |
|-----------------|------------|--------------------|--|
| Material | C35/45 | |  |
| A | 106400 | [mm ²] | |
| S _y | 0 | [mm ³] | |
| S _z | 0 | [mm ³] | |
| I _y | 1280346667 | [mm ⁴] | |
| I _z | 695146667 | [mm ⁴] | |
| C _{gy} | 0 | [mm] | |
| C _{gz} | 0 | [mm] | |
| i _y | 110 | [mm] | |
| i _z | 81 | [mm] | |

3 Material

Concrete

Project: Pauli Möttösen insinöörityo
Project no:
Author:

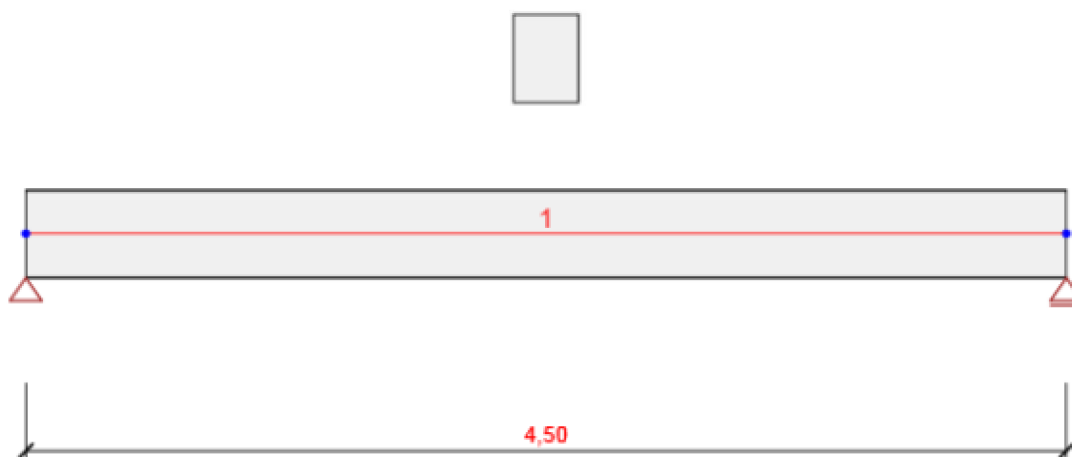


| Name | f_{ck} [MPa] | f_{cm} [MPa] | f_{ctm} [MPa] | E_{cm} [MPa] | μ [-] | Unit mass [kg/m ³] |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------|
| C35/45 | 35,0 | 43,0 | 3,2 | 34077,1 | 0,20 | 2500 |
| $\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu2} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{c3} = 17,5 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu3} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, Exponent - n: 2,00, Aggregate size = 16 mm, Cement class: R (s = 0,20), Diagram type: Parabolic | | | | | | |

Reinforcement

| Name | f_{yk} [MPa] | f_{tk} [MPa] | E [MPa] | μ [-] | Unit mass [kg/m ³] |
|--|-------------------|-------------------|------------|--------------|-----------------------------------|
| B 500B | 500,0 | 540,0 | 200000,0 | 0,20 | 7850 |
| $f_{tk}/f_{yk} = 1,08$, $\epsilon_{uk} = 500,0 \cdot 10^{-4}$, Type: Bars, Bar surface: Ribbed, Class: B, Fabrication: Hot rolled, Diagram type: Bilinear with an inclined top branch | | | | | |

4 Geometry



Structural scheme

Members

| Member | Length [m] | End of Member [m] | Cross-Section |
|--------|---------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 4,50 | 4,50 | 1 - Rectangle 380, 280 |

Nodes

| Node | X [m] | Support |
|------|----------|---------|
| 1 | 0,00 | XZ |
| 2 | 4,50 | Z |

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



5 Load Cases

| Name | Type | Load Group | Load [kN/m] |
|------|-----------|------------|-------------|
| SW | Permanent | LG1 | -3,7 |
| G | Permanent | LG1 | -12,0 |
| Q | Variable | LG2 | -8,0 |

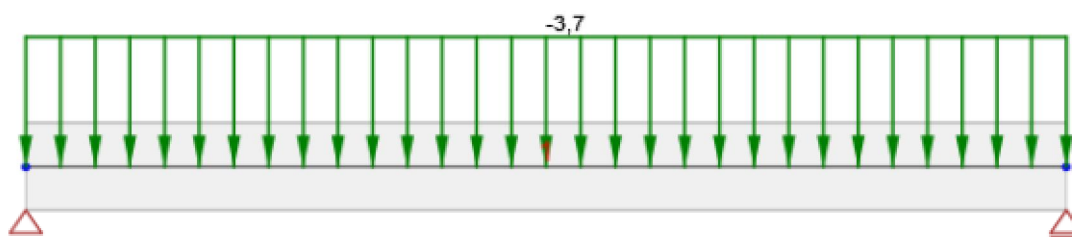
Permanent load groups

| Name | $\gamma_{G, sub}$ [-] | $\gamma_{G, inf}$ [-] | ξ [-] |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| LG1 | 1,35 | 1,00 | 0,85 |

Variable load groups

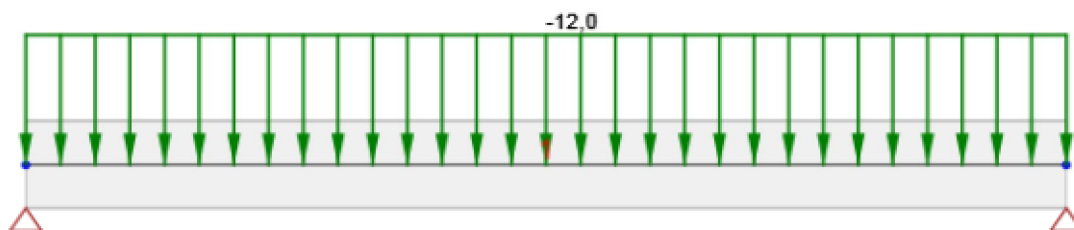
| Name | Type | γ_q [-] | ψ_0 [-] | ψ_1 [-] | ψ_2 [-] |
|------|-----------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| LG2 | Exclusive | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |
| LG3 | Standard | 1,50 | 0,70 | 0,50 | 0,30 |

6 Loads

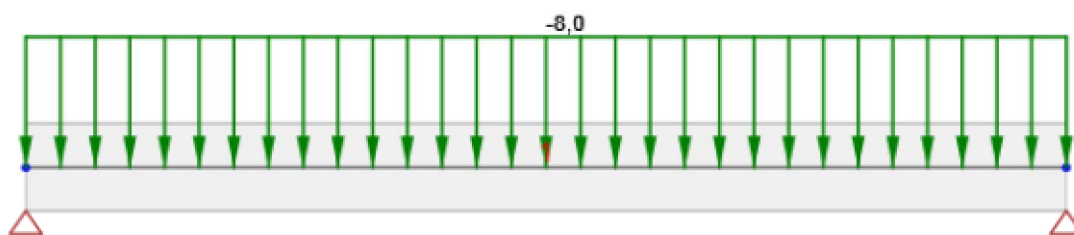


Load Case SW

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



Load Case G



Load Case Q

7 Load Combinations

| Name | Type | Evaluation |
|----------|-----------------|----------------------------|
| ULSF | ULS Fundamental | Eurocode, formula 6.10 a,b |
| SW; G; Q | | |

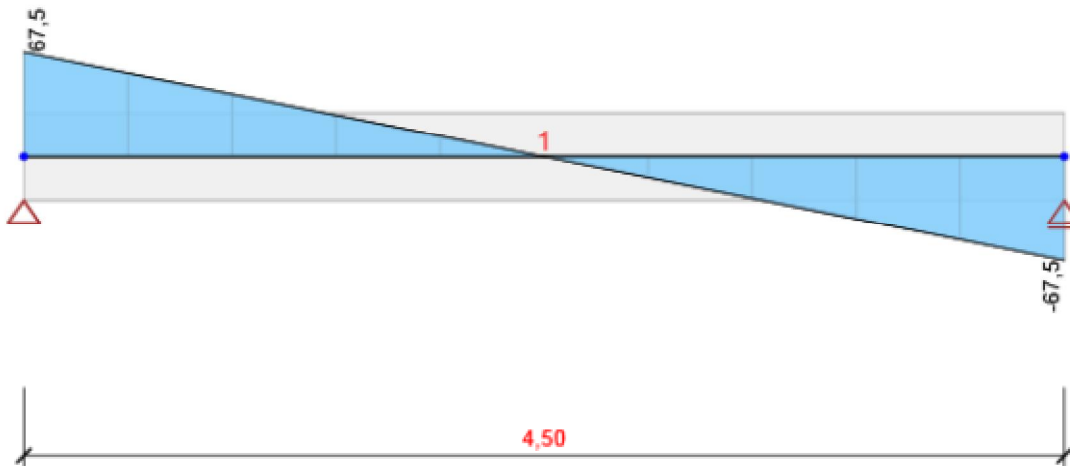
Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



| Name | Type | Evaluation |
|----------|-----------|-------------------------|
| SLSC | SLS Char | Eurocode, formula 6.14b |
| SW; G; Q | | |
| SLSF | SLS Freq | Eurocode, formula 6.15b |
| SW; G; Q | | |
| SLSQ | SLS Quasi | Eurocode, formula 6.16b |
| SW; G; Q | | |

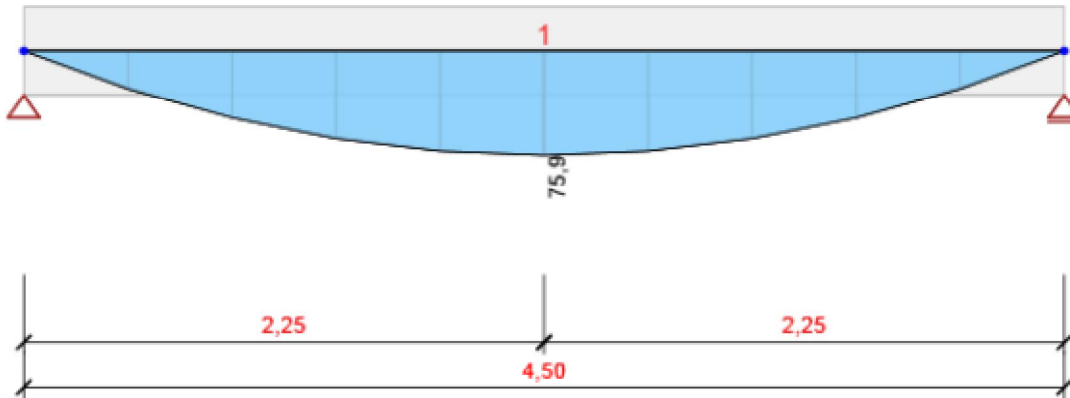
8 Results

Envelopes



All combinations, V_z [kN], Centroidal forces

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



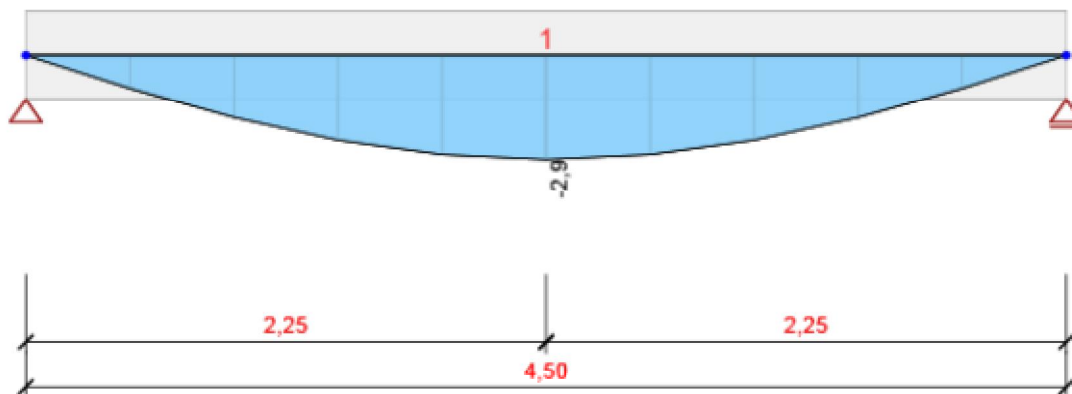
All combinations, My [kNm], Centroidal forces

Internal forces, Member Extreme, Centroidal forces

| Member | Combi | Position [m] | N [kN] | V _z [kN] | M _y [kNm] |
|--------|---------|--------------|--------|---------------------|----------------------|
| 1 | ULSF(1) | 0,00 | 0,0 | 67,5 | 0,0 |
| 1 | ULSF(1) | 4,50 | 0,0 | -67,5 | 0,0 |
| 1 | ULSF(1) | 2,25 | 0,0 | 0,0 | 75,9 |

| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| ULSF(1) | 1,15*SW + 1,15*G + 1,5*Q |

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



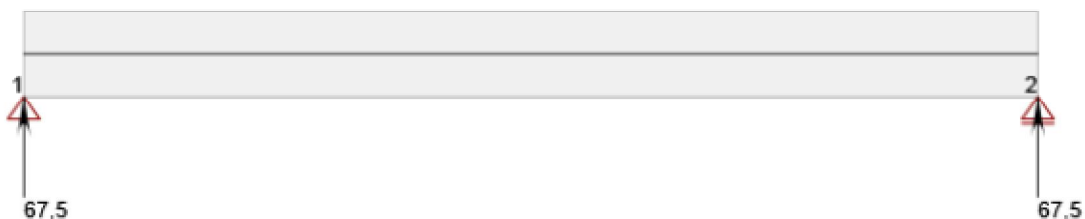
All combinations, Displacement uz [mm]

Deformations, Member Extreme,

| Member | Combi | Position [m] | u _x [mm] | u _z [mm] | f _y [mrad] |
|--------|---------|--------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 | SLSC(2) | 0,00 | 0,4 | 0,0 | 2,1 |
| 1 | SLSC(2) | 2,25 | 0,4 | -2,9 | 0,0 |
| 1 | SLSC(2) | 4,50 | 0,4 | 0,0 | -2,1 |

| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| SLSC(2) | SW + G + Q |

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



All combinations, Reactions

Reactions

| Node | Combi | R _x [kN] | R _z [kN] | M _y [kNm] |
|------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | ULSF(1) | 0,0 | 67,5 | 0,0 |
| 2 | ULSF(1) | 0,0 | 67,5 | 0,0 |

| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| ULSF(1) | 1,15*SW + 1,15*G + 1,5*Q |

9 Concrete design

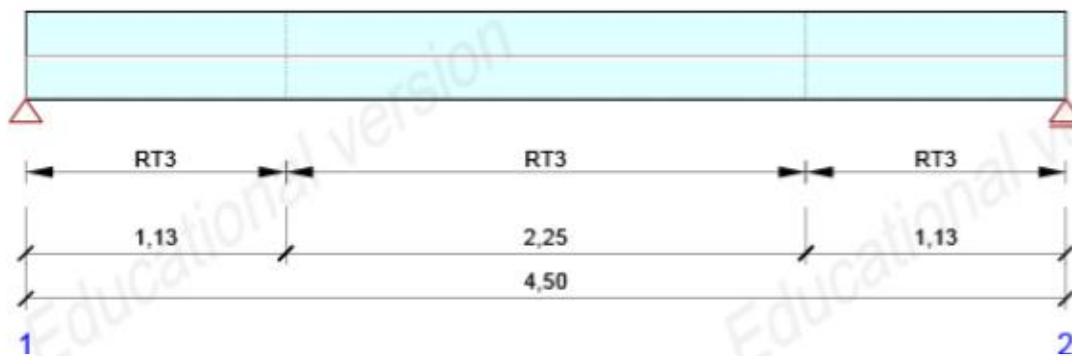
National code

| | |
|---------------------|---------------------|
| National code | EN 1992-1-1:2014-12 |
| Design working life | 50 years |

Educational version

Scheme of reinforcement

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



Summary of section checks

Educational version

| Combination | N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | V_{Ed} [kN] | Value [%] | Check |
|--|---------------|------------------|---------------|-----------|-------|
| Capacity N-M-M, Zone: RT3 (1,13 - 3,38) | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 75,9 | 0,0 | 87,1 | OK |
| Shear, Zone: RT3 (0,00 - 1,13) | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 0,0 | 51,2 | 33,1 | OK |
| Interaction, Zone: RT3 (1,13 - 3,38) | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 63,8 | 27,0 | 90,1 | OK |
| Stress Limitation, Zone: RT3 (1,13 - 3,38) | | | | | |
| SLSC(2) | 0,0 | 59,9 | 0,0 | 82,0 | OK |
| Crack Width, Zone: RT3 (1,13 - 3,38) | | | | | |
| SLSQ(6) | 0,0 | 45,8 | 0,0 | 81,6 | OK |

Summary of deflection checks

| d_x [m] | $u_{z,lin}$ [mm] | $u_{z,st}$ [mm] | $u_{z,ll}$ [mm] | $u_{z,lt}$ [mm] | $u_{z,lim} (\pm)$ [mm] | Value [%] | Check |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|-----------|-------|
| Total deflection | | | | | | | |
| 2,25 | -2,9 | -10,7 | -14,0 | -17,7 | 18,0 | 98,1 | OK |

Lateral stability

Lateral stability check has not been done. Probably there is not any item for check.

Redistribution and reduction

Internal forces respecting the influence of redistribution and reduction

Combination: All combinations

| Member | D_x [m] | Combination | N [kN] | V_z [kN] | M_y [kNm] |
|--------|-----------|-------------|----------|------------|-------------|
|--------|-----------|-------------|----------|------------|-------------|

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Project no:
Author:



| Member | Dx [m] | Combination | N [kN] | V _z [kN] | M _y [kNm] |
|-------------|--------|----------------------------------|--------|---------------------|----------------------|
| 1 | 2,25 | ULSF(1) | 0,0 | 0,0 | 75,9 |
| 1 | 0,00 | ULSF(1) | 0,0 | 51,2 | 0,0 |
| 1 | 4,30 | ULSF(1) | 0,0 | -51,2 | 12,1 |
| 1 | 0,20 | ULSF(1) | 0,0 | 51,2 | 12,1 |
| 1 | 2,25 | ULSF(1) | 0,0 | 0,0 | 75,9 |
| Combination | | Critical load effect description | | | |
| ULSF(1) | | 1,15*SW + 1,15*G + 1,5*Q | | | |

Intermediate results of redistribution and reduction

Combination: ULSF(1)

| Node / Support | Original internal forces | | Redistribution | | Reduction | |
|----------------|--------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | V _z [kN] | M _y [kNm] | x _u / d | ΔM _y [kNm] | ΔV _z [kN] | ΔM _y [kNm] |
| 1 Right | 67,5 | 0,0 | | 0,0 | -16,3 | 0,0 |
| 2 Left | -67,5 | 0,0 | | 0,0 | 16,3 | 0,0 |

Nonconformity

| | |
|--|--|
| | Bending moments for calculation of redistribution on the cross-section are zero. Redistribution of internal forces cannot be calculated. Affected nodes/supports: 1 Right, 2 Left |
|--|--|

Combination: SLSC(2)

| Node / Support | Original internal forces | | Reduction | |
|----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | V _z [kN] | M _y [kNm] | ΔV _z [kN] | ΔM _y [kNm] |
| 1 Right | 53,3 | 0,0 | -12,8 | 0,0 |
| 2 Left | -53,3 | 0,0 | 12,8 | 0,0 |

Combination: ULSF(4)

| Node / Support | Original internal forces | | Redistribution | | Reduction | |
|----------------|--------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | V _z [kN] | M _y [kNm] | x _u / d | ΔM _y [kNm] | ΔV _z [kN] | ΔM _y [kNm] |
| 1 Right | 35,3 | 0,0 | | 0,0 | -8,5 | 0,0 |
| 2 Left | -35,3 | 0,0 | | 0,0 | 8,5 | 0,0 |

Nonconformity

| | |
|--|--|
| | Bending moments for calculation of redistribution on the cross-section are zero. Redistribution of internal forces cannot be calculated. Affected nodes/supports: 1 Right, 2 Left |
|--|--|

Combination: SLSQ(6)

| Node / Support | Original internal forces | | Reduction | |
|----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | V _z [kN] | M _y [kNm] | ΔV _z [kN] | ΔM _y [kNm] |
| 1 Right | 40,7 | 0,0 | -9,8 | 0,0 |
| 2 Left | -40,7 | 0,0 | 9,8 | 0,0 |

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Project no:
Author:



Section check

Educational version



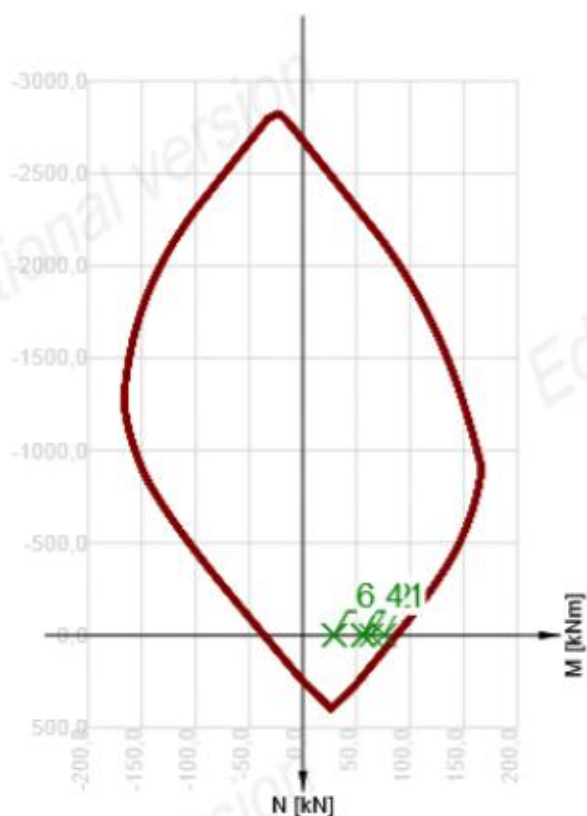
| x begin [m] | x end [m] | Reinforcement | Governing type of check | Value [%] | Check |
|-------------|-----------|---------------|-------------------------|-----------|-------|
| 0,00 | 1,13 | RT3 | Interaction | 85,6 | OK |
| 1,13 | 3,38 | RT3 | Interaction | 90,1 | OK |
| 3,38 | 4,50 | RT3 | Interaction | 85,6 | OK |

Limit value of the exploitation of the cross-section: 100,0 %

Section check for zone: RT3 (1,13 m - 3,38 m)

| Governing type of check | Combination | N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | V_{Ed} [kN] | Value [%] | Check |
|-------------------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-----------|-------|
| Interaction | ULSF(1) | 0,0 | 63,8 | 27,0 | 90,1 | OK |
| Combination | N_{Ed} [kN] | $M_{Ed,y}$ [kNm] | V_{Ed} [kN] | Value [%] | Check | |
| Capacity N-M-M | | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 75,9 | 0,0 | 87,1 | OK | |
| Shear | | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 56,2 | -33,7 | 22,5 | OK | |
| Interaction | | | | | | |
| ULSF(1) | 0,0 | 63,8 | 27,0 | 90,1 | OK | |
| Stress Limitation | | | | | | |
| SLSC(2) | 0,0 | 59,9 | 0,0 | 82,0 | OK | |
| Crack Width | | | | | | |
| SLSQ(6) | 0,0 | 45,8 | 0,0 | 81,6 | OK | |

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Project no:
Author:



| | Extreme | N [kN] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|---|---------|--------|----------|----------|
| 1 | ULSF(1) | 0,0 | 75,9 | 0,0 |
| 2 | ULSF(1) | 0,0 | 63,8 | 0,0 |
| 3 | ULSF(1) | 0,0 | 56,2 | 0,0 |
| 4 | ULSF(1) | 0,0 | 56,2 | 0,0 |
| 5 | ULSF(4) | 0,0 | 29,4 | 0,0 |
| 6 | ULSF(4) | 0,0 | 29,4 | 0,0 |

Nonconformity

| Type of check | Nonconformities |
|----------------------------------|---|
| ⚠ Shear | Shear is resisted by concrete, shear reinforcement is required according to detailing provisions, see 6.2.2 |
| ⚠ Stress Limitation, Crack Width | Upper or lower design value of internal forces of one of SLS combinations caused to happen concrete stress higher than concrete tensile strength (section is cracked). Based on code and calculation settings it is assumed that the concrete resists no tension in SLS checks for all combinations of current extreme. The assumptions for SLS checks in other extremes of current section are not influenced. |
| ⚠ Stress Limitation | The action of concrete in tension is excluded because the cracks appear, see clause 7.1 (2) |

Critical combinations selected for section checks

| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| ULSF(1) | 1,15*SW + 1,15*G + 1,5*Q |
| SLSC(2) | SW + G + Q |
| ULSF(4) | SW + G |

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
Project no:
Author:



| Combination | Critical load effect description |
|-------------|----------------------------------|
| SLSQ(6) | SW + G + 0,3*Q |

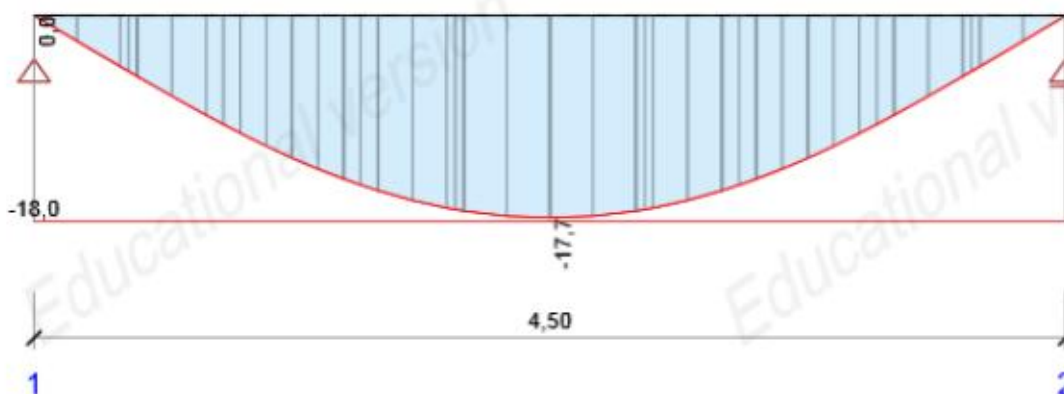
Check of deflections

Educational version

| Combination | d_x [m] | $u_{z,lin}$ [mm] | $u_{z,st}$ [mm] | $u_{z,ll}$ [mm] | $u_{z,lt}$ [mm] | $u_{z,lim} (\pm)$ [mm] |
|------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| Total deflection | | | | | | |
| SLSC(2) | 2,25 | -2,9 | -10,7 | -14,0 | -17,7 | 18,0 |

Deflections: local extremes in spans

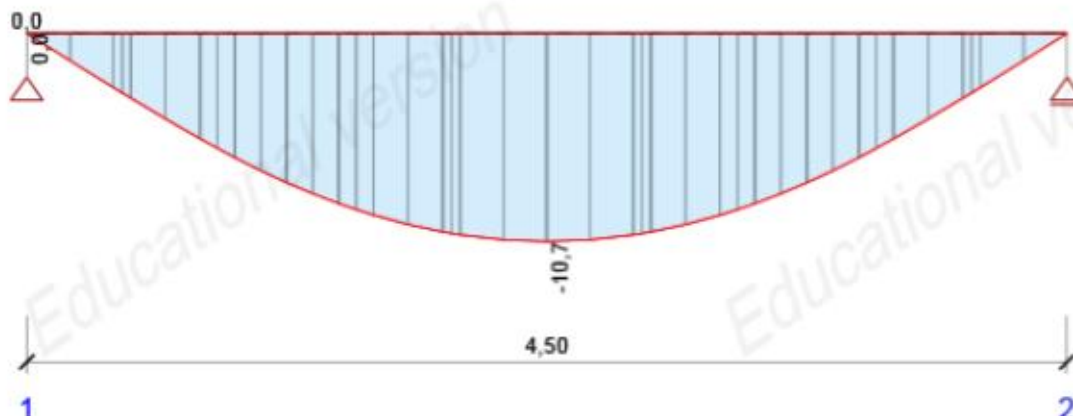
Combination: SLSC(2), Total deflection



| d_x [m] | $u_{z,lin}$ [mm] | $u_{z,st}$ [mm] | $u_{z,ll}$ [mm] | $u_{z,lt}$ [mm] | $u_{z,lim} (\pm)$ [mm] |
|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 2,25 | -2,9 | -10,7 | -14,0 | -17,7 | 18,0 |

Combination: SLSC(2), Deflection increment

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Project no:
Author:



| d_x [m] | $u_{z,lin}$ [mm] | $u_{z,st}$ [mm] | $u_{z,ll}$ [mm] | $u_{z,incr}$ [mm] | $u_{z,lim} (\pm)$ [mm] |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|
| 2,25 | -2,9 | -10,7 | -14,0 | -10,7 | |

Explanation

| Symbol | Explanation |
|-------------------|--|
| d_x | Stationing from the origin of the design member |
| $u_{z,lin}$ | Linear deflection in z-axis direction |
| $u_{z,st}$ | Immediate deflection in z-axis direction caused by total load |
| $u_{z,ll}$ | Long-term deflection in z-axis direction caused by long-term loads including effect of creep |
| $u_{z,lt}$ | Total deflection in z-axis direction including effect of creep |
| $u_{z,incr}$ | Deflection increment in z-axis direction |
| $u_{z,lim} (\pm)$ | Limit value of deflection in z-axis direction |

Stiffness: extremes on design member

Combination: SLSC(2)

| Position | | Immediate effects of long-term load | | Long-term effects of long-term load | | | Immediate effects of total load | |
|-----------|---------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Begin [m] | End [m] | EA_x [MN] | EI_y [MNm ²] | EA_x [MN] | EI_y [MNm ²] | $\varphi(t,t_0)$ [-] | EA_x [MN] | EI_y [MNm ²] |
| 1,88 | 2,25 | 1176 | 12 | 619 | 9 | 2,08 | 1059 | 11 |
| 2,25 | 2,62 | 1176 | 12 | 619 | 9 | 2,08 | 1059 | 11 |
| 4,13 | 4,50 | 3797 | 47 | 1348 | 18 | 2,08 | 3797 | 47 |

Explanation

| Symbol | Explanation |
|------------------|---------------------------------------|
| EA_x | Axial stiffness |
| EI_y | Flexural stiffness around y axis |
| $\varphi(t,t_0)$ | Calculated value of creep coefficient |

Combinations selected for check of deflection

| Name | Type | Description |
|------|------|-------------|
|------|------|-------------|

Project: Pauli Möttösen insinöörityö
 Project no:
 Author:



| Name | Type | Description |
|---------|-----------|-----------------|
| SLSC(2) | Total | SW + G + Q |
| | Long-term | SW + G + 0,30*Q |

Bill of material

| Length [m] | Concrete | | Reinforcement [kg] | Total weight [kg] | Reinforcement / m ³ concrete [kg/m ³] | |
|------------|----------|-------------------|--------------------|-------------------|--|------|
| | Name | [m ³] | | | | [kg] |
| 4,50 | C35/45 | 0,48 | 1197 | 39 | 1236 | 82 |

| Φ [mm] | Material | Type of reinforcement | Length [m] | Weight [kg] |
|--------|----------|-----------------------|------------|-------------|
| 20 | B 500B | Reinforcement bars | 9,00 | 22 |
| 12 | B 500B | Reinforcement bars | 9,00 | 8 |
| 8 | B 500B | Stirrups | 23,58 | 9 |

Design member data

Educational version

| | |
|------------------------------|------------|
| Member type | Beam |
| Exposure class | XC3, XD1 |
| Relative humidity | 50 % |
| Creep coefficient | Calculated |
| Structural member importance | Major |
| Redistribution of moments | On |
| Reduction of moments | On |
| Reduction of shear force | On |
| Limited interaction check | Off |

Data of beam spans

| Span | Length [m] | Check acc. 7.4.1 (4) | | Check acc. 7.4.1 (5) | |
|------|------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| | | Check | Deflection limits [mm] | Check | Deflection limits [mm] |
| 1 | 4,50 | True | 18,0 | False | |

Supports definition

| Node | Support width [mm] | Beam or slab is |
|------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 400 | Continuous over a support |
| 2 | 400 | Continuous over a support |

Reinforcement zones

Educational version

| Zone | Begin [m] | End [m] | Length [m] | Reinforcement | Check |
|------|-----------|---------|------------|---------------|-------|
|------|-----------|---------|------------|---------------|-------|

Project: Pauli Möttösen insinööriyö
Project no:
Author:



| Zone | Begin [m] | End [m] | Length [m] | Reinforcement | Check |
|------|-----------|---------|------------|---------------|-------|
| 1 | 0,00 | 1,13 | 1,13 | RT3 | Yes |
| 2 | 1,13 | 3,38 | 2,25 | RT3 | Yes |
| 3 | 3,38 | 4,50 | 1,13 | RT3 | Yes |

Reinforcement

| Name | Reinforced cross-section | Reinforcement |
|------|--------------------------|---|
| RT3 | | <p>Reinforcement: $2\phi 12$ (226mm^2) (B 500B), $z = 146$ mm $2\phi 20$ (628mm^2) (B 500B), $z = -142$ mm Stirrups: $\phi 8$ (B 500B) - 200 mm, closed, for torsion check</p> |

Material of reinforcement

| Name | f_{yk} [MPa] | f_{tk} [MPa] | E [MPa] | μ [-] | Unit mass [kg/m ³] |
|--|----------------|----------------|----------|-----------|--------------------------------|
| B 500B | 500,0 | 540,0 | 200000,0 | 0,20 | 7850 |
| $f_{tk}/f_{yk} = 1,08$, $\epsilon_{uk} = 500,0 \cdot 1e-4$, Type: Bars, Bar surface: Ribbed, Class: B, Fabrication: Hot rolled, Diagram type: Bilinear with an inclined top branch | | | | | |

Liite 9. Palkin vertailulaskelma FRILO Softwarella

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

Project: Pauli Möttösen insinööriyö

Item: palkki_frilo
27.3.2018

Page: 1

Item: palkki_frilo

Reinforced Concrete Design B2 01/18 (Frilo R-2018-1/P09)

DESIGN according to EN 1992-1-1:2004/A1:2014

ULS: permanent/transient design situation

| | | | |
|------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| long. reinf. | B500B | $\gamma_s = 1.15$ | $f_{yd} = 434.8 \text{ N/mm}^2$ |
| | | $k = 1.080$ | $\epsilon_{uk} = 50.0 \text{ o/oo}$ |
| Stirrup concrete | =long. reinf. C 35/45 | $\gamma_c = 1.50$ | $f_{cd} = 23.33 \text{ N/mm}^2$ |
| | | $\alpha_{cc} = 1.00$ | $E_{cm} = 34000 \text{ N/mm}^2$ |

Requirements durability

| | |
|---------------------|----------------------------------|
| attack on concrete | X0 |
| attack on reinf. | XC1 |
| min. concrete class | C 20/25 |
| stirrup | $\phi, l = 8 \text{ mm}$ |
| long. reinforcement | $\phi, m = 14 \text{ mm}$ |
| allowance in design | $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ |
| reduced c_{min} | $\geq C 30/37$ |
| stirrup | $c_{min, l} = 10 \text{ mm}$ |
| concrete coverage | $c_{nom, l} = 20 \text{ mm}$ |
| longitudinal bars | $c_{min, m} = 14 \text{ mm}$ |
| concrete coverage | $c_{nom, m} = 28 \text{ mm}^*$ |
| laying dist. link | $c, l > = 20 \text{ mm}$ |
| all. crack width | $w_k = 0.40 \text{ mm}$ |

*:with $c_{min, l}$

Modulus of creep and degree of shrinkage

| | | |
|------------------------|---|-------------------------|
| notional member size | $h_0 = 161 \text{ mm}$ | |
| air moisture | LU = 50 % | cement Typ N,R |
| normal-weight concrete | $f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ | |
| load age | $t_0 = 28 \text{ days}$ | $t = \text{infinitely}$ |
| modulus of creep | $\phi(t_0, t) = 2.14$ | |
| shrinkage strain | $\epsilon_{cs}(t) = -0.47 \text{ o/oo}$ | |

CROSS SECTION

| | | |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| rectangle | $b = 280 \text{ mm}$ | $h = 380 \text{ mm}$ |
| reinforcement $d_{top} =$ | 40 mm | $d_{bot} = 40 \text{ mm}$ |
| gross cross section values | $z_u = 190 \text{ mm}$ | $A_c = 0.1064 \text{ m}^2$ |
| | | $I_c = 0.00128035 \text{ m}^4$ |

Pressure forces and compressive stresses are negative unless otherwise defined in the verification

Demo Frilo

Stuttgarter Straße 40
70469 Stuttgart

Phone: 0711 810020
Fax: 0711 858020

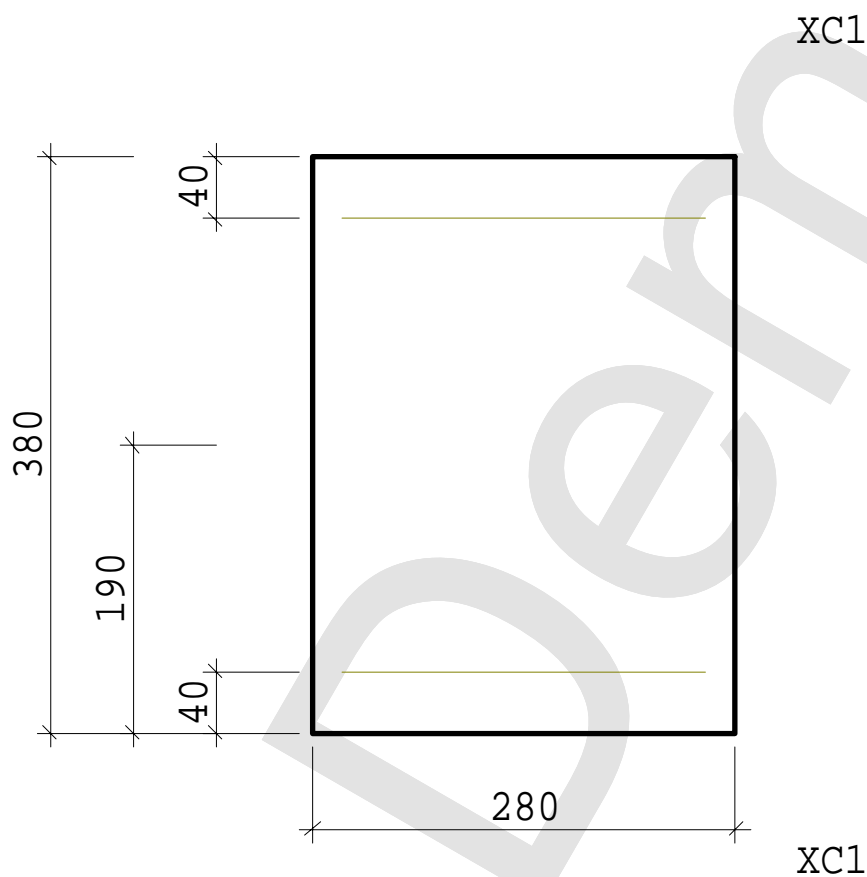
Project: Pauli Möttösen insinööriyö

Item: palkki_frilo

27.3.2018

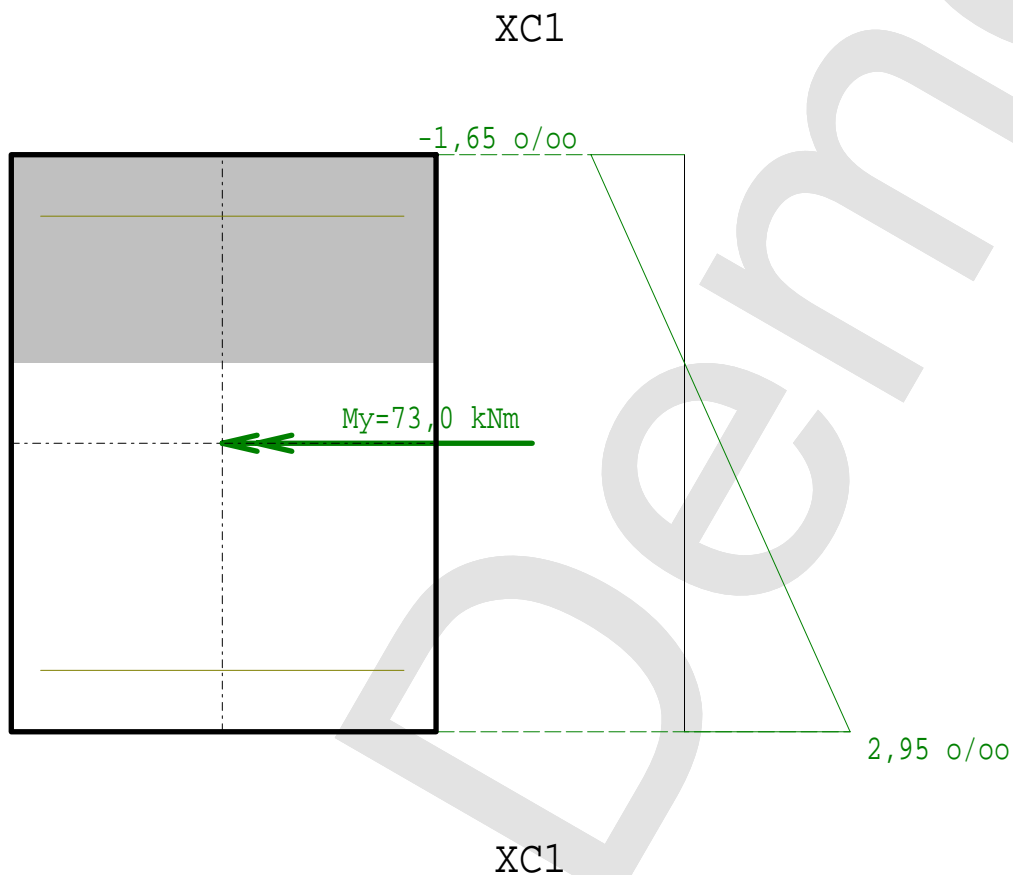
Page: 2

Scale 1 : 5



| BENDING DESIGN kd- method ($x/d < 0.617$) | | | | | |
|---|------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| N _{yd} = | 0.00 kN | M _{yd} = | 73.00 kNm | | |
| ε ₁ = | -3.50 o/oo | ε _{2s} = | 24.29 o/oo | | |
| x/d = | 0.13 | z/d = | 0.95 | kd = | 2.11 |
| required | | As _b = | 503 mm ² | A _{st} = | 0 mm ² |
| | | μ = | 0.47 % | | |

Scale 1 : 5



SHEAR DESIGN- SHEAR FORCE

stirrups right angled acc. component axis, compressive stresses positive

| | | | | | |
|--------------|-------------------|----------|-----------------------|-------|-------------|
| VEd = | 55.10 kN | z/d = | 0.948 | | |
| CRd,c = | 0.12 | k1 = | 0.15 | σcp = | -0.00 N/mm2 |
| kvmin = | 0.035 | vmin = | 0.49 | | |
| k = | 1.77 | VRd,c = | 46.30 kN (6.2b) | | |
| Asz = | 628 mm2 | VRd,c = | 57.48 kN (6.2a) | | |
| cot θ = | 2.50 (21.80 Grd.) | | | | |
| user defined | | cot θ = | 1.00 (45.00 Grd) | | |
| v1 = | 0.516 | αcw = | 1.00 | | |
| VRd,max= | 374.54 kN | aswV = | 0 mm2/m | | |
| sl,max = | 255.0 mm | aswMin = | 265 mm2/m decisive !! | | |

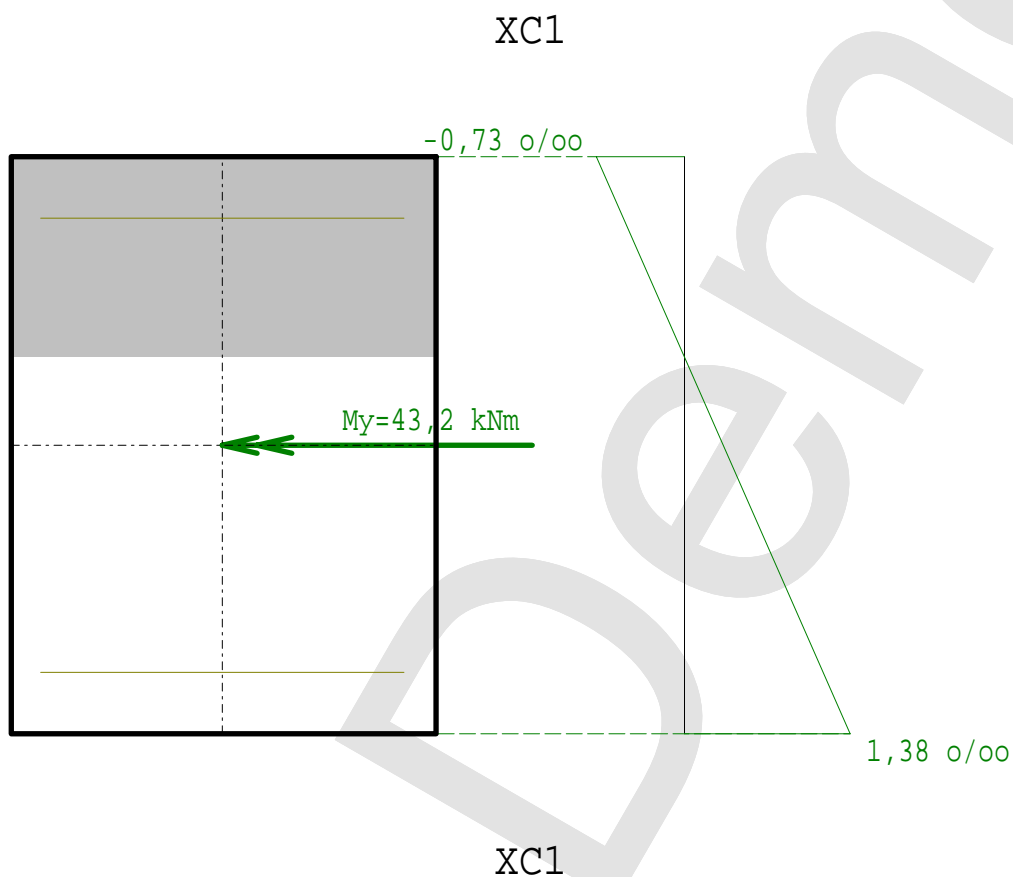
LIMITATION OF CRACK WIDTH

decisive exposure class XC1 all.wk = 0.40 mm

limitation of crack width under action of loads

| | | | |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|------------|
| fcteff= | 3.21 N/mm2 (after 28 days) | | |
| q.const.LC | Nx = 0.0 kN | My = | 43.2 kNm |
| state I | σbz = 6.4 N/mm2 | | |
| selected: | Asb = 628 mm2 | Ast = | 0 mm2 |
| elong φ =2.14 | ε1 = -0.73 o/oo | ε2 = | 1.38 o/oo |
| action zone Ac | bbot = 280 mm | heff = | 83 mm |
| | Aceff =0.02319 m2 | peff= | 2.7 % |
| | σs = 232.3 N/mm2 | Δε = | 0.806 o/oo |
| | srmax = 496.6 mm | (completed picture of cracks) | |
| | Ds = 50.0 mm | | |

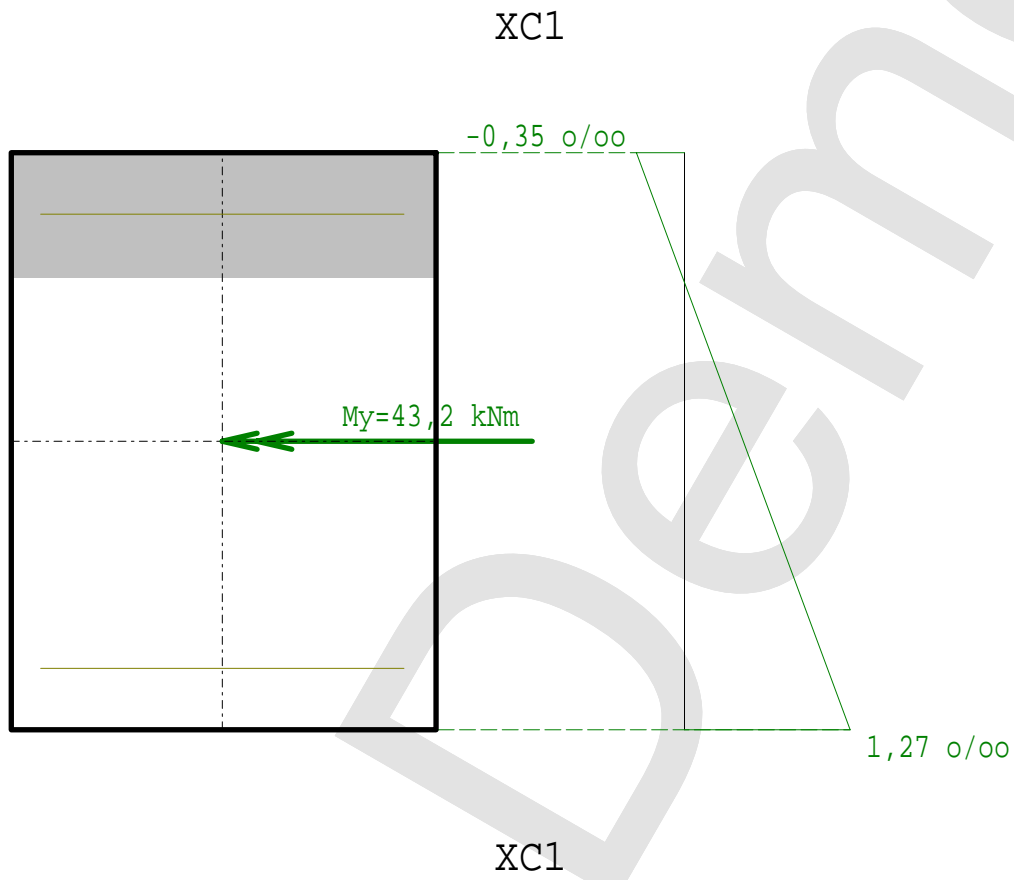
Scale 1 : 5



PROOF OF STRESS (SLS)

| | | |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| q.const.LC | $N_x = 0.0 \text{ kN}$ | $M_y = 43.2 \text{ kNm}$ |
| selected: | $A_{sb} = 628 \text{ mm}^2$ | $A_{st} = 0 \text{ mm}^2$ |
| elong.w.no ϕ | $\epsilon_1 = -0.35 \text{ o/oo}$ | $\epsilon_2 = 1.27 \text{ o/oo}$ |
| | $\sigma_c = -11.98 \text{ N/mm}^2$ | $\sigma_s = -15.75 \text{ N/mm}^2$ |
| | $\sigma_s = 220.08 \text{ N/mm}^2$ | |

Scale 1 : 5



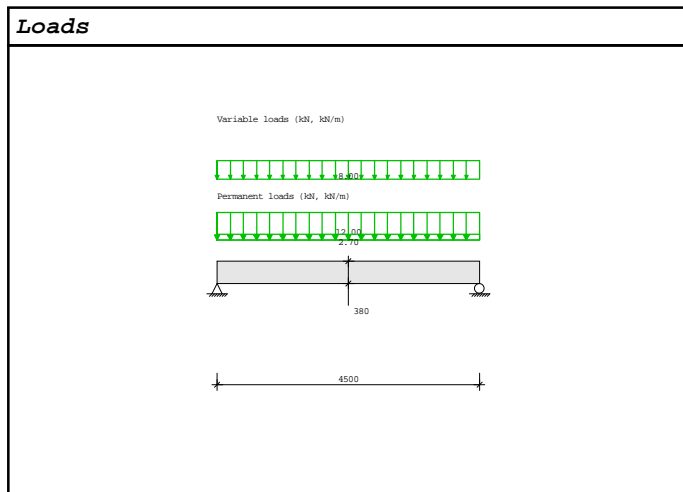
Liite 10. Palkin vertailulaskelma WIN-Statikilla

Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö Date: 2018-04-28
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Muut\WINStatik_betonipalkki.cbs

Input - Eurocode / EN 1992-1-1 (Finnish annex)



Span geometry (mm)

| Span no | Length | Section type | Total height at bottom | Width |
|---------|--------|--------------|------------------------|-------|
| 1 | 4500 | Rectangular | 380 | 280 |

Support widths and column stiffnesses

| Supp | Length (mm) | K-lower (kNm) | K-upper (kNm) | Supp | Length (mm) | K-lower (kNm) | K-upper (kNm) |
|------|-------------|---------------|---------------|------|-------------|---------------|---------------|
| No | | | | 2 | 0 | 0.000e+000 | 0.000e+000 |
| 1 | 0 | 0.000e+000 | 0.000e+000 | | | | |

Material - General

| | |
|--|--|
| Design settings | |
| Use compression reinforcement | No |
| Use minimum bend reinforcement | Yes |
| Use sudden release (EN 8.10.2.2) | No |
| Monolithic construction (EN 9.2.1.2) | No |
| Cot (q) | 2.50 |
| Shear calculation settings | Shear calculation using shear reinforcement (EN 6.2.3) |
| Enhanced shear strength near supports (EN 6.2.2 (6)) | No |
| 2nd order moment calculation | Stiffness method (EN 5.8.7) |

Concrete Material C35/45

| Design values for Ultimate Limit State (MPa) | Value [MPa] | Design values for Ultimate Limit State (MPa) | Value [MPa] |
|--|-------------|--|-------------|
| f_{cd} | 19.83 | e_{cu} | 0.0035 |
| f_{ctd} | 1.50 | g_c | 1.50 |
| E_{cd} | 28398 | Low strength variation: | No |
| e_{c1} | 0.0020 | | |

Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö Date: 2018-04-28
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Muut\WINStatik_betonipalkki.cbs

Design values for Ultimate Limit State (MPa)

| Designation | Bottom Designation A500HW Diameter, mm 20 | Top Designation A500HW Diameter, mm 8 | Stirrup Designation A500HW Diameter, mm 8 |
|-------------|--|--|--|
| f_{yd} | 435 | 435 | 435 |
| f_{ycd} | 435 | 435 | 435 |
| E_{sd} | 200000 | 200000 | 200000 |
| g_s | 1.15 | 1.15 | |

Reinforcement details - Main reinforcement (mm)

| | Top | Bottom | | Top | Bottom |
|-----------------------|-----|--------|---------------------|-----|--------|
| Diameter | 8 | 20 | | | |
| Cover | 26 | 30 | Vibration space | 0 | - |
| Distance between bars | | | Max. aggregate size | 10 | - |
| In same layers | 20 | 20 | Code control | Yes | - |
| In different layers | 20 | 20 | | | |

Reinforcement details - Stirrups (mm)

| | | | |
|--------------|----|------------------------------|-----|
| Diameter | 8 | Smallest s-distance | 150 |
| Cover (side) | 22 | Min stirrups on whole length | Yes |
| Angle (deg) | 90 | | |

Uniform load

| Loads No | Span No | Type | Charac. q (kN/m) | Coeff. Ult. state | Coeff. Total | Coeff. Long-term |
|----------|---------|-----------|------------------|-------------------|--------------|------------------|
| 1 | 1 | Permanent | 12.000 | 1.150 | 1.000 | 1.000 |
| 2 | 1 | Variable | 8.000 | 1.500 | 1.000 | 0.300 |
| 3 | 1 | Permanent | 2.700 | 1.150 | 1.000 | 1.000 |

Serviceability limit state

| | |
|---|---------|
| Creep coefficient | 2.10 |
| Shrinkage | 0.00070 |
| Crack width limitation: (mm) | |
| Total load | - |
| Long-term load: According to EN 1992-1-1 7.3.2 Figure 7.1 | - |
| Deflection limitation: | |
| Max. allowed deflection(mm) | 18.00 |

Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö

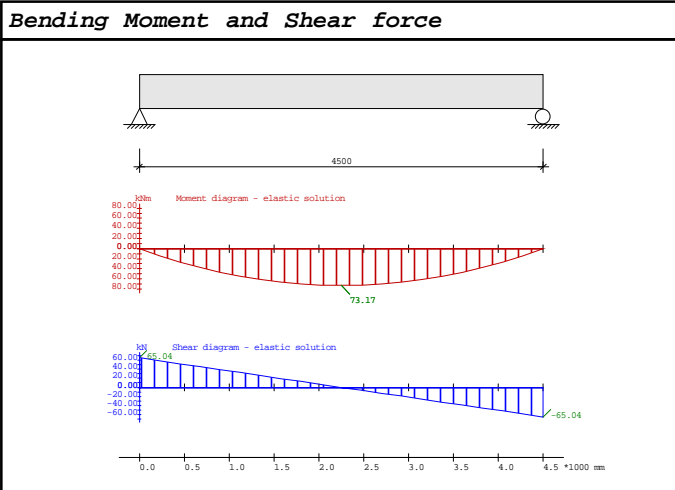
Date: 2018-04-28

Description:

Made by:

Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Muut\WINStatik_betonipalkki.cbs

Results - Analysis



Moment (elastic result)

| Span No | Max. L supp. (kNm) | Des. L supp. (kNm) | Max. R supp. (kNm) | Des. R supp. (kNm) | Max.MF+ (kNm) | Max.MF- (kNm) |
|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.17 | 0.00 |

Max. Shear force (elastic result)

| Span No | L supp. (kN) | R supp. (kN) |
|---------|--------------|--------------|
| 1 | 65.04 | -65.04 |

Max. Supp.React. (elastic result)

| Supp | Reaction | Supp | Reaction |
|------|----------|------|----------|
| 1 | 65.04 | 2 | 65.04 |

Detailed result - Span 1 (elastic result)

| Length (m) | Moment+ (kNm) | Moment- (kNm) | Shearf. (kN) | Length (m) | Moment+ (kNm) | Moment- (kNm) | Shearf. (kN) |
|------------|---------------|---------------|--------------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 0.000 | 0.00 | 0.00 | 65.04 | 2.700 | 70.24 | 0.00 | -13.01 |
| 0.450 | 26.34 | 0.00 | 52.03 | 3.150 | 61.46 | 0.00 | -26.01 |
| 0.900 | 46.83 | 0.00 | 39.02 | 3.600 | 46.83 | 0.00 | -39.02 |
| 1.350 | 61.46 | 0.00 | 26.01 | 4.050 | 26.34 | 0.00 | -52.03 |
| 1.800 | 70.24 | 0.00 | 13.01 | 4.500 | 0.00 | 0.00 | -65.04 |
| 2.250 | 73.17 | 0.00 | -0.00 | | | | |

Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö Date: 2018-04-28
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Muut\WINStatik_betonipalkki.cbs

Results - Design

Reinforcement due to bending (elastic result)

| | L supp. | | Middle | | R supp. | |
|----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Bottom | Top | Bottom | Top | Bottom | Top |
| Span 1 | | | | | | |
| Reinforcement | 2 Ø20 1L | 2 Ø 8 1L | 2 Ø20 1L | 2 Ø 8 1L | 2 Ø20 1L | 2 Ø 8 1L |
| Selected area (mm ²) | 628 | 101 | 628 | 101 | 628 | 101 |
| Req. area (mm ²) | 48 | 0 | 531 | 0 | 48 | 0 |
| Eff. depth (mm) | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 | 340 |
| Min. reinforcement | Yes | | | Yes | | |

Shear reinforcement - Span 1 (elastic result)

| | |
|---|-------|
| | 1 |
| Length (mm) | 4500 |
| Number of legs | 2 |
| Diameter (mm) | 8 |
| Stirrup spacing, s (mm) | 254 |
| Shear force, V _{sd} (kN) | 43 |
| Concrete capacity, V _{Rd,c} (kN) | 0 |
| Selected reinforcement (mm ² /m) | 396 |
| Required reinforcement (mm ² /m) | 129 |
| Slope of stirrups, α deg | 90 |
| Minimum reinforcement used | Yes |
| V _{Rd,c} ³ V _{sd} | No |
| Max shear force, V _{max} (kN) | 65 |
| Capacity due to web shear failure, V _{Rd,max} (kN) | 302 |
| Utilization V _{max} /V _{Rd,max} | 0.215 |

Reinforcement specification (Curtailed-lengths with no regard to bending radius)

| Type | No | Quality | Amount | Æ (mm) | Curtail. length | x ₁ (mm) | x ₂ (mm) | Rem. |
|------|------|---------|--------|--------|-----------------|---------------------|---------------------|--------|
| | 2250 | A500HW | 2 | 8 | 2250 | 0 | 2250 | Top |
| | 2250 | A500HW | 2 | 8 | 2250 | 2250 | 4500 | Top |
| | 4900 | A500HW | 2 | 20 | 4900 | -200 | 4700 | Bottom |
| | | Total | 4 | 8 | 9000 | | | |
| | | Total | 2 | 20 | 9800 | | | |
| | | | | | | | | |
| N | 1 | A500HW | 19 | 8 | 1120 | | | |
| | | Total | 19 | 8 | 21280 | | | |

Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö

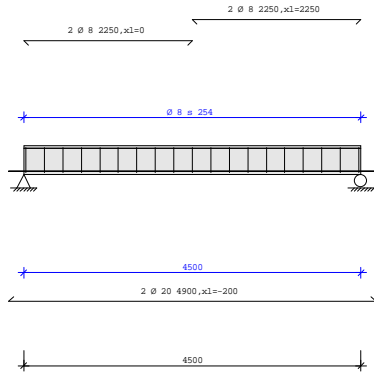
Date: 2018-04-28

Description:

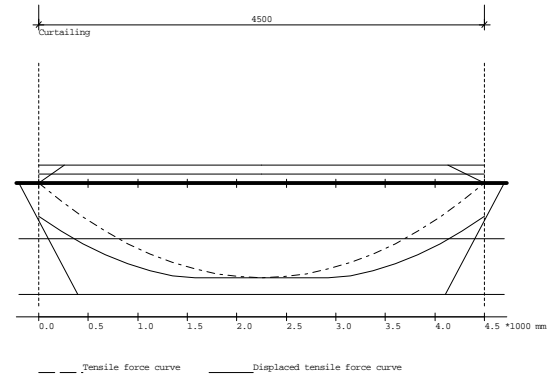
Made by:

Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
Pikamitoitusohjelmien
vertailu\Muut\WINstatik_betonipalkki.cbs

Reinforcement



Curtailing



Concrete Beam 6.4.010

© StruSoft AB 2016

Project: Pauli Möttösen tutkintotyö Date: 2018-04-28
 Description: Made by:
 Project file: U:\Tutkintotyöt\S304_39L1025_Mottonen Pauli, Company name:
 Pikamitoitusohjelmien
 vertailu\Muut\WINStatik_betonipalkki.cbs

Index

| | |
|--|----------|
| Input - Eurocode / EN 1992-1-1 (Finnish annex) | 1 |
| Picture:Loads | 1 |
| Span geometry (mm) | 1 |
| Support widths and column stiffnesses | 1 |
| Material - General | 1 |
| Concrete Material C35/45 | 1 |
| Design values for Ultimate Limit State (MPa) | 2 |
| Reinforcement details - Main reinforcement (mm) | 2 |
| Reinforcement details - Stirrups (mm) | 2 |
| Uniform load | 2 |
| Serviceability limit state | 2 |
| Results - Analysis | 3 |
| Picture:Bending Moment and Shear force | 3 |
| Moment (elastic result) | 3 |
| Max. Shear force (elastic result) | 3 |
| Max. Supp.React. (elastic result) | 3 |
| Detailed result - Span 1 (elastic result) | 3 |
| Results - Design | 4 |
| Reinforcement due to bending (elastic result) | 4 |
| Shear reinforcement - Span 1 (elastic result) | 4 |
| Reinforcement specification (Curtailed-lengths with no regard to bending radius) | 4 |
| Picture:Reinforcement | 5 |
| Picture:Curtailing | 5 |