



Antti Mikael Heiskanen

# Teräsbetonilaskelmien implementointi käytännön mallinnukseen

Tekla Structures -ohjelmassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriyö

23.10.2021

## Tiivistelmä

Tekijä:	Antti Mikael Heiskanen
Otsikko:	Teräsbetonilaskelmien implementointi käytännön mallinnukseen – Tekla Structures -ohjelmassa
Sivumäärä:	35 sivua + 2 liitettä
Aika:	23.10.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Lehtori, Tapani Järvenpää

---

Rakennetekniset laskelmat tehdään tätä nykyä lähinnä tietokoneella. Suunnitteluprosessissa on kaksi eri osa-aluetta eli laskelmien tekeminen kaikille rakenteille ja piirustuksien luominen, joiden avulla rakenteet saadaan varsinaisesti tehtyä. Yleensä piirustukset tehdään tänä päivänä 3D-malleista ja Tekla Structures on yksi markkinoilla olevista ohjelmistoista, jolla juuri tämä onnistuu. Betonikappaleiden osalta niiden sisälle mallinnetaan myös raudoitukset, jotta niistä saadaan luotua valukappalepiirustukset eli piirustukset, jotka esittävät raudoitusluettelon ja sen, kuinka raudoitteet ovat asemoitu betonikappaleiden sisälle.

On olemassa suuri määrä ohjelmia ja verkkosivustoja, joiden avulla laskelmien tekeminen raudoituksille on melko helppoa. Näiden laskelmien tuloksena saadut tiedot kuitenkin vaihtelevat erittäin paljon, etenkin sen suhteen, miten ne näytetään ja kuinka niitä voidaan uudelleenkäyttää myöhemmin. Useimmissa tapauksissa saatu laskentatieto esitetään tulostettavana raporttina, mutta mallinnustarkoituksiin ja -ohjelmistoihin, kuten Tekla Structuresia varten olisi hyvä, jos nämä tiedot saataisiin ulos myös digitaalisesti käyttökelpoisena versiona. Tätä digitaalista dataa hyödyntäen raudoitukset pystyisi mallintamaan vaivattomasti automaattisesti, mikäli informaationtuonti olisi mahdollista mallinnusohjelman puolella. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten tämä voitaisiin käytännössä toteuttaa.

Joillekin peruskappaleille luotiin kattava oma Excel-laskentapohja, jolla voitiin arvioida mitä tietoja tarvittaisiin Tekla Structuresin syötteenä, ja miten tiedot voisivat hyödyttää ohjelman käyttöä tulevaisuudessa. Kaikkien tarvittavien raudoitusten mallintaminen voi usein olla valtava tehtävä, ja automatisoinnin hyödyntäminen tätä tehdessä on erittäin tarpeellista. Sitä paitsi, kun laskettu tieto on jo olemassa, tietojen manuaalisessa syöttämisessä mallinnusohjelmaan ei ole enää mitään järkeä.

Konseptina laskentaohjelmien tietojen toteuttaminen ei ole vaikeaa, koska Tekla Structuresin komponentit mahdollistaisivat niiden ohjelmoinnin vastaanottamaan tiedot periaatteessa yhdellä napin painalluksella. Ongelma on enemmän laskentapuolella, koska kaikki sieltä tuleva informaatio pitäisi jotenkin tehdä standardinomaiseksi.

Avainsanat: teräsbetoni, raudoituslaskelmat, Tekla Structures, 3D-mallinnus

## Abstract

Author: Antti Heiskanen  
Title: Implementing Concrete Calculations to Practical Modelling – in Tekla Structures  
Number of Pages: 35 pages + 2 appendices  
Date: 23 October 2021  
Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Civil Engineering  
Professional Major: Structural Engineering  
Supervisors: Tapani Järvenpää, Senior Lecturer

---

Structural design or civil engineering as it is known, is these days mostly done with computers. The design process has two different sides which are doing the calculations for all the structures and then creating the drawings so that the structures can be made. Generally, drawings are now created from 3D-models and Tekla Structures is one of these software that does exactly that. In the case of concrete objects, reinforcements are also modelled inside them so that cast unit drawings can be made.

There are a large number of programs and websites that allow you to do the calculations quite easily for reinforcements. However, the data you receive as a result of these calculations usually varies widely, especially in terms of how it will be displayed and reused afterwards. In most cases you only receive a printable report which you can then use, but for modelling purposes and software like Tekla Structures it would be good if you also have a digitally viable version of all this information. This would allow you effortlessly model the reinforcements by just implementing the data as it is and create the needed reinforcements automatically. The purpose of this thesis was to study how this could be practically implemented.

An Excel spreadsheet for some of the basic concrete objects was made to evaluate which data would be needed as an input for Tekla Structures and how the information could benefit the use of the program in the future. Modelling all the needed reinforcements can sometimes be a daunting task and any automation that could be applied to the practice would be extremely valuable. Besides, as the calculated information already exists, it makes no sense if all the data needs to be manually reported again.

As a concept, implementing the data from calculation programs is not difficult since Tekla Structures' components would allow them to be programmed to receive the data basically with one button click. The problem is more on the calculation side as all output from there should somehow be made consistent.

Keywords: concrete, reinforcement, calculations, Tekla Structures, 3D-modelling

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suunnittelun eteneminen	2
3	Peruskappaleiden laskenta	5
3.1	Palkki	6
3.2	Pilari	7
3.3	Laatta	9
3.4	Seinä	9
3.5	Anturat	11
3.5.1	Seinä-/nauha-antura	11
3.5.2	Pilariantura	11
4	Omat Excel-pohjat peruskappaleille	12
4.1	Alkutiedot	12
4.1.1	Materiaalitiedot	13
4.1.2	Valitun kappaleen tapauksen yksinkertaistus	14
4.1.3	Dimensiot ja alkutiedot raudoitteille	14
4.1.4	Kuormat	15
4.2	Laskenta	15
4.3	Tuloksien käsittely	16
4.4	Excel-pohjista saadun tiedon tuonti Teklaan	17
4.4.1	Erotettu txt-tiedosto	18
4.5	Kuinka laskentatulokset hyödyttävät Teklan käyttöä	18
4.5.1	Minimi- ja maksimiraudoitteiden tarkistus	18
4.5.2	Betonilujuuden riittävyys	19
5	Laskentaohjelmien vertailua	20
5.1	Calculationtools.com	20
5.2	Tekla Tedds	21
5.2.1	Tekla Tedds:n yhdistyminen Tekla Structuresiin	21
5.3	Autodesk Robot Structural Analysis Professional	22
5.3.1	RSA-linkitys Tekla Structuresiin	22

5.3.2	Betonirauδοitteet Robotissa	23
5.4	Muut	25
6	Rauδοitteiden mallintaminen	26
6.1	Tekla Structures ja sen komponentit	26
6.1.1	Mallinnuksessa olevat ongelmat	27
6.1.2	Komponentit vai yksittäiset rauδοitteet	28
6.1.3	Rebar group/Mesh	28
6.1.4	Rebar sets	28
7	Standardoidut laskelmatiedot	30
7.1	IFC-formaatti	30
7.1.1	Tekla Developer Awards 2019: IFC Rebar Converter	31
7.2	AHC-formaatti	31
8	Tulos	33
9	Johtopäätökset	34
	Lähteet	35
	Liitteet	
	Liite 1: Tekla Tedds käyttöliittymä	
	Liite 2: Oman Excel-laskentapohjan ulkoasu kokonaisuudessaan	

## Lyhenteet ja nimitykset

- AHC: *Automated Handover Calculations* ("Antti Heiskanen calculations"). Ei olemassa oleva tiedonsiirtotiedostomuoto. Tätä opinnäytetyötä varten ehdotettu konseptiratkaisu, joka sisältäisi kaikki rakennelaskelmista saadut raudoitetiedot standardoidussa digitaalisessa muodossa.
- BoD: *Basis of Design*. Dokumentti, jolla määritetään projektiin liittyvät suunnittelutarpeet.
- FEM: *Finite Element Method*. Matemaattinen tietokoneella tehtävä laskentamenetelmä monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseen, kuten rakenteiden statiikan ja dynamiikan laskelmien käsittelyyn.
- IFC: *Industry Formation Classes*. Standardoitu ohjelmistoriippumaton tiedostomuoto, jonka avulla 3D-mallinnetun rakenteen tiedot voidaan siirtää ohjelmien välillä.
- MTO: *Material Take Off*. Materiaalilistadokumentti, jolla määritetään projektiin liittyvät kaikki materiaalitarpeet. Dokumentissa listataan esimerkiksi teräsbetonirakenteiden tarvitut betoni- ja raudoitemäärät.
- RSA: *Autodesk Robot Structural Analysis*. Rakenneanalyysi- ja laskentaohjelma. Voidaan kutsua myös vain Robotiksi.
- TS: *Tekla Structures*. Laajasti käytetty rakennemallinnusohjelma teräsbetoni- ja teräsrakenteiden mallintamiseen, piirustusten tekoon ja rakenteiden hallintaan.

# 1 Johdanto

Rakennetekniikassa teräsbetoniraidoitteiden laskeminen on erilaisille kappaleille yleensä varsin monimutkaista. Rakennetekniikan tätä osa-aluetta helpottamaan on nykyään kehitetty lukuisia tietokoneella käytettäviä ohjelmistoja, joilla itse laskennan suorittaminen on muuttunut rutiininomaiseksi. Saatujen laskentatietojen jälkikäsitteily on taas erittäin vaihtelevaa, eikä niiden siirtämiseen rakenteiden 3D-mallinnusohjelman puolelle ole vielä vakiintunut hyväksi todettua tapaa.

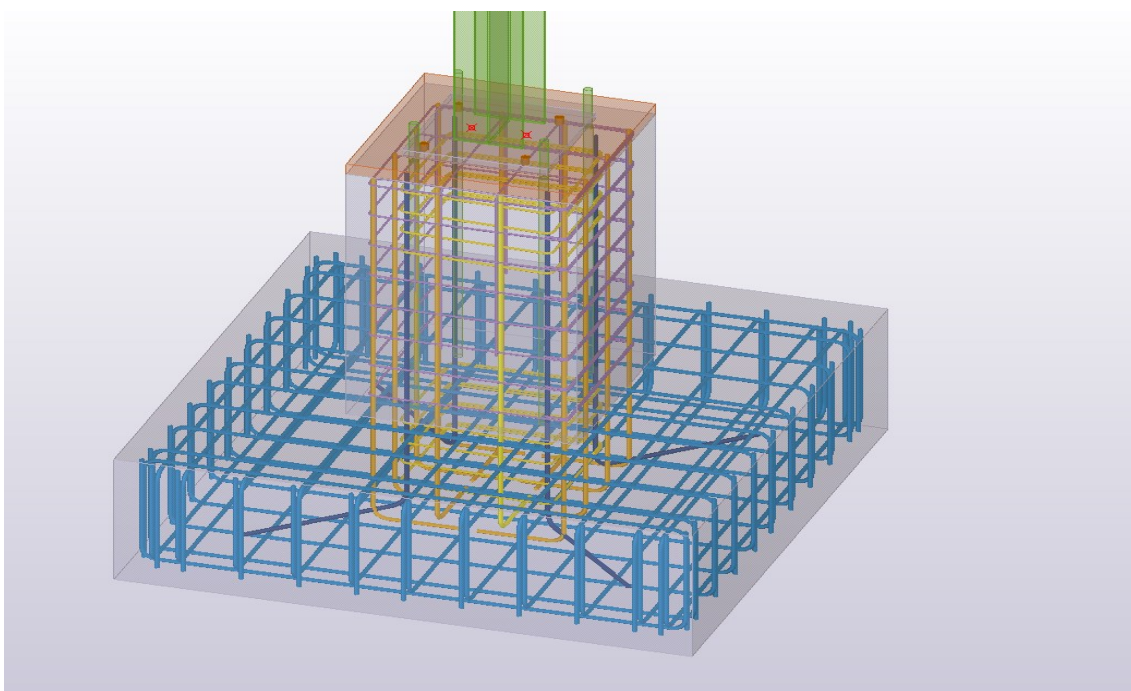
Tässä opinnäytetyössä tullaan käsittelemään juuri tätä asiaa, tosin lähinnä Tekla Structures -ohjelman näkökulmasta, sillä tämä ohjelmisto on yksi markkinoiden tavallisimmista tämän hetken suunnittelutyökaluista tehdessä teräsbetoni- tai teräsrakenteiden mallinnusta. Tekla Structures -ohjelmaa tullaan tämän jälkeen kutsumaan lyhenteellä TS. Muitakin vastaavia ohjelmia on tietenkin olemassa, kuten esimerkiksi Autodesk Revit, mutta näihin ohjelmiin liittyviä asioita ei tulla käsittelemään.

Opinnäytetyössä tutkitaan myös sitä, kuinka ongelmatonta laskelmista saadun tiedonsiirto on, ja tarkastellaan ja verrataan, miten siirto-operaatio yleensäkin tehdään eri laskentaohjelmista. Pyrkimyksenä on kehittää tiedonsiirron parantamiseen tehtäviä mahdollisia menetelmiä, omalla teräsbetonisille peruskappaleille tehdyllä yksinkertaistetulla käsinlaskentaa vastaavalla Excel-pohjan avulla. Laskennan osalta täydellisin on palkin laskentapohja. Excel-laskentapohjien avulla peruskappaleiden laskentatieto saadaan pidettyä rajallisena ja vaivattomasti sekä digitaalisesti esiteltävänä, mukaan lukien vain täysin välttämättömimmät raudoitustiedot. Lisäksi pohjilla pystytään hyvin havainnollistamaan, miten tiedonvälityskonsepti voisi esimerkiksi toimia TS:iin.

## 2 Suunnittelun eteneminen

Projektin etenemiseen voidaan käyttää rakenteiden suunnittelussa useita erityyppisiä etenemämalleja. Teräsbetonikappaleiden tapauksessa suunnitelmat tehdään kuitenkin tätä nykyä normaalisti seuraavasti.

Betonikappaleiden objektit mallinnetaan ensin johonkin 3D-mallinnusohjelmaan kuten TS:iin, jolla niistä saadaan myöhemmin tehtyä valukappalepiirustukset (Cast Unit Drawings). Jotta betonikappaleista saadaan aikaan tarkkoja piirustuksia, myös kappaleiden sisäiset raudoitukset 3D-mallinnetaan (kuvio 1). Raudoitteille tehtävät laskelmat eivät kuitenkaan useimmiten ole laisinkaan tässä vaiheessa tehtyjä, etenkin jos kyseessä on projekti, joka on erittäin varhaisessa toteutettavuuden kannattavuuden tarkastamisvaiheessa.

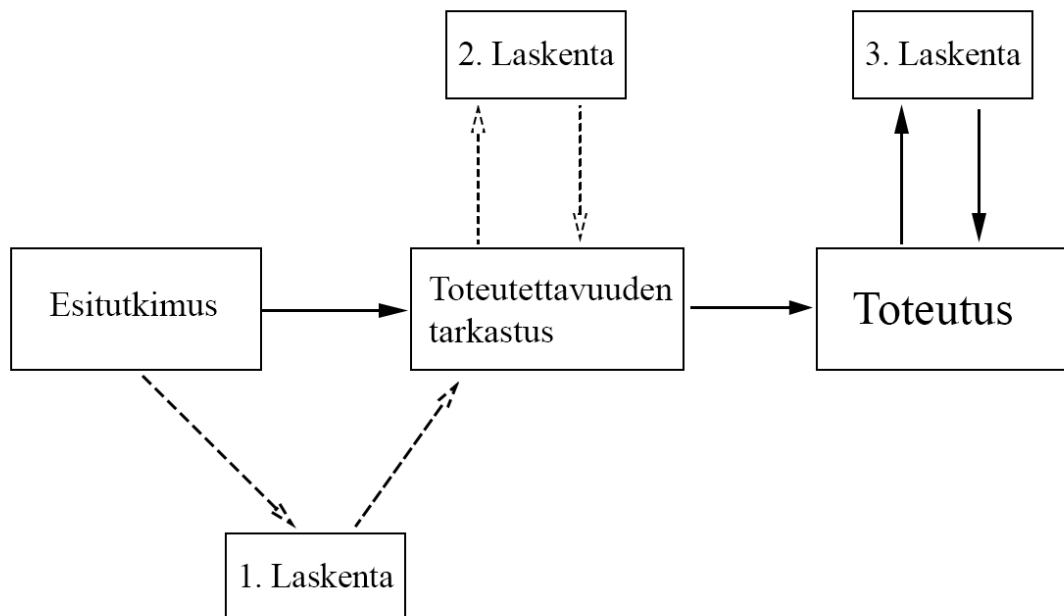


Kuvio 1. Raudoitteet voidaan mallintaa erittäin tarkasti

Raudoitteita ei siis yleensä mallinneta joko juuri laisinkaan projektin alkuvaiheessa vaan vasta paljon myöhemmin, tai sitten ne mallinnetaan käyttäen kokeuksena saatuja oletettavia raudoitusrakenteita ja -määriä. Projektin alkuvaiheessa tehtäviä määrä- ja materiaalitietoja tarvitsevia BoD- (Basis of Design) ja



MTO-dokumenttia (Material Take Off) varten arvioidut raudoitusmäärät olisi kuitenkin hyvä tietää suhteellisen tarkasti. Alustavat laskelmat tulisi siis tehdä ainakin jossakin määrin niin varhaisessa vaiheessa kuin mahdollista, jotta määräarviot pitäisivät paremmin paikkansa. Nämä projektin alkuvaiheen laskelmat eivät tietenkään olisi koskaan lopullisia versioita laskuista. Projektin edetessä laskuja voidaan joutua päivittämään useaan otteeseen rakenteiden päivittyessä, jotta ne vastaavat lopulta toteutusvaiheessa tehtävää todellista rakennetta. Kuviossa 2 on hahmoteltu kaaviona laskelmatietojen päivitysprosessia. Varsin usein ainoastaan 3. laskenta suoritetaan, eikä aiempia laskentaoperaatioita tehdä laisinkaan.

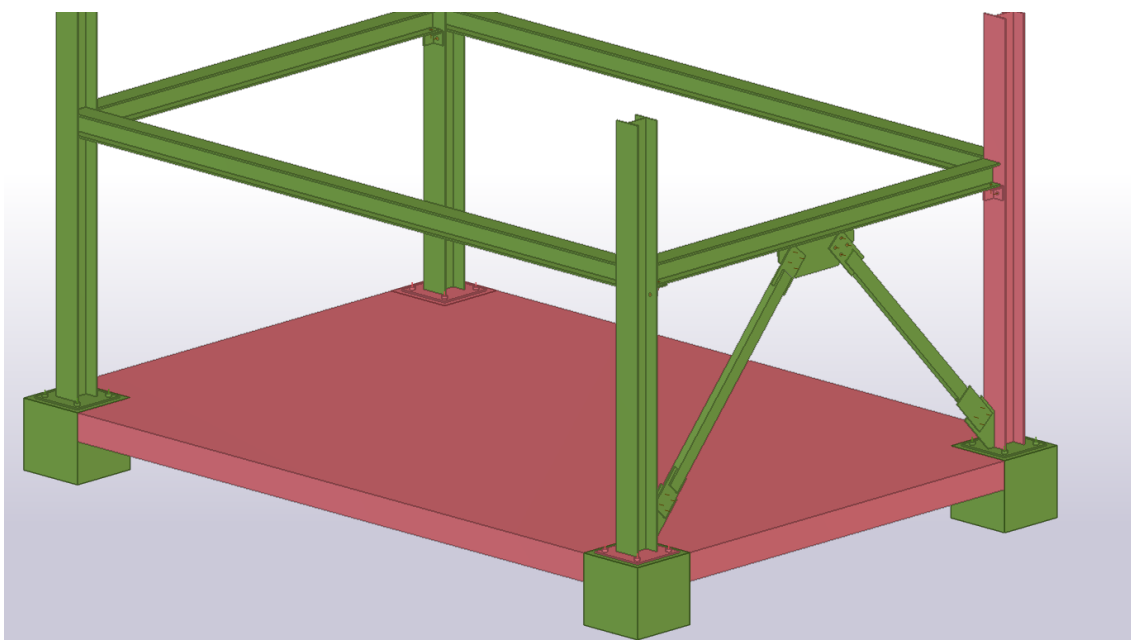


Kuvio 2. Laskelmien teko projektin edetessä

Laskentatietojen tiedonvälitys tulisi siis olla mutkatonta, mutta sitä se ei tällä hetkellä valitettavasti ole. Koska varsinaiset laskelmat pysyvät useimmiten aika lailla täysin samana ja vain lähtötiedot muuttuvat, juuri näiden lähtötietojen tiedonvälityksen helppous olisi välttämätöntä. Kaikkien betonikappaleiden raudoituksia ei aina myöskään edes tarvitse laskea, sillä kokemuksen omaisesti voidaan tietää, että ne tulevat kestämään niille määritetyillä raudoituksilla. Yksinkertaiset maanvaraiset laatat ovat esimerkkejä tällaisista. Tällöin laskelmat on alun perin tehty

yhdelle vastaavalle laatalle ja näiden tietoja käytetään eteenpäin muille samankaltaisille laatoille.

Mallinnusohjelmissa tulisi olla jonkinlainen helppo asetus, jolla voitaisiin nähdä minkä kappaleiden laskelmat ovat tehty ja minkä ei. Tätä ominaisuutta TS-ohjelmasta ei kumminkaan löydy, sillä laskelmia ei ole liitetty tähän ohjelmaan millään lailla. Näkymätila jossa 3D-objektit värjätään vihreäksi tai punaiseksi sen mukaan onko laskelmat ok vai ei olisi yksi mahdollinen menetelmä (kuvio 3). Tämänkaltaista keinoa voisi käyttää itseasiassa kaikkien laskelmien tarkistamiseen, eikä pelkästään teräsbetonikappaleiden raudoitteiden tarkistamiseen, vaan myös muun muassa teräsrakenteiden ja liitännöjen laskelmiin. Mikäli objektien dimensiot tai muut lähtötiedot muuttuisivat ohjelma muuttaisi tämän tiedon automaattisesti punaiseksi eli laskelmat tulisi tarkastaa uudelleen. Visuaalinen vihje on yleensä aina paras vaihtoehto käyttöliittymän toteutuksen kannalta tämän kaltaisten ongelmien ratkaisuun, sillä 3D-malleja pyörittelemällä objektien värien vaihtelut on nopein havaita.

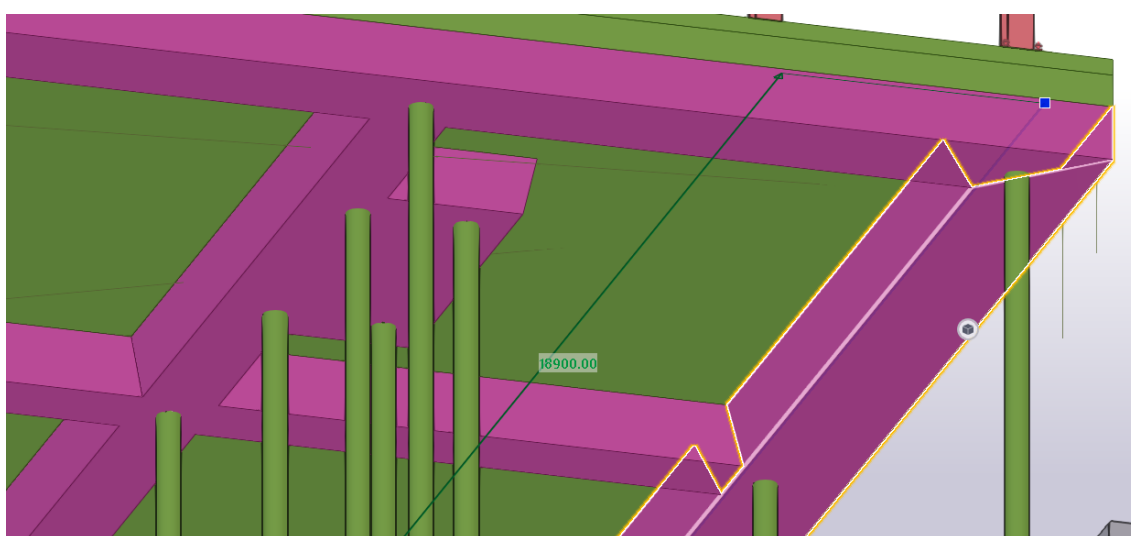


Kuvio 3. Esimerkki laskelmien tarkastamisnäkyvästä TS-ohjelmassa

### 3 Peruskappaleiden laskenta

Mikäli tarkastelee teräsbetonilla tehtyjä rakennelmia, voidaan huomata, että ne muodostuvat periaatteessa ja pelkistettynä aina vain viiden erilaisen rakenneobjektin yhdistelmästä. Näitä rakenneobjekteja voidaan kutsua peruskappaleiksi. Peruskappaleiden raudoituslaskentaa tullaan selvittämään tämän opinnäytetyön määrittämässä laajuudessa tässä kappaleessa.

Peruskappaleita ovat palkki (beam), pilari (column), laatta (slab), seinä tai paneeli (wall/panel) sekä antura (footing). Anturoita on kahta eri tyyppiä, jalusta-antura (pad footing) eli pilarilla tai vastaavalla yleensä käytetty sekä nauha-antura (strip footing), jota voidaan käyttää seinäanturana tai esimerkiksi peruslaatan reunojen alla kulkevana anturana (kuvio 4). TS-ohjelmassa betonikappaleiden mallintaminen on myös jaoteltu täysin samalla lailla näihin englanninkielisiin nimiin.



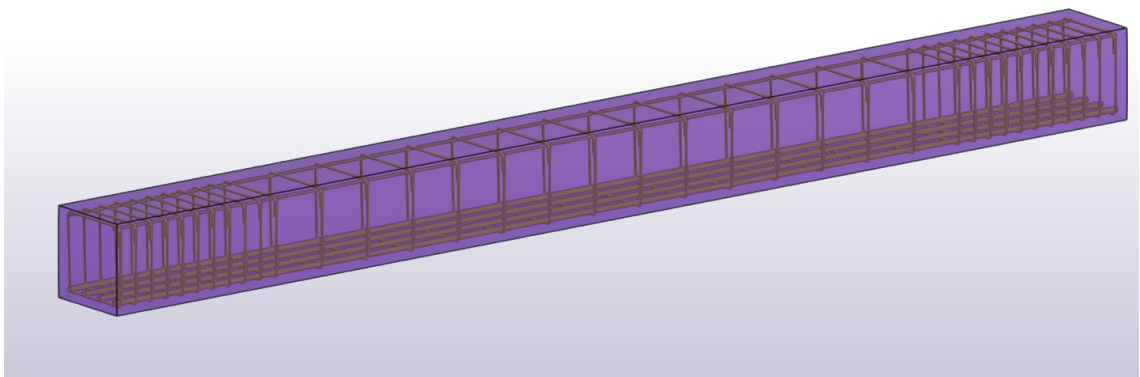
Kuvio 4. Nauha-anturat peruslaatan alla

Betonirakenteiden eurokoodien mukaisessa mitoituksessa jokaiselle peruskappaleille on omat laskukaavansa ja -menetelmänsä. Lähes jokaisella peruskappaleella on lisäksi totta kai lukuisia erikoistapauksia ja omia laskutapoja, kuten laatan tapauksessa jo pelkästään sen monien tyyppivaihtoehtojen takia.

### 3.1 Palkki

Palkkia voidaan pitää yksinkertaisimpana rakenteena peruskappaleiden raudoituslaskelmia vertaillessa. Näihin ”sauvamaisiin” rakenneobjekteihin vaikuttaa ensisijaisesti pituusakselia vastaan kohtisuoraan suuntaan aiheutunut kuormitus, joka aiheuttaa taivutus- ja leikkausrasituksia kappaleessa. Myös vääntö ja aksiaalinen normaalivoima voivat olla mahdollisia rasituksia palkeissa. Palkin voidaan sanoa muistuttavan ominaisuuksiltaan jollakin tapaa laattarakennetta, sillä jos palkin leveys on suurempi kuin sen korkeuden viidesosa ei ole kyseessä enää palkkirakenne vaan laatta.

Kuviossa 5 on esitetty esimerkki palkkirakenteeseen yleisimmin tulevista raudoitteista. Pääraudoitteet ovat palkilla yleensä alapintaan tulevat pitkittäiset harjateräsket, jotka vastaanottavat suurimman määrän palkin rasituksista. Yläpintaan asennettavat pitkittäisteräsket eivät useimmiten ole rakenteellisesti niin merkittäviä, mutta varsinaisen betonin valamisprosessin helpottamiseksi niitä kuitenkin käytetään. Yläpinnan teräksiin on nimittäin helppo kiinnittää palkin leikkausraudoituksena käytetty hakaraudoitus, jolloin palkin laatikkomainen raudoitusrakenne saadaan järjestettyä. Joskus palkin sivupinnoille voidaan myös lisätä pitkittäisiä raudoitustankoja sekä hakaraudoitusta saatetaan tihentää palkin päissä rakenteellisena vahvistuksena.



Kuvio 5. Esimerkki palkin raudoituksista

Raudoitustiedot, jotka täytyy siis palkkirakenteelta välittää laskentaohjelmasta eteenpäin, voisivat olla esimerkiksi vastaavat:

- Pääraudat (alapinnan raudat) 2T16 reunoilla ja 2T10 keskellä.
- Yläpinnan raudat 2T8 (kulmissa).
- Sivupinnan raudat 2T8.
- Hakarautoitus T8k150 sekä mahdollinen tieto hakarautoituksen tiheyksestä.
- Tarpeellinen betonipeitemäärä. Tieto tarvitaan raudoitteiden aseointia varten.
- Tarvittu- ja minimirautoitusmäärä sekä mahdollinen maksimirautoitusmäärä, jotka ovat aina hyvä tietää lisäkäsittelyä ja mahdollisia muutoksia varten.

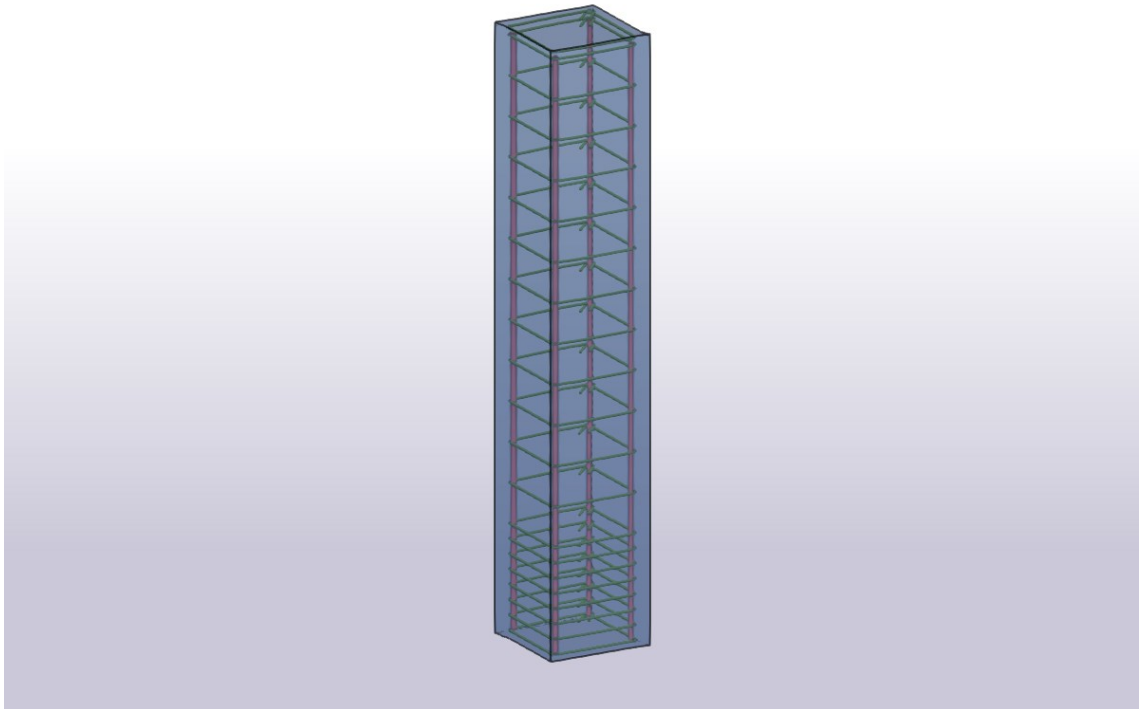
Kaikki muut palkin raudoitustiedot ovat lähinnä yksittäistapauksissa tehtäviä lisäyksiä, kuten erityisten detaljien raudoitteita tai vastaavia, eikä näihin liittyviä tietoja kannata siirtää sellaisenaan mallinnuksen puolelle. Ainoastaan palkin perustiedot raudoituksien osalta on tarpeellista tietää, sillä kaikki tarkemmat detaljit on joka tapauksessa laskettava aina erikseen. Raudoitustiedot eivät tietenkään ole ainoita laskennasta saatavia betonipalkin tietoja vaan mm. kappaleen dimensiot ja betonitiedot on myös tallennettava.

### 3.2 Pilari

Eurokoodista löytyy pilarille kolme eri laskentatapaa: yleinen menetelmä, nimelliseen jäykkyyteen perustuva menetelmä sekä nimelliskaarevuuteen tai nimelliskäyritymään perustuva menetelmä. Pilareihin kuormaa aiheuttaa pääasiallisesti ylhäältä päin tuleva puristusvoima, joka aiheuttaa taivutusrasituksen. Pilareiden eroavaisuus seinästä muistuttaa paljolti palkin ja laatan eroavaisuutta. Mikäli pilarin suurempi sivumitta on vain 4 kertaa suurempi kuin pienempi sivumitta, kappaletta voidaan pitää pilarina. Jos sivusuhte ei noudata tätä kaavaa vaan on suurempi, kyseessä on seinä.

Pilarit ovat yleisimmin neliön tai suorakaiteen muotoisia, mutta myös pyöreiden pilareiden laskelmat voidaan toteuttaa varsin samankaltaisesti. Jos pilarimuotona

on kyseessä juuri nämä yleisimmin mainitut suorakulmaiset muodot, niiden raudoitteet muistuttavat raudoiterakenteena paljolti palkin harjateräsrakennetta. Suurin eroavaisuus on rakenteen kuormituksessa ja sen johdosta siinä, että pilarin kaikki kulmaraudoitteet ovat yhtä tärkeässä asemassa (kuvio 6).



Kuvio 6. Pilarille yleensä mallinnettavat raudoitteet

Käytännön mitoituksessa pilareiden laskenta tehdään yleensä suhteellisten voimasuureiden  $n$  (suhteellinen normaalivoima) ja  $\mu$  (suhteellinen momentti) mitoituskäyrästäjä käyttäen. Nämä voimasuureet lasketaan seuraavien kaavojen 1 ja 2 mukaisesti.

$$n = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bh^2 f_{cd}} \quad (2)$$

Tarvittavat lopulliset raudoitustiedot pilareilta muistuttavat paljolti palkin raudoitustietoja, sillä raudoitusrakenne on yleensä samankaltainen laatikkomainen järjestelmä hakaraidoituksineen.

### 3.3 Laatta

Laattojen suunnittelu on lähes aina erittäin monimutkaista, sillä jo helpoimpien suorakaiteen muotoisten paikallavalettavien massiivilaattojen laskenta joudutaan yleensä tekemään käyttäen hyödyksi taulukkoihin perustuvaa laskentamenetelmää, kuten kaistamenetelmää. Mikäli laatan muoto muuttuu erikoisemmaksi ja etenkin jos suunnitellaan esijännitettäviä rakenteita, kuten ontelolaattoja, laskutoimenpiteet mutkistuvat huomattavasti.

Täten laattojen raudoitustiedot ovat harvemmin yksinkertaistettavissa sellaiseen muotoon, että ne voitaisiin jotenkin suoraan tuoda mallinnusohjelmiin. Laatan tapauksessa paras vaihtoehto raudoitteiden informaation siirtämiseen laskentaohjelmien ja mallinnuksen välillä on kappaleessa 7 kuvattu IFC-formaatti.

Eri tyyppisten laattojen lisäksi laatan raudoitteissa on monia poikkeavia rakenteita, jotka voivat aiheuttaa raudoitteiden laskennan muuttumisen täysin erilaiseksi. Pilarilaatta on yksi tällainen tapaus, sillä siinä tulee ottaa huomioon ja tarkastaa laatan lävistyskapasiteetti pilareiden kohdalla. Tällöin laskenta voi perustua esimerkiksi yksinkertaistettuun suorakaiteen muotoiseen jännitysja-kaumaan ja raudoitus tulee keskittää lähinnä pilareiden kohdalle.

Todella karkeasti sanoen laatan raudoitukset voisi koota vain ala- ja yläpinnan verkkoraudoitukseen ja reunoille asennettaviin yleensä U:n muotoisiin vahvikerautoihin. Tosin kuten aiemmin mainittu, tämä määrittely ei ole juuri koskaan tarpeeksi kattava.

### 3.4 Seinä

Kantavien väliseinien tapauksessa niiden laskentaan vaikuttaa paljolti myös palonkesto- ja ääneneristysvaatimukset, joten näitä vaatimuksia ei voida sivuuttaa. Elementtisuunnittelu.fi sivustolta löytyy sekä raudoitetulle että raudoittamattomalle seinälle valmiit mitoitusaulukot, joissa laskentamenettelyä on jo yksinker-

taistettu. Lisäksi sivustolta löytyy myös täydellinen seinän raudoituksen laskentapohja jo valmiiksi. Omaan Excel-laskentapohjaan voisi täten liittää raudoitetun seinän mitoitusaulukot sellaisenaan tai tämän laskentapohjan, mutta se ei opinäytetyön laajuutta ajatellen ole tarpeellista vaan näitä taulukoita ja laskentapohjaa voidaan vertailla erikseen. Seinät voidaan joissakin tapauksissa tehdä niin sanotusti raudoittamattomina, mutta tätä sivustolta löytyvää mitoitusaulukkoa ei oteta huomioon, sillä peruskäsite opinäytetyössä on normaalisti raudoitettujen kappaleiden vertailu. Raudoittamattomana tehtävä seinä on sellainen, jonka raudoitus on alle minimiraudoitusmäärän ja jonka betonin murtolujuus riittää yksistään kestäämään seinälle tulevat kuormitukset. Tässä työssä kaikilla peruskappaleilla minimiraudoitusmääräraja ei pyritä alittamaan.

Raudoitetun seinän mitoitusaulukkoja on Elementtisuunnittelu.fi sivustolla kaksilla eri osavarmuuskertoimilla eli normaaleilla materiaaliosavarmuuskertoimilla 1,5 ja 1,15 sekä alennetuilla kertoimilla 1,35 ja 1,1. Täyttäen tarvitut alkuarvot ja verraten taulukoiden arvoja seinän paksuudelle ja korkeudelle, betonin lujuudelle sekä kuormien epäkeskisyydelle, voidaan taulukoista valita tieto tarvittavista raudoitusteräksistä saadun kestävyysarvon mukaan. Taulukot listaavat seinälle tulevan kN voiman määrän yhden metrin matkalle. Raudoitusverkkojen välisarvona on käytetty näissä taulukoissa aina k150 arvoa. Normaaleilla osavarmuuskertoimilla 3 m korkea, 180 mm paksu,  $e_1=0$  ja  $e_2=20$  epäkeskisyyksillä sekä yleisimmin väliseinillä käytetyn C25/30 betonilujuuden omaava seinä kestää siis 1602 kN/m, kun on käytetty T10k150 raudoitusverkkoja seinän molemmilla puolilla olevilla pinnoilla.

Seinien raudoitustiedot muistuttavat siis paljon laatoilla olevia raudoitustietoja, mikäli verrataan pelkästään saatua informaatiota. Seinän puristus- ja vetopuolen raudoitusten koko ja välys eli raudoitusverkkojen tiedot sekä mahdollisten tarvittavien pintaverkkojen välisten hakojen koko ja hakaväli ovat ainoat asiat, jotka seinien tapauksessa tulisi välittää TS-ohjelmaan.



## 3.5 Anturat

Perustuksien suunnittelussa geoteknisellä mitoituksella on erittäin suuri merkitys. Anturan pohjan maaperän kantokyky vaikuttaa laskennan eri osioihin ja anturoiden ulokeosien päälle kasattavat maamassat saattavat vaikuttaa myös merkittävästi lopputulokseen.

### 3.5.1 Seinä-/nauha-antura

Seinäanturan mitoitus tehdään yleensä sillä oletuksella, että seinän pitkittäis-suuntainen rakenne on niin jäykkä rakenne, ettei taivutusmitoitusta tarvitse huomioida. Laskelmat etenevät tarkastaen raudoituksen tarve, poikittainen raudoitus, leikkausmitoitus sekä ankkurointi.

Käytännön mallinnuksessa nauha-anturan raudoitteet tehdään tavallisesti käyttäen u:n muotoisia raudoitteita eli suorita raudoitteita joiden päät on taivutettu molemmin puolin usein ylä- ja alapinnan raudoitteiden välisen tilan verran. Alapinnassa olevat raudoitteet ovat myös anturoilla eniten merkitseviä, mutta jotta työmaalla anturoiden u:n muotoisten raudoitteiden ”häkkirakenne” olisi helppo tehdä käytetään lähes aina myös yläpinnassa täysin samoja raudoitustankoja.

### 3.5.2 Pilariantura

Pilarianturan mitoitukset ovat aika lailla vastaavia seinäanturan kanssa. Ainoa ero pilarianturalla on yleensä se, että suuren kuormitusmäärän takia niitä ei voida tehdä raudoittamattomana. Varsinaiset raudoitteet tehdään useimmiten täysin vastaavalla ”häkkirakenteella” kuin nauha-anturoiden tapauksessa.

## 4 Omat Excel-pohjat peruskappaleille

Laskentaoperaatioihin voi hyvin perehtyä tarkemmin tekemällä oman Excel-taulukkolaskentapohjan peruskappaleita varten. Tähän opinnäytetyöhön tehtävään laskentapohjaan on liitetty kaikille peruskappaleille alustavat tutkimustiedot siitä, kuinka laskentamalleja tulisi joissakin tapauksissa yksinkertaistaa TS-ohjelmaan tapahtuvaa tiedonsiirtoa varten. Palkin laskelmat ovat täydellisimmät, sillä tämän kappaleen raudoitetiedot ovat helpoimmat siirtää mallinnuksen puolelle, ja ne toimivat täten hyvänä esimerkkinä muille kappaleille. Seuraavaan laskentapohjan versioon olisi vaivatonta päivittää muidenkin peruskappaleiden täydelliset laskelmat, mutta tätä opinnäytetyötä varten se ei ole tarpeellista.

Excel-pohja on koodattu käyttäen Visual Basic -ohjelmointikieltä ja se automatisoi esimerkiksi ympäristöluokan vaatiman betonipeitearvon määrittämisen ( $C_{min,dur}$ ). Kielivalintana laskentapohjasta löytyy suomenkielisten tekstien lisäksi myös englanti.

Mitä kaikkia tietoja laskentaa varten tullaan sitten tarvitsemaan ja voiko joitakin tietoja käyttää kaikille peruskappaleille? Seuraavaksi keskitytään näihin asioihin.

### 4.1 Alkutiedot

Ensimmäisenä sivuna Excel-pohjassa on sivu nimeltä Alkutiedot. Tämä sivu sisältää laskentaa varten tehtävät yleiset määrittelyt, kuten mikä on valittu kieli ja mille peruskappaleelle laskenta tehdään. Koska on kyse betonikappaleiden laskennasta on monia muita lähtötietoja, jotka ovat kaikille kappaleille aina rajattavia tietoja. Kuviossa 7 on esitetty Excel-pohjassa olevat seuraamusluokan, ympäristöluokan ja rakenteen käyttöiän valinnat, jotka tulee määrittää jokaiselle peruskappaleelle.

Seuraamusluokka:	CC2	->	$K_{fi} =$	1
Ympäristöluokka:	X0	->	$c_{min,dur} =$	5 mm
Rakenteen käyttöikä:	50			vuotta

Kuvio 7. Peruskappaleille määritettäviä yleisiä lähtötietoja

Seuraamusluokka vaikuttaa laskelmissa  $K_{fi}$  kuormakertoimeen. Ympäristöluokka sekä rakenteen käyttöikä muuttaa betonipeitteen laskennan alkuarvoa  $c_{min,dur}$ , kuten aiemmin mainittu. Betonin ja teräksen materiaaliarvot, kappaleen dimensiot, kuormitukset sekä jokaisen laskentatapauksen yksinkertaistus on myös tällaisia alkutietoja. Useimmiten mitoituksen aloittamiseksi tarvitaan myös jotkin aloitusarvot halutuille raudotteille.

#### 4.1.1 Materiaalitiedot

Teräsbetonikappaleita laskettaessa tarvitaan lukuisia teräksen ja betonin ominaisarvoja. Betonin ominaispuristuslujuus  $f_{ck}$  ja teräksen mitoituslujuus  $f_{yk}$  ovat kaikkien laskelmien perustana määrittäen mm. materiaalien mitoitusarvot. Kuviossa 8 on laskentapohjasta löytyvät varsin kattavat materiaalitiedot.

MATERIAALIARVOT:		Arvo	Yksikkö	Huomio
Betoni: C 30 / 37	ominaispuristuslujuus	$f_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>
	maksimiraekoko	$raekoko =$	16	mm
	osavarmuusluku	$\gamma_c =$	1,5	
	puristuslujuuskerroin Suomessa	$\alpha_{cc} =$	0,85	
Teräs: A500W	mitoituslujuus	$f_{yk} =$	500	N/mm <sup>2</sup>
	osavarmuusluku	$\gamma_s =$	1,15	
Materiaalien mitoitusarvot		$f_{cd} = (\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c =$	17	N/mm <sup>2</sup>
		$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	434,8	N/mm <sup>2</sup>
		$f_{cm} =$	38,0	MPa
Betoniin keskimääräinen vetolujuus		$f_{ctm} =$	2,9	MPa
				MPa
Betoniin vetolujuus (5% fraktiili)		$f_{ctk,0.05} =$	2,0	MPa
Normaalin betonin tiheys		$\rho_{betoni,norm.} =$	2400	kg/m <sup>3</sup>
Raudoitettun betonin tiheys		$\rho_{betoni,raud.} =$	2500	kg/m <sup>3</sup>

Kuvio 8. Excel-pohjassa oleva materiaalitietojen syöttölomake

Materiaalitiedoista tarvitsee syöttää vain vaalean oranssilla värjätyt taulukkolaskentasolut, samaan tapaan kuin muitakin tietoja syötettäessä. Loput tiedoista lasketaan automaattisesti, ja niiden informaatio siirtyy kappaleiden laskentasivuille, mikä on määritetty luvussa 4.2.

#### 4.1.2 Valitun kappaleen tapauksen yksinkertaistus

Kaikissa laskelmatiedoissa tehdään tiettyjä yksinkertaistuksia, jotta laskentadata saadaan pidettyä selkeänä. Palkin tapauksessa laskennan olettamukset ovat seuraavia:

- Palkki on yksiaukkoinen.
- Palkkia kuormittaa yleisimmin sen päällä oleva laatta ja palkki on tukeutunut molemmista päistä pilareihin.
- Kuormittava laatta on ontelolaatta, mutta syöttämällä kuormituksen itse se voi olla mikä tahansa.
- Pilarit palkin molemmissa päissä ovat neliömäiset.
- Kuormitusyhdistelmistä käytetään murtorajan joko pysyvää tai keskipitkää aikaluokkaa.
- Pysyvistä kuormista ei huomioida laskentaan edullisia arvoja.
- Onnettomuus tai palomitoitusta ei huomioida, joten ne on tarkastettava jälkikäteen.
- Raudoitteet ovat betoniteräksiä ei jänneteräksiä.

#### 4.1.3 Dimensiot ja alkutiedot raudoitteille

Kappaleiden dimensiot ovat aika lailla itsestäänselvyyksiä, mutta yleensä samankaltaisia. Joihinkin laskuihin, kuten palkin tapauksessa, tarvitaan lisäksi arvot siitä, mitkä raudoitteet haluttaisiin olevan. Nämä arvot täytyy määrittää, jotta laskennalla on jokin lähtökohta. Mikäli laskenta ei myöskään onnistu, näillä arvoilla rauditusmäärää voidaan lisätä.

#### 4.1.4 Kuormat

Kappaleille tulevat kuormat ovat täysin sidoksissa siihen, mikä kappale on kyseessä. Tätä omaa laskentapohjaa varten kuormituksen määrittäminen on lisäksi selkeytettävä jokaiselle kappaleelle tulevaksi perustapaukseksi. Esimerkiksi palkille tai laatalle ei oletuksena siis määritetä tulevan pistekuormitusta. Mikäli näin kuitenkin todellisuudessa tapahtuu, nämä tapaukset on laskettava aina erikseen. Alla olevassa taulukossa 1 määritetään jokaiselle peruskappaleelle tuleva oletuskuormitus pystysuunnassa sekä mahdollinen sivuttaiskuorma.

Taulukko 1. Kuormitusten perustapaukset eri kappaleille.

Kappale	Pystykuormitus	Yksikkö	Sivuttaiskuorma	Yksikkö
Palkki	Tasainen viivakuorma	kN/m	-	-
Pilari	Keskeinen normaalivoima	kN	Tuulta ei huomioida	-
Laatta	Tasainen pinta-alakuorma	kN/m <sup>2</sup>	-	-
Seinä	Tasainen viivakuorma	kN/m	Tuuli	kN/m <sup>2</sup>
Pilariantura	Keskeinen pistekuorma	kN	Myös momenttia aiheuttava kuorma huomioidaan	kNm
Seinääntura	Tasainen viivakuorma	kN/m	Tuuli	kN/m <sup>2</sup>

#### 4.2 Laskenta

Excel-pohjan perussivu, jolla varsinainen jokaiselle peruskappaleelle tehtävä laskenta tapahtuu, on nimetty aina laskettavan kappaleen mukaan. Näillä sivuilla on kaikilla tarkoitus olla lukuisia tarkistuksia muun muassa siitä, onko valitut raudoitukset riittäviä kyseiselle kappaleelle ja mitä raudoitukset tulisivat todella olla. Peruseriaatteena on solujen värjäytyminen punaiseksi tai vihreäksi sen mukaan, mikäli tarkistus on ok tai ei. Kuten aiemmin todettiin, palkin laskentasisu on täydellisin ja muiden kappaleiden laskennat voitaisiin lisätä myöhemmin.

### 4.3 Tuloksien käsittely

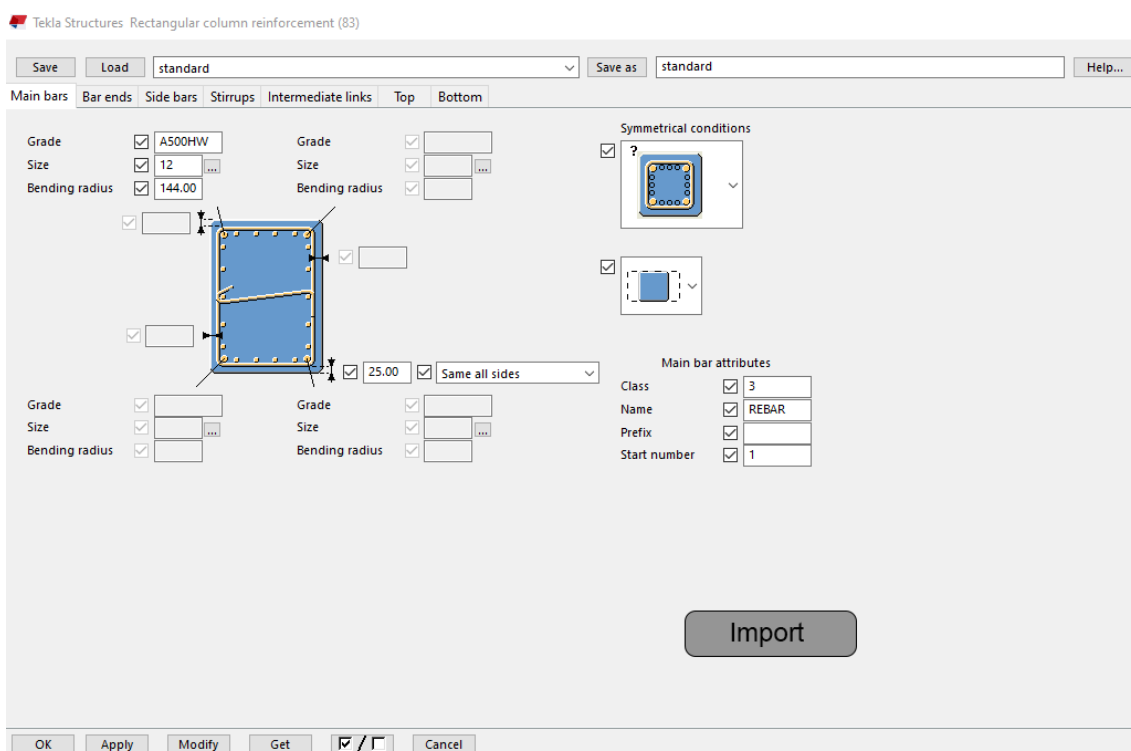
Laskentatuloksien lopputulos voidaan nähdä sivulla nimeltä Vienti. Vientisivulla on tarkoitus olla kaikki Tekla Structuresiin tarvittavat raudoitteiden siirtotiedot sekä tieto siitä onko raudoitteet riittäviä kyseiselle kappaleelle annetuilla kuormilla. Kuvio 9 kuvaa palkin tietoja. Tämän sivun toiminta on täysin esimerkinomaisen konsepti siitä, kuinka laskennasta saatu tieto voitaisiin tallentaa TS-ohjelman käytettäväksi eikä tallennus/vienti-operaatio varsinaisesti toimi. Tallennus voisi tosin tapahtua siirtäen tiedot esimerkiksi kappaleessa 4.4.1. määritetyn erotetun txt-tiedoston avulla, joka noudattaisi 7.2. kappaleessa määritettyä AHC-formaattia.

PALKIN RAUDOITTEET	
Ovatko kaikki raudoitteet sopivia / tarkastukset ok?	
OK	
<p>2T8</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>2T20</p>	Betonipeite 30 mm
	Teräslaatu A500W
	Minimirauditusmäärä 184 mm <sup>2</sup>
	Tarvittava rauditusmäärä 425 mm <sup>2</sup>
	Raudoitteiden tiedot yhdellä rivillä A500W&2T20&2T20&-&-&-&-&8k150&30&184&425
<input type="button" value="Tallenna/Vie"/>	
Haat	8k150

Kuvio 9. Vientisivu

#### 4.4 Excel-pohjista saadun tiedon tuonti Teklaan

TS-ohjelmassa raudoitteet mallinnetaan yleensä käyttäen kappaleessa 6 määritettyjä komponentteja. Näihin betonirakenteiden komponentteihin voitaisiin lisätä helposti Import-painike, jolla kaikki laskentatiedoissa saadut raudoitustiedot voitaisiin automaattisesti täyttää komponenttien tekstikenttiin. Alla olevassa kuviossa 10 on suorakaiteen muotoiselle pilarille raudoitteet mallintava komponentti ja sen ensimmäinen pääraudoitteet määrittävä sivu.



Kuvio 10. Pilarin raudoituskomponentti TS-ohjelmassa ja siihen lisätty painike

Tuomalla laskennasta raudoitteiden perustiedot, niiden mallintaminen helpottuisi huomattavasti, koska määrittäjiä ei joutuisi täyttämään ihan kaikkia manuaalisesti itse. On kuitenkin muistettava, että komponenttien kaikkia tietoja ei ole järkevää täyttää suoraan, sillä monet niistä ovat vain TS-ohjelmaan liittyviä tietoja.

#### 4.4.1 Erotettu txt-tiedosto

Kappaleisiin laskennallisesti saadut raudoitusten määrätiedot ja muut tiedot, kuten tarvittavan betonipeitteen ja teräslaadun arvot, voisi helposti tallentaa ulkopuoliseen erotettuun tekstitiedostoon. Tekstitiedosto voitaisiin muodostaa esimerkiksi tallentaen kaikki arvot & merkin erottamana omaan tiedostomuotoonsa. TS-ohjelman puolella komponentin ohjelmointi tulisi toteuttaa siten, että & merkkien väliset tiedot tuotaisiin oikeisiin kohtiin, joten arvojen järjestys tulisi pitää aina samanlaisena.

#### 4.5 Kuinka laskentatulokset hyödyttävät Teklan käyttöä

Saadut laskentatulokset voisivat hyödyntää TS-ohjelmalla tehtävää mallinnusta monella eri tavalla. Kattavilla laskentatiedoilla rakenneobjektien mallintaminen nopeutuisi huomattavasti, sillä saadut tiedot täyttyisivät itsestään mallinnettaviin objekteihin. Teräsbetonikappaleilla raudoitustiedot eivät olisi myöskään ainoita tietoja, jota mallinnuksen puolelle voidaan välittää. Raudoitteiden lisäksi myös varsinaiset betonitiedot voitaisiin välittää vastaavasti. Mikäli mallinnettaessa tietoja muuttaisi, tärkeää olisi tiedonvälityksen onnistuminen myös toiseen suuntaan.

##### 4.5.1 Minimi- ja maksimiraudoitteiden tarkistus

Useimmiten peruskappaleiden laskentatoimenpiteissä on kappaleen minimiraudoituksen ja tarvittavan raudoitusmäärän tarkastus. Maksimiraudoituksen laskenta on myös yleensä mahdollista. Nämä laskentatiedot voisi olla myös hyvä tietää mallinnuksen puolella, jotta niitä voitaisiin verrata mallinnettuun rakenteeseen. TS-ohjelmassa on jo mahdollista tietää kunkin kappaleen sisällä olevien raudoitteiden määrä, joten visuaalinen vihje siitä, mikäli kappaleeseen on mallinnettu liian paljon tai vähän raudoitteita ei olisi mahdotonta toteuttaa. Kuvion 3 kaltainen kappaleiden värjäminen eri väreillä sen mukaan, mikäli raudoitukset ovat minimi- ja maksimimäärien rajojen sisällä olisi yksi vaihtoehto. Esimerkiksi



oranssin värin käyttö, mikäli raudoitusmäärä on lähellä näitä raja-arvoja olisi myös erinomaista.

#### 4.5.2 Betonilujuuden riittävyys

Kuten raudoitusmäärän riittävyys eri kappaleilla, myös betonilujuuden riittävyys on ratkaisevassa asemassa. Tekla Structures -ohjelmassa betonilujuuden tiedot voisi hyvin rajata suoraan laskennasta saadun tiedon mukaisesti siten, ettei lujuuden arvo ainakaan alittaisi koskaan sallittua arvoa.

## 5 Laskentaohjelmien vertailua

Rakennelaskelmia ei tarvitse enää tänä päivänä tehdä käsinlaskemalla, eikä se olisikaan mitenkään järkevää, vaan laskelmat suoritetaan tietokoneohjelmistoilla. Näitä ohjelmia on olemassa lukuisia eri tyyppisiä, joista toiset perustuvat esimerkiksi FEM-laskentamenetelmiin. Autodesk Robot Structural Analysis on yksi tällaisista ohjelmista. Muita tässä opinnäytetyössä vertailtavia laskentaohjelmia ovat Tekla Tedds sekä Calculationstools.com -nettisivusto. Rakennekiinnikkeiden tai -elementtien valmistajilla on myös yleensä aina omat heidän tuotteita varten tehdyt laskentapalvelut, joista Würthin, Peikon ja Hiltin suunnitteluohjelmat ovat hyviä esimerkkejä. Näillä erikoistyyökaluilla voidaan muun muassa laskea, tarvitaanko kiinnikkeitä varten asentaa lisäraudoitteita.

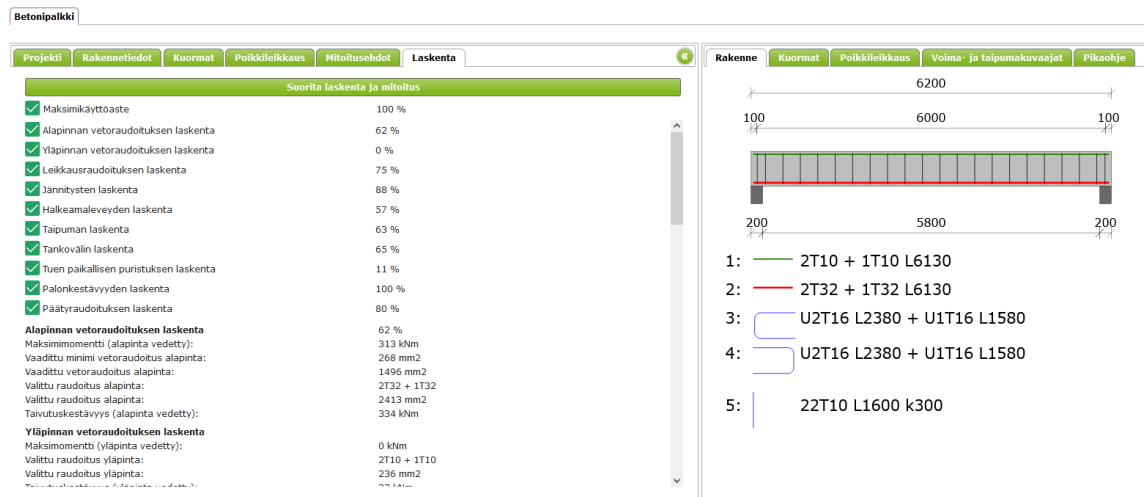
Yleinen ongelma lähes kaikissa laskentaohjelmissa on, että niistä lopputuloksena saatavat tiedot ovat yleisimmin niin sanotusti ”paperimuotoisia”, jotta ne on helppo tulostaa raporteiksi, mutta tämä ei helpota tiedon uudelleen käsittelyä. Näiden raporttien lisäksi olisi hyödyllistä, jos kaikki tieto saataisiin myös tallennettua digitaaliseksi dataksi esimerkiksi samaan tapaan kuin oman Excel-pohjan erotettu txt-tiedosto. Tähän työhön valituista ohjelmista RSA on ainoa, josta jonkinlainen digitaalinen tiedonvälitys onnistuu mallinnuksen puolelle.

### 5.1 Calculationtools.com

Kaikista yksinkertaisin ja käyttöliittymältään jo jokseenkin omaa Excel-taulukkolaskentapohjaa muistuttava laskentaohjelma on selainpohjainen Calculationtools.com -nettisivusto. Sen ovat tehneet Saint-Gobain Finland Oy ja D.O.F. tech Oy yhteistyössä kolmen eri tuotevalmistajan kanssa. Tuotevalmistajat ovat Isover, Gyproc ja Weber. Koska nettisivu on tehty monien yritysten yhteistyönä, se löytyy useiden eri url-osoitteiden takaa, kuten dof-laskentapalvelut.fi sekä laskentapalvelut.fi.

Lujuuslaskennan puolelta tällä palvelulla pystyy betonirakenteista tekemään ainakin palkin tai anturoiden laskelmia. Palvelu on maksullinen, joten aivan kaikkia

ominaisuuksia ei ollut käytettävissä tämän työn vertailua tehdessä. Laskelmat perustuvat Eurokoodin EN 1992 mukaiseen mitoituseseen. Kuviossa 11 on kuvattu palkin laskennan tekevä nettisivu.



Kuvio 11. Calculationtools.com -nettisivun palkin laskenta

## 5.2 Tekla Tedds

Teklan oma laskentaohjelma nimeltään Tekla Tedds perustuu paljolti samankaltaiseen ratkaisuun, mitä Calculationtools.com -nettisivusto käyttää. Teddsin käyttöliittymä vaan on täysin juuri näihin laskennasta saataviin lopullisiin ”paperisiin” pohjiin perustuva ja sen ulkoasu muistuttaakin enemmän tekstinkäsittelyohjelmaa kuin muita laskentaohjelmia. Liitteen 1 kuva 1 on esimerkki ohjelman käyttöliittymän perusnäköymästä.

### 5.2.1 Tekla Tedds:n yhdistyminen Tekla Structuresiin

Vaikka Tedds-ohjelma on Tekla nimeä kantava ja sitä on kehitetty yhtiön voimasta kymmeniä vuosia, ei sen dokumentteja saa oikeastaan mitenkään yhdistettyä Tekla Structuresin mallinnuksen puolelle. Sitä pystyy vain käyttämään erittäin moninaisten rakenteiden ja jopa materiaalien laskennassa. Laskentapohjat eivät ole siis rajoittuneita pelkästään betonirakenteille (liite 1 kuva 2).

### 5.3 Autodesk Robot Structural Analysis Professional

Täysin 3D-ympäristössä toimiva Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelma on erittäin monipuolinen rakenneanalyysiohjelma, jolla onnistuu eurokoodien mukainen rakenteiden suunnittelu. Ohjelmalla tehtävät rakenteiden stressianalyysit ja erilaiset graafiset kuormien ja muodonmuutosten esittämiskartat ovat visuaalisesti erittäin hyödyllisiä.

Koska RSA:n on lisätty niin lukuisia toimintoja, sen käyttöliittymä ei ole enää järin käyttäjäystävällinen vaan sekava sillisalaatti. Etenkin kappaleiden mallintaminen on haastavaa, sillä yksinkertaiset toiminnot kuten siirto/kopiointi ja kierto ovat toteutettu aivan liian monimutkaisesti ja niiden tekeminen on piinallisen hidasta. Kymmenien ohjelman sisäisten ikkunoiden viidakko aiheuttaa ohjelman käytössä myös epäselvyyttä. Mikäli halutaan yhden ohjelman tekevän näin monia eri toimintoja aina laskennasta piirustuksien tekoon tulisi erityyppiset käyttömoodit ohjelman sisällä erottaa toisistaan paremmin ja perusominaisuudet tehdä ohjelmien suunnittelussa mahdollisimman yksinkertaisina.

Hyvinä puolina RSA:ssa on BIM-tietomallien käyttö ja Autodesk Revit yhteensopivuus. Tämä ohjelma kuuluu nimittäin laajaan Autodesk-perheeseen, joten siitä saatavan informaation pystyy linkittämään juuri esimerkiksi Revit-mallinnusohjelmaan. Yleensä rakenteiden mallintaminen olisikin pyrittävä tekemään juuri jossakin muussa ohjelmassa, josta ne sitten tuodaan Robotiin.

#### 5.3.1 RSA-linkitys Tekla Structuresiin

Robotiin rakennemallien tuontia ja vientiä varten TS:iin pystyy asentamaan erillisen lisäosan nimeltä Robot link (kuvio 12). Lisäosan käytöstä ja toimivuudesta ohjelmien välillä on eriäviä mielipiteitä, joista yleisimmät käsitykset ovat perin kielteisiä. Linkityksen on sanottu toimivan todella huonosti, ja tästä antaa osviittaa

myös se seikka, ettei lisäosaa ole nyt päivitetty moneen vuoteen.

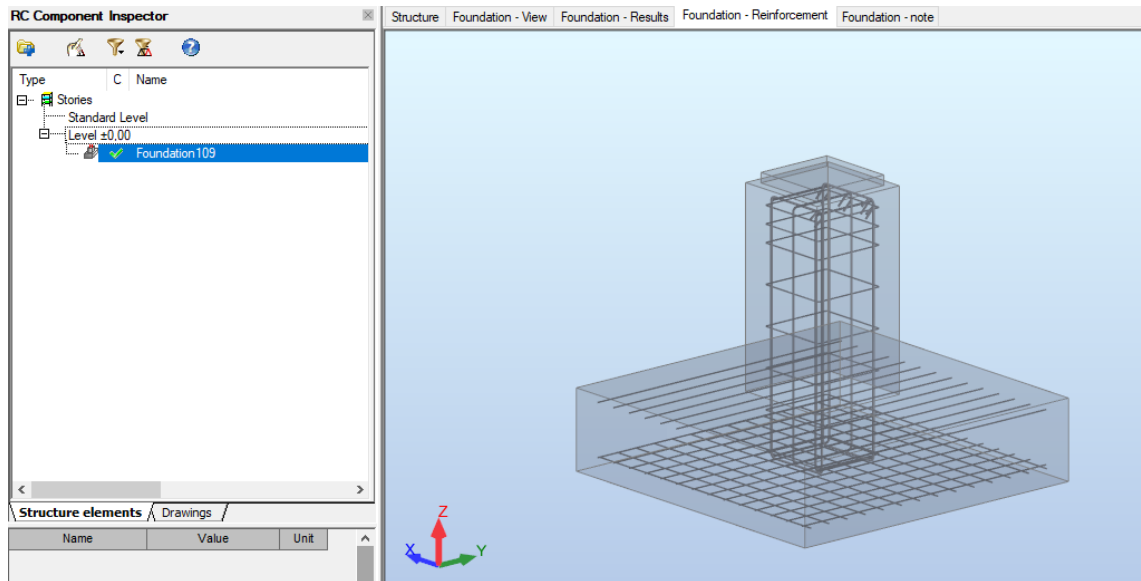


Kuvio 12. Robot link

Autodesk ja Trimble ovat aika lailla kilpailijoita tällä alalla, joten näiden ohjelmien yhteensopivuuden kehittäminen ei ymmärrettävästi ole prioriteettiasia. Lisäksi Trimble on tehnyt oman uuden rakenneanalyysiohjelmansa nimeltä Tekla Structural Designer, joka pitäisi toimia täydellisesti TS:n kanssa yhteensopivana, joten ei ole ihme, ettei tätä linkitystä luultavammin kehitetä enää eteenpäin.

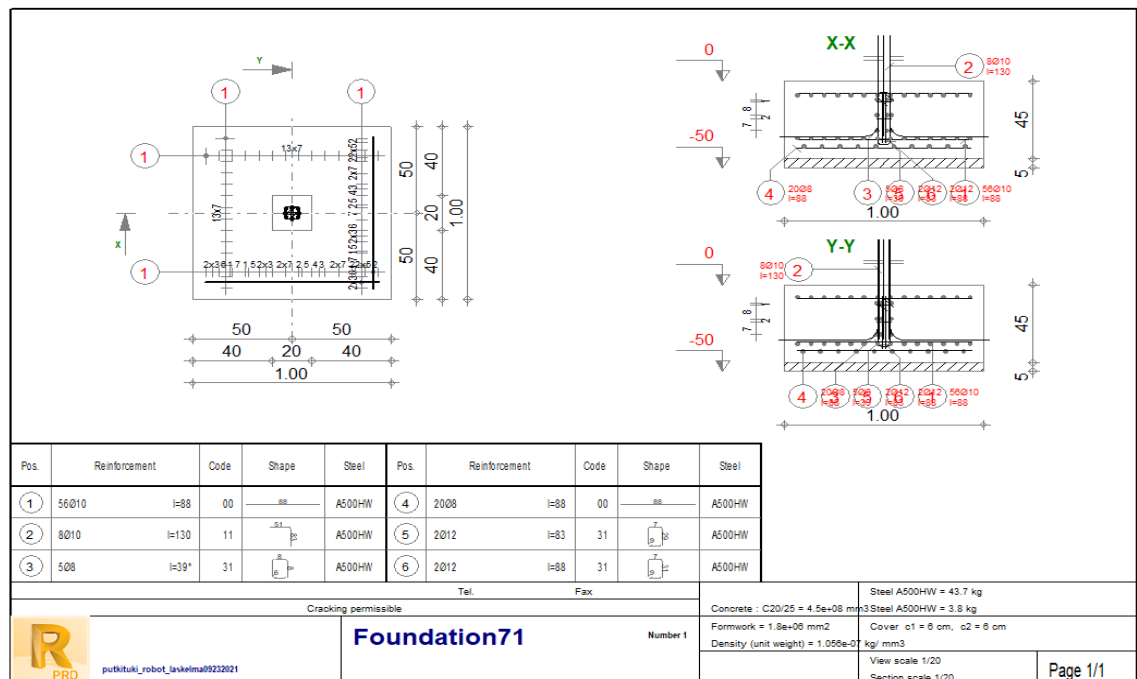
### 5.3.2 Betoniraudotteet Robotissa

Kaikille peruskappaleille ja jopa muutamia erikoistapauksia varten Robotista löytyy oma raudoitettun betonin suunnitteluosionsa (RC concrete design), jolla raudotteet pystytään laskemaan. Esimerkiksi teräspilareiden alapäihin eli rakenteiden tukiin pystyy tekemään automaattisesti betonijalustat ja niiden raudotteet (kuvio 13). Laattojen ja monien muidenkin betonirakenteiden raudituslaskelmat onnistuu tekemään samanlaista automatiikkaa hyödyntäen.



Kuvio 13. Rauditusnäkömää perustuksille Robot-ohjelmassa

Ohjelmalla voi lisäksi jopa luoda täysin valmiin valukappalepiirustuksen näille suunnitelluille betonikappaleille (kuvio 14). Piirustuksen tekeminen on myös kokonaan automatisoitu, tosin esimerkiksi mittaviivoja ja vastaavia voi muokata haluamalla tavalla piirustukseen jälkikäteen.



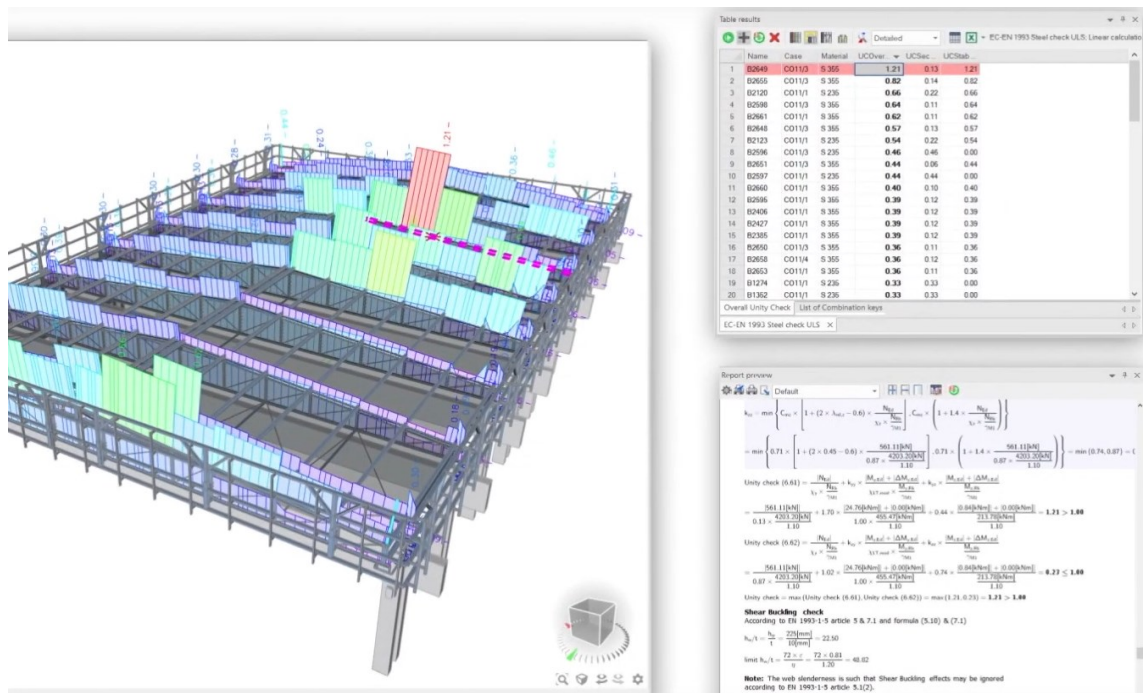
Kuvio 14. Final drawing näkömää Robot-ohjelmassa

Huonona puoleena RSA-ohjelmassa on se, ettei standardoitua IFC-muotoista tiedonsiirtotiedostoa pysty viemään ulos ohjelmasta suoraan. Tämän tekemiseen on käytettävä juuri aiemmin mainittua Revit-ohjelmaa.

## 5.4 Muut

Muita rakenneanalyysi ja -laskentaohjelmia on lukuisia. Näistä voitaisiin mainita juuri tämä Trimblen uusi Tekla Structural Designer, jonka ominaisuuksia olisi mielenkiintoista testata. Ehkäpä Tekla Structural Designeriin on lisätty opinnäyte-työssä mainittuja parannusehdotuksia, ja tällöin niitä ei tarvittaisi saada TS-ohjelmaan. Tosin Tekla Structural Designer on varsin uusi ohjelma, eikä sitä käytetä niin laajasti vielä kuin TS-ohjelmaa, joten toivottavasti näiden kahden ohjelman yhteensopivuus ja tiedonsiirto on kunnossa.

SCIA Engineer on myös eräs merkittävä rakennelaskentaohjelmisto. Se muistuttaa kattavuudeltaan Autodeskin Robot Structural Analysis Professional -ohjelmistoa, koska sillä onnistuu laajojen rakenteiden, kuten kokonaisten rakennuksien, monipuoliset rakenneanalyysit. Kuviossa 15 on esitetty SCIA:n käyttöliittymää.



Kuvio 15. SCIA Engineer -ohjelman käyttöliittymä on monipuolinen

## 6 Raudoitteiden mallintaminen

Automatisointi on pyrittävä tuomaan raudoitteiden mallintamiseen niin paljon kuin mahdollista. Kun ajatellaan betonikappaleita käytännön maailmassa, raudoitustankoja ja -verkkoja on yleensä erittäin suuri määrä jo pienissäkin kappaleissa. Yhdessä laatassa voi olla yhteensä jopa tuhansia raudoitustankoja, etenkin silloin, jos käytetään erillisiä raudoitustankoja eikä valmiita rauditusverkkojärjestelmiä. Jokaisen raudoitteen mallintaminen yksitellen käsipelillä ei täten ole mitenkään mahdollista eikä viisasta. TS:ssa tätä mallintamista helpotetaan erilaisilla työvälineillä kuten komponenteilla tai käyttäen rauditussettejä, mutta raudoitteet voidaan silti tehdä myös jokainen erikseen, jos näin halutaan.

Tässä luvussa tullaan perehtymään juuri näihin ohjelman sisäisiin työkaluihin, ja kuinka raudoitteet saadaan niillä mallinnettua. Lisäksi tutkitaan mitä ongelmia komponenttien käyttöön liittyy ja milloin niitä kannattaa käyttää muiden raudoitusten mallintamisen apuvälineiden sijasta.

### 6.1 Tekla Structures ja sen komponentit

Komponentit ovat TS-ohjelmassa raudoitteiden ja muiden automatisoitavien objektien tekemiseen luotuja työkaluja. Näitä työkaluja käytetään raudoituksien luomisen lisäksi myös itse mallinnuksessa ja mm. erilaisten liitännöiden tekemisessä. Ne ovat yksi TS-ohjelman käyttöliittymän kulmakivistä.

Raudituskomponentteja on lukuisia jokaista eri peruskappaletta varten. Kaikki niistä toimivat kuitenkin melko samalla tavalla määrittäen kuvion 10 mukaan raudoitteiden sijainnit ja lukumäärät kappaleiden sisään sekä etenkin betonipeitteiden mitat raudoitteiden ympärillä. Yleisimmin käytetyt raudituskomponentit on jaettu samalla tavalla kuten jokainen peruskappale. Joten laatalle on esimerkiksi olemassa yksi komponentti, joka luo automaattisesti laatan ala- ja yläpinnan rauditusverkot sekä toinen komponentti, jolla saadaan aikaan reunaraudat.



Paras ja käytännöllisin asia raudoituskomponenttien toiminnassa on se, että ne ovat täysin sidoksissa varsinaisten kappaleiden dimensioihin ja muotoihin. Mikäli palkkia esimerkiksi pidentää mitan  $x$  verran myös kappaleen sisäiset raudoitteet päivittyvät verraten tämän mitan sekä komponentissa määritettyjen asetusten mukaan. Toiset komponenteista ovat myös erittäin älykkäitä kuten juuri aiemmin mainittu laatan pääraudoitusverkkojen komponentti, joka ottaa huomioon automaattisesti laatussa olevien aukkojen ja muiden muodonmuutosten sijainnit.

Komponentteja kannattaa hyödyntää raudoitteita mallintaessa aina, kun se vain on mahdollista juuri niiden älykkyyden takia. On tosin monia tapauksia, milloin olemassa olevat komponentit eivät ole riittäviä haluttujen raudoitusten mallintamiseen, mikäli raudoitteiden muoto tai niiden järjestyminen on esimerkiksi epä säännöllistä. TS-ohjelma tosin sallii myös omien komponenttien luomisen sekä jo luotujen komponenteilla tehtyjen raudoitteiden ”räjäyttämisen” takaisin yksittäiseksi raudoituksiksi.

### 6.1.1 Mallinnuksessa olevat ongelmat

Pääasiallinen ongelma raudoituskomponenteilla raudoitteita mallintaessa on se, että mitään niihin syötettäviä alkutietoja ei saa tehtyä automaattisesti. Tiedot joutuu siis täyttämään nolatilanteesta täysin manuaalisesti kahlaamalla useista laskentaraporteista saatuja tietoja läpi. Raudoituslaskentaohjelmista saatuja tietoja ei täten hyödynnetä maksimaalisesti, sillä paras vaihtoehto olisi, että jo olemassa oleva laskentatieto saataisiin jotenkin syötettyä ohjelman sisäisiin komponentteihin. Tämä tekee raudoitteiden mallintamisesta erittäin hidasta ja hankalaa.

Laskutietojen niin sanottu irrallisuus varsinaisesta mallinnuksesta aiheuttaa myös ongelmia. Raudoitteita mallinnettaessa olisi hyvä tietää tiettyjä perusasioita, jotka laskennallisesti on määritetty näille teräsbetonikappaleille. Aiemmin Excel-tuloksia pohdittaessa huomatuksi sallittu minimi- ja maksimirauditusmäärä ovat niin sidoksissa mallintamiseen, että ei voi ymmärtää miksei TS-ohjelmaan ole jo linkitetty näitä tietoja jotenkin. Mallintamista ilman minkäänlaista ohjenuoraa näistä raja-arvoista ei voi pitää järkevänä.

### 6.1.2 Komponentit vai yksittäiset raudoitteet

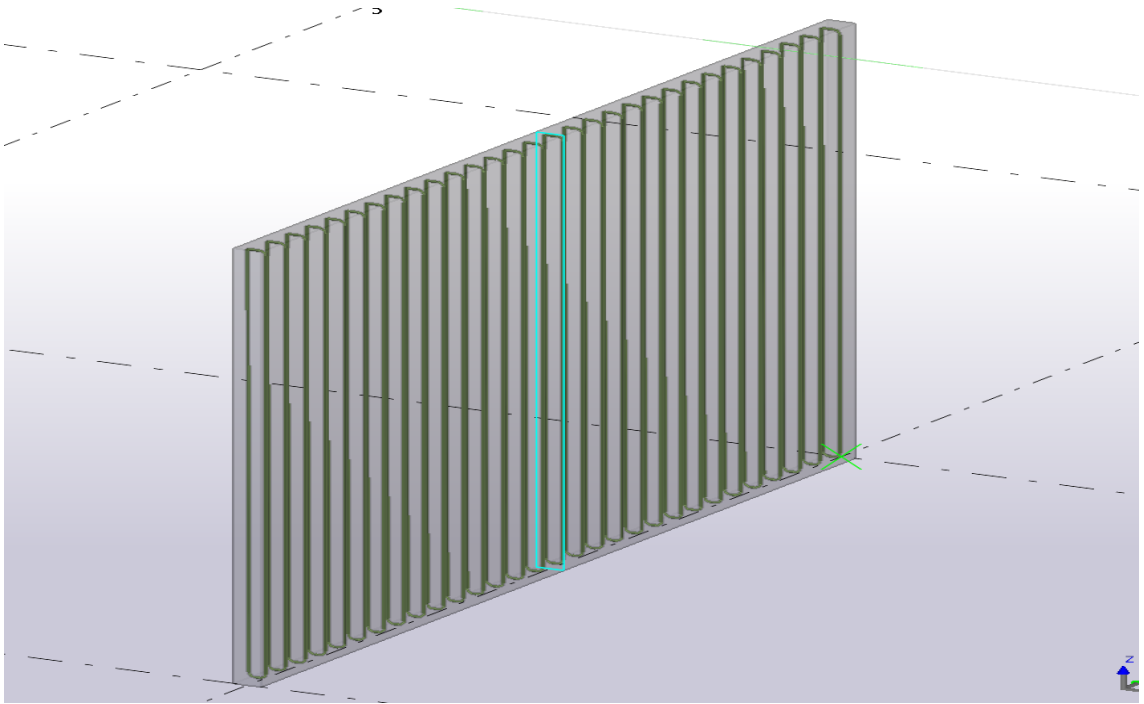
Vaikka yleensä on paras vaihtoehto käyttää raudoituskomponentteja, yksittäin tehtävät raudoitteet voivat olla joskus nopein vaihtoehto mallintaa betonikappaleiden teräkset. Mikäli ei tarvita mallintaa montaa raudoitetta kappaleeseen on yksittäiset raudoitteet aina hyvä vaihtoehto. Yksittäiset raudoitteet onnistuu myös ryhmittää yhtenäiseksi elementiksi, jos ne ovat kaikki samankaltaisia. Ryhmitykset toimivat siis samaan tapaan kuin miten yleensä laskennassa määritetään raudoitukset. Esimerkkinä palkin sivuraudoitteina toimivat 4T16 raudat voivat olla siis yhtenä neljän harjateräksen raudoiteryhmänä. Yksittäiset raudoitteet eivät yleensä toimi yhtä hyvin kappaleiden muodonmuutoksien kanssa kuin komponenteilla tehtyt raudoitteet, mutta raudoitukset voidaan mallintaa käyttäen molempia vaihtoehtoja.

### 6.1.3 Rebar group/Mesh

Tekla Structures -ohjelmassa ryhmitettyjä raudoitteita voi olla kahta eri tyyppiä. Normaalit lähes mitkä tahansa raudoitetangot, jotka ovat koottu yhdeksi ryhmäksi nimetään englanninkielisellä nimellä "rebar group" eli tavalliseksi raudoiteryhmäksi. Toinen vaihtoehto ryhmittää raudoitetangot on samalla lailla rakennustyömaallakin raudoitteita tehdessä eriävä rakenne eli raudoitusverkko ("mesh"). Raudoitusverkkoryhmän ryhmittely ja tekeminen perustuu yleensä enemmän pinta-alan mukaiseen määrittämiseen, sillä sen raudoituksia ei koskaan luoda yksittäin vaan ne määritetään kappaleen pitkäsuuntaisten raudoitteiden mukaan.

### 6.1.4 Rebar sets

Kolmas vaihtoehto raudoitteiden mallintamiseen on käyttää raudoitussettejä ("rebar sets"). Raudoitesetit ovat kätevä tapa luoda lähes minkä tahansa muotoiselle kappaleelle juuri kappaleen muotoa vastaavat raudoitteet koko kappaleen pituudelle. Kuviossa 16 on hahmoteltu tätä toimenpidettä.



Kuvio 16. Raudoitussettien määrittäminen

Hiiren kursoria siirtelemällä haluttuun raudoitettavaan kappaleeseen ilmestyy kuvion 16 mukainen vaalean sininen viiva, joka kuvaa automatiikalla tehtävän raudoitussetin mukaisen raudoituksen muotoa. Kun haluttu muoto on saatu, raudoitukset mallinnetaan vain yhdellä hiiren napautuksella koko kappaleen pituudelta samalla lailla, kuten kuviossa 16 on myös havainnollistettu.

## 7 Standardoidut laskelmatiedot

Mallitiedoista on jo olemassa standardoituja tiedostoformaatteja, joilla voidaan jakaa avoimena tiedonsiirtoformaattina kaikki 3D-objekteihin tallennettu informaatio. IFC-tiedostomuoto on yleisimmin tällainen käytetty tiedostonsiirtoformaatti. Mutta mitä kaikkea dataa IFC-tiedostoon voidaan todellisuudessa tallentaa? Onnistuuko siis betonirakenteita mallinnettaessa myös niihin mallinnettujen raudoitusten siirto vaivattomasti?

Standardiformaatteja on siis olemassa mallinnusta varten, mutta laskelmatietojen informaation tallennusta varten olisi myös hyvä olla standardoitu tiedostoformaatti.

### 7.1 IFC-formaatti

Betonikappaleiden dimensiot ja ominaisuudet voidaan IFC-tiedostomuotoa hyväksi käyttäen siirtää suhteellisen helposti ohjelmien välillä. Perustava ongelma tämän tiedoston käytössä TS-ohjelmassa on sama kuin kaikkia muitakin ulkopuolisia tiedostomuotoja hyödynnettäessä eli tiedoston sisältö tulee näkyville Teklassa vain referenssiedostona. Tämä tarkoittaa, ettei referenssinä olevia 3D-objekteja pysty mitenkään muokkaamaan ohjelmalla, joten esimerkiksi teräsprofiilien muuttaminen I-profiileista RHS-putkiksi on mahdotonta.

Aiempaan pulmaan Tekla Structuresissa on kehitetty "Convert IFC objects" toiminto, joka muuntaa IFC:n sisäiset referenssiobjektien tiedot TS-ohjelman sisäiseksi natiiviobjekteiksi. Esimerkiksi betonikappaleiden tapauksessa IFC-tiedostossa määritetyistä pilareista ja laatoista tulee todella tällä toiminnolla varsinaisia pilari ja laatta kappaleita, sisältäen kaikki aiemmin määritetyt ominaisuudet.

Kappaleiden raudoitustiedot onnistuu myös tallentamaan IFC-tiedostoon. Laskentaohjelmista saadut raudoitelaskelmatiedot olisi siten mahdollista välittää suoraan IFC-formaatin sisäisenä tietona. Sitä miksei tätä ominaisuutta käytetä huomattavasti enemmän hyödyksi on kummallista, sillä ominaisuus ei ole edes kovin

hyvin kaikkien tiedossa. TS-ohjelma ei tosin salli tällä hetkellä samantapaista raudoituskerästen muuntaa ohjelman omiksi natiiviobjekteiksi, kuten muille kappaleille on mahdollista tehdä.

### 7.1.1 Tekla Developer Awards 2019: IFC Rebar Converter

Trimblen järjestämässä Tekla Structures -ohjelman kehityskilpailussa (Tekla Developer Awards) vuonna 2019 oli eräs osallistuja, joka kehitti työkalun juuri raudoitteiden IFC-muunto-ongelmaa varten. Sovellus on italialaisen Harpaceas yrityksen Osvaldo Marianin, Gianni Lanzillon ja Giorgio De Lorenzin suunnittelema.

Sovellus auttaa kattamaan juuri laskentaohjelman ja rakenneteknisen BIM mallinnusohjelman Tekla Structuresin välistä raudoitteiden IFC-konvertointiongelmaa. Laskentaohjelmana sovelluksen kehityksessä on käytetty italialaista ModeSt-ohjelmaa, josta raudoitteiden IFC-tiedoston pystyy exportoimaan. Tuomalla tämän IFC-tiedoston TS-ohjelmaan ja käyttämällä tätä yrityksen tekemää IFC Rebar Converter -työkalua, raudoitteet voidaan tuoda mallinnuksen puolelle sellaisenaan. Raudoitukset pysyvät jopa samalla lailla ryhmiteltynä kuin, mitä TS-ohjelmassa ne ovat ryhmitelty. Joten esimerkiksi hakaraudat ovat omana ryhmänä objektien sisällä, siten kuin ne olisi mallinnettu TS-ohjelmalla. Näin työskentelyä voi jatkaa suoraan ilman harjaterästen mallintamista, eikä niitä tarvitse tehdä uudelleen tyhjältä pohjalta. Tämä säästää todella paljon aikaa ja ominaisuus on niin loistava ratkaisu, että se tulisi tuoda TS-ohjelmaan yleisesti käytettäväksi perusominaisuudeksi.

## 7.2 AHC-formaatti

Jos käytetyt laskentaohjelmat eivät perustu 3D-mallien käyttöön, IFC-tiedostomuotoisen tiedoston exportointi ei yleensä ole mahdollista. Näissä tapauksissa toisena vaihtoehtona voisi olla uudenlaisen standardoidun tiedostoformaatin määrittäminen. Tätä formaattia voitaisiin kutsua AHC-formaatiksi eli Automated Handover Calculations tai tuttavallisesti "Antti Heiskanen calculations". Tiedostoformaatti perustuisi laskentatiedoista saatujen raudoitustietojen järjestämiseen

aina samalla lailla eri kappaleille. Varsinainen tiedostomuoto voisi olla luvussa 4.4.1. määritetty tekstitiedosto.

Koska AHC-formaatin tiedot olisi standardoitu, niissä olevat tiedot voitaisiin järjestää jotenkin myös importoitavaksi IFC-tiedostoon. Tällöin IFC ja AHC -tiedostomuodot toimisivat rintarinnan ja AHC toimisi niin sanotusti IFC:n lisäosana.

## 8 Tulos

Lopputuloksena laskentatietojen vienti digitaalisena informaationa Tekla Structuresiin ei olisi mitenkään mahdotonta ratkaista. Kuten omasta Excel-laskentapohjasta ja muista vertailtavista laskentaohjelmista voidaan havaita, vaikka itse peruskappaleilla tehtävä laskenta olisi monimutkaista, ei raudoitteiden mallintamisessa tarvittu tiedot kuitenkaan yleensä ole mitenkään erityisen mutkikkaita. Jokaisella peruskappaleella tarvittujen raudoitteiden määrittävät tiedot voisi hyvin kasata yhdeksi standardoiduksi tiedonsiirtopaketiksi; esimerkiksi tekstitiedostoksi.

Kaiken kaikkiaan IFC-tiedostoformaatin parempi hyödyntäminen myös raudoitteita mallinnettaessa olisi ihanteellinen vaihtoehto. Jos TS-ohjelmaa kehitettäisiin, kuten aiemmin mainitulla IFC Rebar Converter -työkalulla on tehty, ei raudoitteiden mallintamista tarvitsisi edes oikeastaan tehdä laisinkaan. Tällöin kaikki tiedot saataisiin suoraan laskennan puolelta ja mallintaminen olisi täysin automatisoitu. Mikäli IFC-tiedostoformaatin tiedonvälitysoperaatio ja konvertointi toimisi lisäksi toiseen suuntaan eli TS-ohjelmissa tehtävien muutosten päivittyessä laskentaohjelman puolelle, ei raudoitteita mallinnettaisi enää koskaan ilman suoraa linkitystä niiden laskentatietoihin.

## 9 Johtopäätökset

BIM-tietomallinnus kehittyy koko ajan hurjaa vauhtia ja mallinnuksen informaatiota hyödynnetään jo jopa työmaalla lähtien esimerkiksi virtuaalisen todellisuuden laseja hyödyntämällä. Ei tulisi siis unohtaa liittää mallien tietokantoihin myös kaiken rakentamisen peruskivenä toimivaa rakenteiden laskentatietoa. Vain erittäin harvoin kaikki laskentatulokset tehdään yhdellä kertaa koko rakenteelle, joten tiedonvälityksen tärkeys kaikkien projektin osapuolien välillä on tärkeää. Rakenteille kesken projektia tehtävät muutokset tulisi olla vaivatonta päivittää tietomalliin ja etenkin muutoksien siirto aina laskentatietoihin asti tulisi tapahtua suoraan automaattisesti. Visuaalisesti mallista nähtävä laskentatietojen puute tulisi olla myös mahdollista. Mallintaminen ilman minkäänlaista linkitystä laskennan puolelle ei ole tätä nykyä järkevää.

Sillä millä tavalla laskentatulokset saadaan jaettua kaikkien käytettäväksi ei ole niinkään väliä, kunhan ne ovat jotenkin 3D-maailmassa nähtävissä ja aina samaan tapaan tehtynä. Irrallinen tiedosto laskentainformaation tallennukseen on vain yksi vaihtoehto. Toinen vaihtoehto on kehittää rakennemallinnus ja -laskelmaohjelmia yhtenäisempään suuntaan, kuten RSA-ohjelmassa on tehty, ettei ole erillisiä ohjelmia joilla tehdään pelkästään rakennelaskelmia. Tällöin rakenteiden suunnittelun kaikki asiat, niin laskennasta lopullisiin piirustuksiin lähtien, tehdään samalla ohjelmalla yhteneväisenä työskentelyketjuna.

Laskelmista saatujen tietojen standardoitu vientidata ei hyödyttäisi pelkästään TS-ohjelman toimintaa, vaan sillä voisi tulevaisuudessa olla merkittäviä vaikutuksia, jopa pelastaen ihmishenkiä, laskelmien varmentuessa automatisaation lisääntyessä. Virheellisesti tehtyjen rakenteiden yksi syy on nimittäin juuri inhimillinen tekijä. Jos inhimillisen tekijän vaikutusta saadaan jollakin konstilla vähennettyä, se on aina hyvä asia. Tämän lisäksi yhdenmukaistunut vientidata avaa uusia kehittämismahdollisuuksia ja ominaisuuksia myös moniin muihin tarkoituksiin ja ohjelmiin, ei siis pelkästään TS:iin. Pelkät laskentaohjelmista tulostettavat ”paperiset” tiedot eivät vaan ole enää riittäviä näin digitaalisena aikana, vaan tarvitaan ongelmattomasti uudelleenkäytettävää informaatiota.



## Lähteet

By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2013 – Osa 1. 3. korjattu painos 2019. Suomen Betoniyhdistys ry.

By 211. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014 – Osa 2. 2. painos 2016. Suomen Betoniyhdistys ry.

Calculationtools.com. Saint-Gobain Finland Oy, Isover, Gyproc, Weber. Verkkosivusto. <<https://www.calculationtools.com>>. Luettu 20.10.2021.

Elementtisuunnittelu. Betonia Oy. Verkkosivusto. <<https://www.elementtisuunnittelu.fi>>. Luettu 20.10.2021.

Example: Convert IFC objects into Tekla Structures objects at one go. Verkkodokumentti. Trimble product guides. <[https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2021/int\\_ifc\\_example\\_converting\\_ifc\\_objects](https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2021/int_ifc_example_converting_ifc_objects)>. Luettu 20.10.2021.

Kangasniemi, Panu. 2017. Betoniseinän mitoitus, Ohjeet mitoitusaulukoiden käyttöön. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

SFS-EN 1990, Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet.

SFS-EN 1991, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat.


SFS-EN 1992-1-1, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

SFS-EN 206 Betoni. Osa 1: Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. 2013.

Tekla Developer Awards 2019: IFC Rebar Converter. Verkkodokumentti. <<https://developer.tekla.com/documentation/tekla-developer-awards-2019-ifc-rebar-converter>>. Päivitetty 1.11.2019. Luettu 20.10.2021.

Tekla Structures for Rebar Detailing. Trimble. Webinaari. <<https://www.tekla.com/about/webinars/video/design-detail-document-and-deliver-reinforced-concrete-structures-more>>. Katsottu 20.10.2021

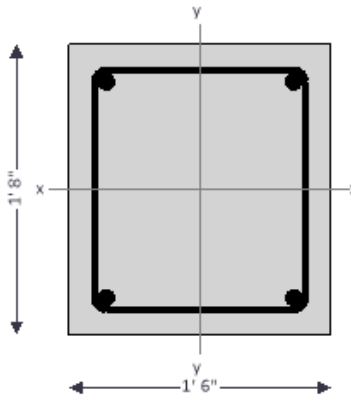
## Liite 1: Tekla Tedds käyttöliittymä

		Project				Job Ref.	
		Section				Sheet no./rev.	
Calc. by	Date	Chk'd by	Date	App'd by	Date		
X	18.10.2021						

**RC RECTANGULAR COLUMN DESIGN (ACI318-14)**

Tedds calculation version 2.2.03



4 x No. 9 longitudinal bars

No. 4 ties @ 6 in c/c

**Applied loads**

Ultimate axial force acting on column	$P_{u,act} = 5$ kips
Ultimate moment about major (X) axis	$M_{uX,act} = 3$ kips_ft
Ratio of DL moment to total moment	$\beta_u = 0.600$

**Geometry of column**

Depth of column (larger dimension of column)	$h = 20.0$ in
Width of column (smaller dimension of column)	$b = 18.0$ in
Clear cover to reinforcement (both sides)	$c_c = 1.5$ in
Unsupported height of column about x axis	$l_{ux} = 10.0$ ft
Effective height factor about x axis	$k_x = 1.00$
Column state about the x axis	Braced
Unsupported height of column about y axis	$l_{uy} = 10.0$ ft
Effective height factor about y axis	$k_y = 1.00$
Column state about the y axis	Braced

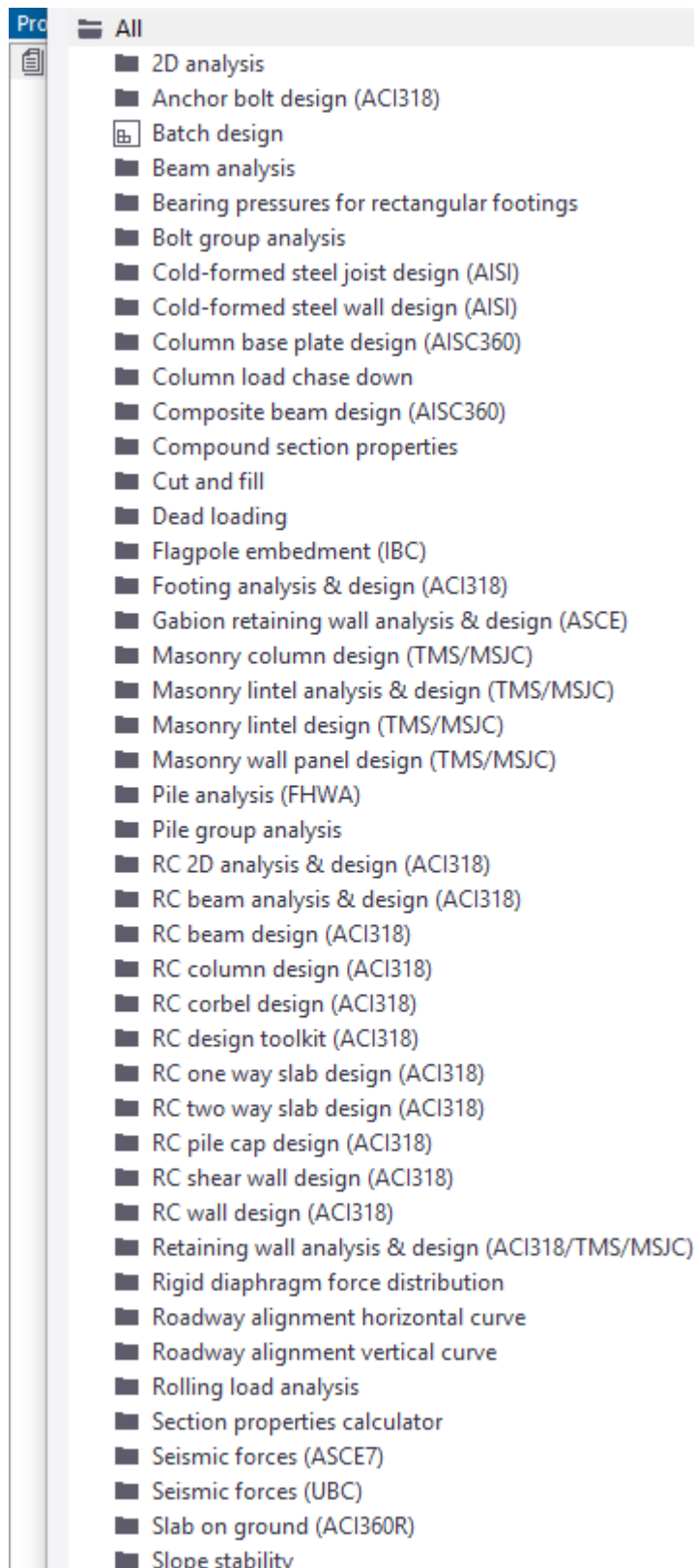
**Check on overall column dimensions**

*Column dimensions are OK -  $h < 4b$*

**Reinforcement of column**

Numbers of bars of longitudinal steel	$N = 4$
Longitudinal steel bar diameter number	$D_{bar,num} = 9$
Diameter of longitudinal bar	$D_{long} = 1.128$ in
Stirrup bar diameter number	$D_{stir,num} = 4$
Diameter of stirrup bar	$D_{stir} = 0.500$ in
Specified yield strength of reinforcement	$f_y = 60000$ psi
Specified compressive strength of concrete	$f'_c = 4000$ psi

Kuva 1. Tekla Tedds:n käyttöliittymä perustuu paperisiin raportteihin



Kuva 2. Tekla Tedds:llä onnistuu erittäin monipuolinen laskenta

## Liite 2: Oman Excel-laskentapohjan ulkoasu kokonaisuudessaan

Valitse kappale: Palkki Valitse kieli: Suomi

käsinsyötettävä alkuarvo  
 valittu arvo (aina toinen väreistä)  
 arvo tai tarkistus on ok  
 arvossa tai tarkistuksessa on jotain vialla  
 HUOM! Alä lisää tai poista solureiviä. Koodaus ei toimi sen jälkeen.

MATERIAALIARVOT:	Arvo	Yksikkö	Huomio
Betoni: C30 / # ominaispuristuslujuus $f_{ck}$	30	N/mm <sup>2</sup>	
maksimirakokko $r_{ak}$	16	mm	
osavamuusluku $\gamma_c$	1,5		
puristuslujuuskerroin Suomessa $\alpha_{cc}$	0,85		
Teräs: A500w mitoituslujuus $f_{yk}$	500	N/mm <sup>2</sup>	
osavamuusluku $\gamma_s$	1,15		
Materiaalien mitoitusarvot $f_{ed} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c$	17	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	434,8	N/mm <sup>2</sup>	
$f_{cm}$	38,0	MPa	
Betonin keskimääräinen vetolujuus $f_{ctm}$	2,9	MPa	≤ C50/60
		MPa	> C50/60
Betonin vetolujuus (5% fraktiili) $f_{ctk,0.05}$	2,0	MPa	
Normaalin betonin tiheys $\rho_{beton, norm}$	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Raidoitettun betonin tiheys $\rho_{beton, raud}$	2500	kg/m <sup>3</sup>	

VALITTU KAPPALE ON -> Palkki

**TAPAKSEN YKSINKERTAISTUS:**

- Palkki on yksiaukkoinen
- Palkkia kuormittaa yleisimmin sen päällä oleva laatta ja palkki on tukeutunut molemmista päistä pilareihin
- Kuormittava laatta on ontelolaatta, mutta syöttämällä kuormituksen itse se voi olla mikä tahansa
- Pilarit palkin molemmissa päissä ovat nelimäiset
- Kuormitusyhdistelmistä käytetään murtorajan joko pysyvässä tai keskipitkää aikaluokkaa
- Pysyvistä kuormista ei huomioida laskentaan edullisia arvoja
- Onnettomuus- tai palomitoitusta ei huomioida, joten ne on tarkastettava jälkikäteen
- Raidoitteet ovat betoniteräksiä ei jänneteräksiä ( $\rightarrow c_{min, dur}$ )

Laskelmat perustuvat näihin oletuksiin.

DIMENSIOT:	Arvo	Yksikkö	Huomio
Palkin pituus $L_1$	4200	mm	
Palkin leveys $b = b_w$	280	mm	
Palkin korkeus $h$	480	mm	

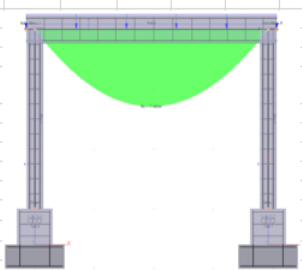
**ALKUTIEDOT RAUDOITTEILLE (laskennan lähtökoh)**

Arvo	Yksikkö	Huomio
Pääraudoitusmäärä $n$	2	kpl
Pääraudoituksen koko, halkaisija $\phi_{RF}$	20	mm
Leikkausraudoituksen koko, halkaisija $\phi_s$	8	mm (haat)

**KUORMITUKSET:**

Arvo	Yksikkö	Huomio
Laatan aiheuttamat kuormat palkin päällä $Q_{k, laatta, yht}$		kN/m <sup>2</sup>
Laatan päällä oleva tasainen hyötykuorma $Q_{k, m^2}$	2,5	kN/m <sup>2</sup>

Laatan päällä oleva kuormitus halutaan syöttää täysin itse, voidaan tämä arvo syöttää suoraan ja laatan laskut jätetään huomioimatta. **HUOM! Muuten jätettävä**



© Antti M. Heiskanen 2021

Alkuarvot | Palkki | Vienti | +

Kuva 1. Excel-pohjan Alkuarvot-sivu

PALKIN LASKELMAT				
		Arvo	Yksikkö	Huomio
<b>PALKIN PÄÄLLÄ OLEVA LAATTA:</b>				
Laatan pituus	$L_2 =$	5500	mm	Laatan leveys on palkin pituus
Ontelolaatan paino (saumattuna) per neliömetri	$m_{ontelolaatta} =$	510	kg/m <sup>2</sup>	
Pintavalun korkeus ontelolaatan päällä	$h_{pintavalu} =$	100	mm	
Tukipalkkien lukumäärä laatan alla	$n_{palkki} =$	2	kpl	Kuva palkista sivussa
Laatan yhteispinta-ala	$A_{laatta} = (L_1 + L_2)/1000000 =$	23,1	m <sup>2</sup>	
Ontelolaaston omapaino	$m_{ontelolaatta} = A_{laatta} * m_{ontelolaatta} =$	11781	kg	
Pintavalun tilavuus	$V_{pintavalu} = A_{laatta} * h_{pintavalu} * n_{palkki} =$	2,31	m <sup>3</sup>	
Pintavalun paino	$m_{pintavalu} = V_{pintavalu} * \rho_{betoni} =$	5775	kg	
Laatan paino yhteensä	$m_{laatta} = m_{ontelolaatta} + m_{pintavalu} =$	17556	kg	
Laatan omapaino voimana	$G_{k,laatta} = m_{laatta} * g =$	172,2	kN	
Laatan omapaino per neliömetri	$G_{k,laatta,m^2} = G_{k,laatta} / A_{laatta} =$	7,46	kN/m <sup>2</sup>	
Muut kuormat laatan päällä	$G_{k,muut} =$	0,8	kN/m <sup>2</sup>	Esimerkiksi kevytrakenteiset väliseinät laatan päällä
Laatan aiheuttamat kuormat palkin päällä	$G_{k,laatta,yht} = G_{k,laatta,m^2} * L_2 + G_{k,muut} * L_2 =$	8,26	kN/m	Jos palkin päällä oleva kuormitus syötetään itse (alkuvaroissa) tätä arvoa ei huomioida
<b>KUORMIEN LASKENTA:</b>				
Palkin omapainon voima per metri valituilla mitoilla	$G_{k,palkki} = (L_1 + b + h + \rho_{betoni} * L_2 * g) / L_1 =$	3,30	kN/m	
Yhtein palkkiin kohdistuvat kuormat	$G_k = (G_{k,laatta,yht} + (L_2/1000) * G_{k,palkki}) * n_{palkki} =$	26,0	kN/m	
	$Q_k = (Q_{k,m^2} + L_2/1000) * n_{palkki} =$	6,3	kN/m	
Pysyvän kuorman j osavarmuusluku laskettaessa mitoitusarvon ylärajaa	$\gamma_{G,super} =$	1,35		Tarkastettava kansallisesta liitteestä
Pysyvän kuorman j osavarmuusluku laskettaessa mitoitusarvon alarajaa	$\gamma_{G,inf} =$	1,15		Tarkastettava kansallisesta liitteestä
Muuttuvien kuormien Q osavarmuusluku	$\gamma_Q =$	1,5		Tarkastettava kansallisesta liitteestä
<b>KUORMAT JA KUORMITUSYHDISTELMÄT:</b>				
Valitaan kuormituksesta suurin määrääväksi:				
Murtorajattilan mitoituskuormat	$P_{ed} = K_{r1} * \gamma_{G,super} * G_k + P_{ed} =$	35,1	kN/m	
Pysyvä aikalukka	$P_{ed} = K_{r1} * \gamma_{G,super} * G_k + \gamma_Q * Q_k =$	40,2	kN/m	<b>määräävä kuorma</b>
Keskipitkä aikalukka	$P_{ed} = K_{r1} * \gamma_{G,super} * G_k + \gamma_Q * Q_k =$	40,2	kN/m	
<b>BETONIPEITE:</b>				
Ympäristöluokan vaatima vähimmäisarvo vaatimus	$c_{min,dur} =$	5	mm	
Betonipeitteen minimiarvo	$c_{min} = \max(c_{min,b}, c_{min,dur} + 10) =$	20,0	mm	
Betonipeitteen sallittu mittapokkeama	$\Delta c_{dev} =$	10	mm	
Betonipeitteen nimellisarvo	$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} =$	30,0	mm	
<b>MURTORAJATTILAN MITOITAVA TAIVUTUSMOMENTTI:</b>				
Pilarin leveys palkin suunnassa	$L_{pilarin} = b =$	280,0	mm	Pilarin leveys vaikuttaa palkin momentissa olevaan L pituuteen -> palkin puolikas vähennettävä molemmista päistä
Taivutusmomentin mitoitusarvo	$M_{Ed} = (P_{ed,murtorajattila} * (L_1 - L_{pilarin})^2) / 8 =$	77,2	kNm	
<b>POIKKILEIKKAUKSEN TEHOILLINEN KORKEUS:</b>				
Valitaan alemmista e-lavoista suurempi:				
Etäisyys palkin alareunasta	$e_1 = \max(1,1 * \phi_{palkki} * c_{min,dur} + \Delta c_{dev} + 1,1 * \phi_{palkki} / 2 =$	43	mm	Raudotteet eivät tule suoraan betonipeitteen nimellisarvon mitan verran reunasta, vaan leikkiausraudotus ja muut asiat huomioidaan
	$e_2 = \max(1,1 * \phi_{palkki} * c_{min,dur} + \Delta c_{dev} + 1,1 * \phi_{palkki} + 1,1 * \phi_{palkki} / 2 =$	38,6	mm	
Poikkileikkauksen tehollinen korkeus	$d = d_{eff} = h - e_1 =$	437,0	mm	
<b>PALKIN VAADITTAVAN LEVEYDEN TARKISTAMINEN:</b>				
Päätterysten vapaa väli	$e_{sv} = (b - 2 * e - n_{sv} * \phi_{palkki}) / n_{sv} =$	174,0	mm	Jossa nsv (vapaiden välien lkm) = n - 1
Päätterysten vapaan välin minimiarvo	$e_{sv,min} = \max(\phi_{palkki}, raeokko + 3mm, 20mm) =$	20,0	mm	
Tarkistetaan päätterysten vapaaväli:	$e_{sv} \geq e_{sv,min}$	OK		
Etäisyys palkin sivusta	$e = e_1 =$	43,00	mm	Betonipeitteen aiheuttama etäisyys palkin ympärillä kaikilla puolilla sama
Päätterysten koko	$T = \phi_{palkki} =$	20,0	mm	
Palkin vaadittu leveys	$b_{vaad} = 2 * e_1 + (n - 1) * (T + e_{sv,min}) =$	126,0	mm	
Tarkistetaan riittääkö palkin valittu leveys	$b \geq b_{vaad}$	OK		
<b>PÄÄRAUDOITUKSEN LASKENTA:</b>				
Palkin suhteellinen momentti	$\mu = M_{Ed} / (b * d_{eff}^2 * f_{cd}) =$	0,08497		
Ei ylitäraudoitettu, kun $\mu_1 < 0,358$	$\mu < 0,358$	EI YLITÄRAUDOITETTU		
<b>PURISTUSPINNAN SUHTEELLINEN KORKEUS:</b>				
Prosentuaalinen puristusjännitysalue	$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 * \mu} =$	0,08892		
<b>PÄÄRAUDOITUS MEKAANISEN RAUDOITUSSUHTEN AVULLA:</b>				
Palkin mekaaninen raudoitussuhde	$\omega = \beta =$	0,08892		
Tarvittava pääraudoitus	$A_{s,vaad} = \omega * b * d_{eff} * f_{cd} / f_{yk} =$	425,4	mm <sup>2</sup>	
<b>MINIMIRAUDOITUKSEN TARKISTAMINEN:</b>				
Valitaan alemmista pinta-ala-arvoista suurempi määrääväksi:				
Vähimmäisraudoituksen pinta-ala	$A_{s,min(1)} = 0,25 * f_{ctm} / f_{yk} * b * d_{eff} =$	184,3	mm <sup>2</sup>	<b>määräävä minimiraudoitusmäärä</b>
Vähimmäisraudoituksen pinta-ala	$A_{s,min(2)} = 0,0013 * b * d_{eff} =$	159,1	mm <sup>2</sup>	
Onko $A_{s,vaad} > A_{s,min,max(1,2)}$	$A_{s,vaad} > A_{s,min,max(1,2)}$	RAUDOITUSTA ON TARPEEKSI		
<b>RAUDOITUKSEN SJOITTELU:</b>				
Yhden pääraudan pinta-ala	$A_{s1} = \pi * (\phi_{palkki} / 2)^2 =$	314,2	mm <sup>2</sup>	
Pääraudoituksen yhteenlaskettu pinta-ala	$A_s = A_{s1} * n =$	628,3	mm <sup>2</sup>	
Toteutunut mekaaninen raudoitussuhde	$\omega_1 = \beta_1 = (A_s / (b * d_{eff})) * f_{yk} / f_{cd} =$	0,13133		
Toteutunut suhteellinen momentti	$\mu_1 = \omega_1 * (1 - \omega_1 / 2) =$	0,12271		
Ei ylitäraudoitettu, kun $\mu_1 < 0,358$	$\mu_1 < 0,358$	EI YLITÄRAUDOITETTU		
<b>KESTÄVYYS VALITUILLA PÄÄTERAKSILLA / TAIVUTUSMITOITUS:</b>				
Rakenteen taivutuskestävyys	$M_{R,d} = \mu_1 * b * d_{eff}^2 * f_{cd} =$	111,5	kNm	
Suurin kuormitus minkä kestäää	$P_{R,d} = (M_{R,d} * 8) / (L_1 / 1000 - b / 1000)^2 =$	58,1	kN/m	
Tarkistetaan kestääkö vai ei:	Onko $M_{Ed} > M_{R,d}$	KESTÄÄ		
	Onko $P_{Ed} > P_{R,d}$	KESTÄÄ		

Kuva 2. Palkin laskelmat sivu 1

PALKIN LEIKKAUSVOIMAN LASKUT:		Arvo	Yksikkö	Huomio
Leikkausvoiman maksimiarvo	$V_{d,max} = (P_{d,max} + (L_1 - L_{pilarit}))/2 =$	78.8	kN	
Leikkauskapasiteetin maksimiarvo	$V_{d,max} = 0.5 * b * d_{eff} * v * f_{ctd} =$	549.2	kN	
Mitoitava leikkausvoima	$V_{ed} = V_{d,max} - ((L_{pilarit}/2) + d_{eff}) * P_{d,max} =$	55.6	kN	Leikkausvoima on molemmilla tuilla sama
<b>Leikkausvoiman maksimiarvo ei saa ylittää leikkauskapasiteetin maksimiarvoa missään kohtaa rakennetta eli <math>V_{ed,max} &gt; V_{d,max}</math> Tarkistetaan tämä seuraavaksi: OK</b>				
<b>MINIMILEIKKAUSRAUDOITUKSEN LEIKKAUSKESTÄVYYYS:</b>				
Arvo	$C_{d,c} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 =$	0.12		
Kerroin k	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_{eff}}} \leq 2.0$	1.7		
Tarkasteltavan poikkileikkauksen ulkopuolelle ulottuva vetoraudoitus etäisyydellä $(l_{ud} + d_{eff})$	$A_{s1} = A_s =$	628.3	mm <sup>2</sup>	
Mekaaninen rauditusuhde	$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w * d_{eff}} =$	0.005135		
Leikkauskapasiteetti ilman leikkausraudoitusta	$V_{Rd,c} = [C_{d,c} * k + k * (100 * \rho_1 * f_{ctd})^{1/3}] * b * d_{eff} =$	61.3	kN	
<b>Tarvitaanko leikkausraudoitusta</b>				
eli onk $V_{ed} < V_{Rd,c}$ ?	Tarkistet EI TARVITA LEIKKAUSRAUDOITUSTA			
<b>Jos tarvitaan erillinen leikkausraudoitus, tulee laskea seuraavat asiat:</b>				
Pienennyskerroin minimiarvo	$V_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ctd}^{1/2} =$	0.4		Leikkausraudoitusmitoitukset tehdään oletuksella, että käytetään pystysuoria tankoja eli hakoja.
Leikkausraudoittamattoman leikkauksen minimi	$V_{Rd,c,min} = V_{min} * b_w * d_{eff} =$	50.9	kN	
Onk $V_{ed} > V_{Rd,c,min}$ ?	LEIKKAUSKAPASITEETIN MINIMIARVO TÄYTTYY			
<b>Voidaanko mitoitaa arvolla <math>V_{ed} &gt; V_{Rd,c,min}</math> OK</b>				
Leikkausraudoitetun poikkileikkauksen kestävyys	$V_{Rd,s} = A_{sw} / s_{valettu} * z + f_{ywd} * \cot \theta =$	148.7	kN	Leikkauskapasiteetin väri muuttuu (nivi T14) sen mukaan kumpi määräävä: leikkausraudoitetun poikkileikkauksen vai betonin puristusmurron kestävyys.
Toimiko ylempi arvo leikkauskapasiteettina eli onk $V_{ed,s} < V_{Rd,max}$ ?	Tarkistetaan tämä seu KYLLÄ ELI LEIKKAUSRAUDOITETUN POIKKILEIKKAUKSEN KESTÄVYYN MÄÄRÄÄVÄ			
<b>Vaaditulla minimileikkausraudoituksella saavutetaan riittävä leikkauskestävyys, kun edellä selvitetty leikkauskapasiteetti tai eli</b>				
$V_{ed,max} > V_{ed}$ .	Tarkistetaan tämä seu OK			
<b>RAKENTEEN PURISTUSMURTOTARKISTUS:</b>				
Pienennyskerroin	$v = 0.6 * (1 - f_{ck}/250) =$	0.53		
Esjännetykset huomioiva kerroin	$\alpha_{cw} =$	1		
Betonin puristusmuutokestävyys	$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v * f_{ctd}}{\cot \theta + \tan \theta} / 1000 =$	353.9	kN	
<b>Annetuista kuormista syntyyä leikkausvoima tulee olla pienempi kuin betonin puristusmuutokestävyys eli <math>V_{ed,max} &gt; V_{Rd,max}</math> Tarkistetaan tämä seuraavaksi: OK</b>				
<b>MINIMILEIKKAUSRAUDOITUKSEN MITOITUS:</b>				
Mekaanisen rauditusuhteen minimiarvo	$\rho_{w,min} = (0.08 * \sqrt{f_{ctd}}) / f_{yk} =$	0.00088		
Mekaaninen rauditusuhde	$\rho_w = A_{sw} / (s_{valettu} * b_w) =$	0.0012		
<b>Tarkistetaan rauditusuhteen sopivuus: OK</b>				
Valitun leikkausraudoituksen poikkipinta-ala (2 kpl)	$A_{sw} =$	100.5	mm <sup>2</sup>	
Leikkausraudoituksen jakoväli	$s = A_{sw} / (b_w * \rho_{w,min}) =$	409.7	mm	
minimileikkausraudoitusuhteen kautta	$s_{max} = 0.75 * d_{eff} =$	327.75	mm	
Hakojen maksimijakoväli	<b>ja mikä on määrävään jakovälin mitta?</b>	327.75	mm	
<b>Kumpi on määrävään jakoväli: Hakojen maksimijakoväli</b>				
Valitaan sopiva arvo:	$s_{valettu} =$	300	mm	Valittu s arvo tulee syöttää käsin vertaamalla määrävää jakovälillä. Valittu arvo tulee tietenkin olla vähemmän kuin saatu määrävää jakoväli!
Sisäinen momenttivarsi	$e = (1 - \beta_1/2) / \theta_{eff} =$	408.3	mm	
Puristusdiagonaalien kulman kotangenti	$\cot \theta =$	2.5		
Leikkausraudoituksen laskentalujuus	$f_{ywd} =$	434.8	N/mm <sup>2</sup>	
<b>ANKKUROINNIN MITOITUS:</b>				
<b>Koska palkin tuet ovat vapaita, joiden kohdassa momentti on nolla -&gt; ei tarvita ottaa ankkuroinnissa huomioon momentin aiheuttavaa vetovoimaa.</b>				
Alfa-arvon kotangenti	$\cot \alpha =$	0		Mikäli leikkausraudoituksen käytetään pystyhakoja, tämä arvo on nolla
Leikkausvoimasta aiheutuva lisävetovoima	$\Delta F_{td} = 0.5 * V_{ed} * (\cot \theta - \cot \alpha) =$	69.5	kN	
Yhden valitun pääteräksen vetovoimakestävyys	$F_{Rd,rand,koko} = (A_{st} * f_{yk}) / 1000 =$	136.6	kN	
Ankkuroitava vähintään	$\Delta n_{ankkuri} = \frac{\Delta F_{td}}{F_{Rd,rand,koko}} =$	1	kpl	Arvo pyöristetään aina ylöspäin kokonaistukuun
Valittu ankkurointirautojen määrä	$n_{ankkuri} =$	2	kpl	Ankkurointirautojen määrä on oltava suurempi kuin edellinen vähimmäismäärä
Tuen reunalla tangossa vaikuttava vetovoima	$F_{t,rand,koko} = \Delta F_{td} / n_{ankkuri} =$	34.8	kN	
Tankoon aiheutuva vetojännitys	$\sigma_{td} = F_{t,rand,koko} / A_{st} =$	110.6	N/mm <sup>2</sup>	
Tangon pinnan ja betonin välinen tartuntalujuus	$f_{td} = 2.25 * n_1 * n_2 * f_{ctd} =$	3.0	N/mm <sup>2</sup>	
$n_1 =$	1			$n_1 = 1$ , hyvät tartuntasuhteet
$n_2 =$	1			$n_2 = 1$ , kun pääteräs $\leq 32$ mm
$\alpha_{td} =$	1			
Betonin mitoitusvetolujuus	$f_{td} = (\alpha_{td} * f_{td,0.95}) / \gamma_c =$	1.35	N/mm <sup>2</sup>	
Ankkurointipituuden perusarvo	$l_{d,req} = 0 / 4 * \sigma_{td} / f_{td} =$	181.9	mm	
Pienennyskerroin	$\alpha_1 =$	1.0		Varmuuden puolella alfa-arvot voi olla kaikki 1.0
Pienennyskerroin	$\alpha_2 =$	1.0		Varmuuden puolella alfa-arvot voi olla kaikki 1.0
Pienennyskerroin	$\alpha_3 =$	1.0		Varmuuden puolella alfa-arvot voi olla kaikki 1.0
Pienennyskerroin	$\alpha_4 =$	1.0		Varmuuden puolella alfa-arvot voi olla kaikki 1.0
Pienennyskerroin	$\alpha_5 =$	1.0		Varmuuden puolella alfa-arvot voi olla kaikki 1.0
<b>Valitaan suurempi <math>l_{d,req}</math> tai <math>l_{d,min}</math> arvoista määrävääksi:</b>				
Ankkurointipituus	$l_{d} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{d,req} =$	181.9	mm	
Ankkurointipituuden minimiarvo	$l_{d,min} = \max(0.3 * l_{d,req}, 10 * \phi_{st}, 100\text{mm}) =$	200.0	mm	<b>määrävää</b>
<b>Määrävään ankkurointipituuden tulee myös mahtua pilarin leveyteen eli <math>l_{d,min} &lt; b_{palkki}</math> Tarkistetaan tämä seuraavaksi: OK</b>				

Kuva 3. Palkin laskelmat sivu 2

KÄYTTÖTILANTEEN TAIPUMATARKASTELU:		Arvo	Yksikkö	Huomio
Kerros, jolla huomioidaan rakennejärjestelmä	$K =$		1	saadaan taulukosta 7.4 N
Murtorajattilan edellyttämä raudoitussuhde	$\rho = \frac{A_{s,raudoit}}{d_{eff} * b} =$	0,00348		
Raudoitussuhteen vertailuarvo	$\rho_0 = 10^{-3} * \sqrt{f_{tk}} =$	0,00548		
Tarvittava puristusraudoitussuhde	$\rho' =$	0		Jos ei puristusraudoitusta, arvo on nolla
Valitaan kaava sen mukaan kumpi on suurempi: $\rho_0 < \rho$	$\frac{l}{d} \leq K * \left[ 11 + 1,5 * \sqrt{f_{tk}} * \frac{\rho}{\rho_0} + 3,2 * \sqrt{f_{tk}} * \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^3 \right], \rho \leq \rho_0$	17,8842		
	$\frac{l}{d} \leq K * \left[ 11 + 1,5 * \sqrt{f_{tk}} * \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + 0,0833 * \sqrt{f_{tk}} * \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right], \rho > \rho_0$	23,9426		
Taipuvan palkin pituus (huomioita pilarin leveys)	$l = L_1 - 2 * L_{pilari}/2 =$	3920,0	mm	
Taipuman tarkistukset:	$\frac{l}{d} =$	8,37025		
	OK	$\frac{l}{d} \leq$	17,88419	
	$u_{rao} = \frac{l}{250} =$	15,68	mm	
	$u_{rao} > u ?$	OK		
Tehollinen kimmokerroinsuhde	$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} =$	20,7742		
Virumaluku	$\varphi =$	2,22	haarukoitu taulukosta	Alempaa arvoa käytetään vain virumaluvun taulukkoarvon saamiseksi!
Palkkileikkauksen muunnettu paksuus	$h_0 = 2 * (b + h) / (2 + h + b) =$	216,774	mm	(eli kuivumisalan piiri)
Betonin tehollinen kimmokerroin	$E_{c,eff} = E_{cm} / (1 - \varphi) =$	9627,33	MPa	Kuivumispiiri on palkeissa ylöspäin estetty!
Teräksen kimmokerroin	$E_s =$	200000	MPa	
Betonin kimmokerroin	$E_{cm} =$	31000	MPa	
Käyttörajan kuorma, pitkä aikaväli	$P_{k,pitka} = G_k + Q_k * 0,4 =$	28,75	kN	
Käyttörajan kuorma, lyhyt aikaväli	$P_{k,lyhyt} = G_k + Q_k =$	32,87	kN	
Taivutusmomentti pitkä aikaväli	$M_{k,pitka} = (P_{k,pitka} * l^2) / 8 =$	55,22	kNm	
Taivutusmomentti lyhyt aikaväli	$M_{k,lyhyt} = (P_{k,lyhyt} * l^2) / 8 =$	63,14	kNm	
Palkkileikkauksen kimmollinen taivutusvastus	$W_y = (b * h^3) / 6 =$	1,1E+07	mm <sup>3</sup>	
Halkeamamomentti	$M_{cr} = W_y * f_{ctm} =$	31,14	kNm	<- tätä suuremmilla momentilla rakenteeseen voi syntyä halkeamia.
Taipumassa käytetty beeta-arvo	$\beta =$	0,50	(pitkäaikaisille kuormille on 0,5)	
	$\xi = 1 - \beta + (M_{cr} / M_{k,max})^2 =$	0,87838		
Jakautumakerroin		0,87838		
Neutraaliksielin etäisyys puristetusta reunasta uncracked	$x_u = \frac{b * h^2}{2} + (\alpha_e - 1) * (A_s + d + A_{s2} + d_2) =$	221,972	mm	
Neutraaliksielin etäisyys puristetusta reunasta cracked	$x_c = \frac{((A_s + \alpha_e * A_{s2} + (\alpha_e - 1) * d)^2 + 2 * b * (d + \alpha_e * d_2 + (\alpha_e - 1) * d_2) * (A_s + \alpha_e * A_{s2} + (\alpha_e - 1) * d))}{b} =$	160,546	mm	
Puristusraudituksen ala	$A_{s2} =$	0		koska ei puristusraudoitusta on nolla
Puristusraudituksen tehollinen korkeus	$d_{e2} =$	0		koska ei puristusraudoitusta on nolla
Puristusraudituksen betonipeite	$d_{c2} =$	0		koska ei puristusraudoitusta on nolla
Jäykkysmomentti cracked	$I_c = \frac{b * x_c^3}{3} + \alpha_e * A_s * (d - x_c)^2 + (\alpha_e - 1) * A_{s2} * (d_2 - d_c)^2 =$	1,4E+09	mm <sup>4</sup>	
Jäykkysmomentti uncracked	$I_u = \frac{b * h^3}{12} + b * h * \left( \frac{h}{2} - x_u \right)^2 + (\alpha_e - 1) * (A_s + (d - x_u)^2 + A_{s2} + (x_u - d_2)^2) =$	3,2E+09	mm <sup>4</sup>	
K kerroin momenttipinnan mukaan	$K =$	0,104		
Pitkän aikavälin taivutusmomentista aiheutuva käyrästymä	$\left( \frac{1}{r} \right)_M = \xi * \frac{M_{k,pitka}}{E_{c,eff} * I_c} + (1 - \xi) * \frac{M_{k,pitka}}{E_{c,eff} * I_u} =$	3,9E-06	1/mm	
Taipuma	$u = K * l^2 * \left( \frac{1}{r} \right)_M =$	6,16705	mm	

Kuva 4. Palkin laskelmat sivu 3

**PALKIN RAUDOITTEET**  
Ovatko kaikki raudoitteet sopivia / tarkastukset ok?

OK

Haat	8k150
------	-------

Betonipeite  
30 mm

Teräslaatu  
A500W

Minimirauditusmäärä  
184 mm<sup>2</sup>

Tarvittava rauditusmäärä  
425 mm<sup>2</sup>

Raudotteiden tiedot yhdellä rivillä  
A500W&2T20&2T20&-&-&-&8k150&30&184&425

Tallenna/Vie

Alkuarvot
Palkki
Vienti
+

Kuva 5. Palkin tietojen vientisivu