

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka / Rakennesuunnittelu

Mikko Leino

SEINÄMÄISEN PALKIN RAUDOITUSKOMPONENTTI TEKLA STRUCTURES -  
OHJELMISTOON

Opinnäytetyö 2013

# TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Mikko, Leino	Seinämäisen palkin raudoituskomponentti Tekla Structures -ohjelmistoon
Opinnäytetyö	46 sivua + 1 liitesivua
Työn ohjaajat	Lehtori Jani Pitkänen, Lehtori Sirpa Laakso
Toimeksiantaja	Parma Oy, ohjaaja RI Antti Paatero
Maaliskuu 2013	
Avainsanat	Seinämainen palkki, Tekla Structures, komponentti, Mallinnus

Tässä työssä luodaan seinämäisen palkin raudoituskomponentti Tekla Structures -ohjelmistoon. Komponentin tarkoitus on nopeuttaa elementtisuunnittelua ja mallintamista. Komponentille tehdään yhteys Excel-ohjelmaan mitoituslaskelmia varten. Yhteys toteutetaan Tekla Open API -sovellutuksella.

Komponentille tehdään laskentapohja, jonka perusteella se mitoittaa raudoituksen. Yhteys Excel-ohjelmaan suoritetaan Ms Officen tarjoaman COM interop API -rajapinnan välillä. Laskennasta saadaan mitoituskortti, joka on dokumentti suoritetusta laskennasta. Komponentti tehdään plugin-tyyppisenä. Samalla pyritään selvittämään plugin-komponenttien hyödyt ja soveltuvuus erilaisten komponenttien toteuttamiseen.

Mitoitettavaksi rakenneosaksi valittiin seinämäinen palkki, sillä se on tyypillinen mitoitettava rakenneosa elementtisuunnittelussa. Eurokoodit astuvat pakollisiksi 2013. Eurokoodit antavat ohjeistuksen seinämäisten palkkien mitoittamiseen.

Tuloksena saatiin eurokoodi-standardien mukaan mitoittava komponentti. Tavoitteena oli kuitenkin perehtyä myös plugin-komponenttien luomiseen. Työtä voidaan käyttää esimerkkinä plugin-tyyppisten komponenttien luomisessa.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

Mikko, Leino	Reinforcement Component for Deep Beams in Tekla Structures
Bachelor's Thesis	46 pages + 1 pages of appendices
Supervisors	Jani Pitkänen, Senior Lecturer. Sirpa Laakso, Senior Lecturer
Commissioned by	Parma Oy, supervisor Antti Paatero, B.Sc
March 2013	
Keywords	Deep beam, Tekla Structures, component, Modeling

The aim of this thesis was to make a dimensioning component for Tekla Structures software. The purpose of the component was to accelerate planning and modeling of the elements. Connection between the component and Excel software was made for the designing calculations. The connection to the Tekla Structures software was made with Tekla Structures Open API interface.

A calculation sheets was made for the component for specifying reinforcement of the component. The connection between Tekla Structures and Excel was made by Microsoft Excel Interop and Tekla Structures Open API interfaces. Calculations can be printed, which functions as a document of the calculation. The component is made by plug-in method. The purpose was to explore how a plug-in component can be used and how suitable the method is for producing different kind of components.

Deep beam structure was chosen as the dimensioned structure because it is a common structure in designing of prefabricated structures. All the calculations of the structure were made in compliance with the Eurocode standards, which will come into effect in 2013.

As a result of this thesis, a reinforced component designed in compliance with Eurocode standards was created. This thesis can be used as an example for creating plugin type components.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	TYÖN SISÄLTO JA TAVOITE	7
3	ELEMENTTISUUNNITTELU	9
	3.1 Yleistä	9
	3.2 Elementit	10
	3.2.1 Väliseinät	10
	3.2.2 Laattaelementit	11
	3.2.3 Hissikuilut	12
4	SEINÄMÄINEN PALKKI	12
	4.1 Eurokoodi 2	14
	4.2 Seinämäisen palkin mitoittamistavat	14
	4.2.1 Ristikkomenetelmä (Strut-and-tie)	15
	4.2.2 Lineaarinen menetelmä	22
	4.3 Seinämäisen palkin aukot	23
	4.4 Laskuesimerkki	24
5	LASKENTAPOHJAT	27
	5.1 Laskentapohjien vaatimukset	27
	5.2 Laskentapohjien sisältö	28
	5.2.1 Laskentakuormat	28
	5.2.2 Materiaalien lujuudet	29
	5.2.3 Seinämäisen palkin poikkileikkauksen laskenta	30
6	TIETOMALLINNUS (BIM)	32
	6.1 Tietomallintaminen	32
	6.2 Tekla Structures	33
7	KOMPONENTIN LUOMINEN	34
	7.1 Custom-komponentit	34
	7.2 C# -ohjelmointi	34

7.3	Open API -rajapinta	35
7.4	Plugin-komponentti	35
7.5	Plugin-ohjelman rakenne	36
7.5.1	Referenssit	36
7.5.2	Muuttujat	36
7.5.3	Override run metodi	37
7.5.4	INP defenition	39
7.5.5	Yhteys Excel-ohjelmaan	41
7.6	Laskelmien tulostus	42
8	YHTEENVETO	42
9	POHDINTA	43
LIITTEET		

Liite 1. Seinämäisen palkin mitoituskortti

## 1 JOHDANTO

3D-mallintaminen on tuonut suunnitteluun uusia ulottuvuuksia, mutta mallintamiseen voi kulua myös paljon aikaa. Tekla Structures -ohjelmassa on mahdollisuus tehdä valmiita komponentteja mallintamisen tehostamiseksi. Tämän työn tarkoituksena oli tehdä mitoittava komponentti Tekla Structures -ohjelmistoon, johon yhdistetään Excel-laskentaohjelma Open API -rajapintaa hyödyntäen. Samalla kehitettiin Excel-laskentapohjien käytettävyyttä elementtisuunnittelussa sekä päivitettiin ne vastaamaan Eurokoodien asettamia vaatimuksia. Tavoitteena oli saada elementtisuunnitteluun soveltuva työkalu, jolla voitaisiin nopeuttaa suunnittelutyötä ja minimoida inhimilliset virheet. Työn tilaajana toimi betonituotteita valmistava Parma Oy.

Työn kirjallisessa osuudessa käydään läpi elementtisuunnittelua ja pysähdytään tarkastelemaan tarkemmin seinäelementtejä ja seinämäistä palkkia. Seinämäistä palkkia käytetään työssä esimerkkinä, ja tarkastellaan sen mitoitusta eurokoodien mukaan. Työssä perehdytään eurokoodien mukaisen mitoituksen eri vaihtoehtoihin ja ongelmiin.

Työssä tehdään seinämäisen palkin Excel-laskentapohja eurokoodien mukaan. Eurokoodit tulevat käyttöön viimeistään kesällä 2013. Eurokoodit korvaavat tällä hetkellä käytössä olevan rakennusmääräyskokoelman. Laskentapohjien käytettävyyden kannalta siirtyminen uuteen suunnittelujärjestelmään tulee olemaan haaste. Excel-pohjia laadittaessa pyritään ottamaan huomioon tulevat muutokset, ja selkeyttämään uuden suunnittelujärjestelmän käyttöön ottoa.

Työssä tutustutaan Tekla Structures -ohjelmistoon ja tietomallipohjaiseen suunnitteluun. Tulevaisuudessa tietomallipohjaista suunnittelua hyödynnetään aina vain enemmän. Tässä työssä perehdymme Teklan eri komponentteihin, ja luomme oman Plugin-komponentin, johon linkitämme Excel-laskentapohjan. Plugin-komponentti on ohjelma, joka on ohjelmoitu C#-ohjelmointikielellä. Työn tarkoitus on myös selvittää ja perehtyä Plugin-komponenttien toimintaan ja soveltuvuuteen erilaisten komponenttien luomisessa.

## 2 TYÖN SISÄLTO JA TAVOITE

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kehittää ja kokeilla yrityksen tarpeisiin sopivaa menetelmää työtä helpottavien komponenttien tekemisessä. Esimerkin omaisesti työssä luodaan mallintamista helpottava komponentti Tekla Structures -ohjelmistoon. Samalla kun työssä perehdytään mallintamisessa käytettävien työkalujen kehittämiseen, kehitetään yrityksen käytössä olevia laskentapohjia. Laskentapohjat ovat rakenteiden mitoittamista helpottavia Excel-laskentataulukoita.

Mallintamisessa esiintyviä ongelmia ja parannuskohtia selvitettiin tilaajan kanssa. Yrityksen käytössä on jo useita komponentteja, joita on kehitetty erilaisiin tarpeisiin. Komponentteja kehitetään jatkuvasti. Uusien ja myös vanhojen komponenttien kehittämisessä ilmenevin ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan uusia menetelmiä. Kysymys onkin, miten uusien komponenttien luomista voitaisiin parantaa?

Mitoittavan komponentin tekemistä varten tarvitsee perehtyä mitoitusmenetelmiin. Uuden suunnittelujärjestelmän myötä laskentamenetelmiin tulee muutoksia. Tässä työssä perehdytään eurokoodi-standardin tuomiin muutoksiin kuormien laskennassa ja seinämäisen palkin mitoittamisessa. Kysymys on, mitä muutoksia eurokoodit tuovat seinämäisen palkin mitoittamiseen?

Koska komponentin tarkoitus on palvella elementtien suunnittelussa, tutustumme elementtisuunnitteluun luvussa 2.

Luvussa 3 käydään läpi teoriaa seinämäisen palkin mitoittamisesta eurokoodin mukaan. Eurokoodissa esitetään ensisijainen menetelmä seinämäisien palkkien mitoittamiseen.

Luvussa 4 luodaan laskentapohja seinämäisen palkin mitoittamiseen sekä kuormien laskentaan eurokoodi standardin pohjalta.

Luvuissa 5-6 esitellään tietomallintamista ja luodaan komponentti Tekla Structures -ohjelmistoon. Luvussa pyritään selvittämään Plugin-tyyppisen komponentin hyötyjä verrattuna custom-komponentteihin.

## Symbolit

$A_c$	betonipoikkileikkauksen ala
$A_s$	betonin vetoraidoituksen poikkileikkausala
$A_{sw}$	leikkausraudoituksen poikkileikkausala
$F_t$	vetoraidoituksen voima
$F_c$	puristusvoima betonissa
$F_b$	ankkurointivoima
$G_k$	oman painon ja pysyvän kuorman ominaisarvo
$L$	pituus, jännemitta
$M$	taivutusmomentti
$M_{ed}$	mitoitettava taivutusmomentti
$V$	leikkausvoima
$V_{ed}$	mitoitettava leikkausvoima
$a$	etäisyys
$b$	leveys
$c$	suojabetonipeite
$d$	hyötykorkeus
$f_{ck}$	betonin lieriölujuuden ominaisarvo
$f_{cd}$	betonin lieriölujuuden mitoitusarvo
$f_{ctk}$	betonin vetolujuuden ominaisarvo
$f_{ctd}$	betonin vetolujuuden mitoitusarvo
$f_{yk}$	raudoituksen ominaislujuus
$f_{yd}$	raudoituksen mitoitusarvo
$h$	korkeus
$h_{ef}$	rakenneosan hyötykorkeus
$Z$	sisäinen momenttivarsi



## 3 ELEMENTTISUUNNITTELU

### 3.1 Yleistä

Elementtirakentamisella saavutetaan merkittäviä hyötyjä rakentamisessa. Suomessa rakennettavista kerrostaloista huomattava osa tehdään elementeistä. Elementtijärjestelmän hyötyihin voidaan lukea resurssien tehokas käyttö, laatu ja aikataulut. Teollinen rakentaminen mahdollistaa myös erilaisten tekniikoiden käytön, kuten esijännittämisen.

Teollisessa elementtien valmistamisessa taataan tuotteen laatu. Elementtien laatu perustuu tarkasti valvottuihin raaka-aineisiin ja työnlaatuun. Elementit ovat ulkoisen laaduntarkastuksen piirissä. Vuodesta 2013 betonivalmisosilta, joilla on harmonisoitu tuotestandardi, vaaditaan CE-merkintä.

Teollisella valmisosarakentamisella päästään myös parempaan tuottavuuteen. Tämä perustuu siihen, että tehtaassa valmistetuilla elementeillä saavutetaan pienempi materiaalihukka ja menekki. Kuten muutkin esivalmistetut rakennustuotteet, betonivalmisosat lyhentävät rakennusaikaa, ja täten kustannukset pienenevät. (Teollinen valmisosarakentaminen 2013.)

#### Elementtirakentamisen historiaa

Elementtirakentaminen alkoi yleistyä Suomessa 1960-luvun lopulla. Silloiselle elementtirakentamiselle kehitettiin BES-järjestelmä, joka kattoi kantavat väliseinäelementit, sandwich-elementit ja pitkälaattaelementit. Järjestelmään standardoitiin betonielementtien lisäksi liitosdetaljit. 1980-luvulla standardia laajennettiin kattamaan toimitila- ja teollisuuden pilarilaattajärjestelmät. Nykyisin elementit jaetaan tuotetyyppeihin, joita ovat:

- Perustuselementit
- Pilarielementti
- Seinäelementit
- Palkkielementit
- Laattaelementit
- Parveke-elementit

- Porraselementit
- Hissikuilu elementit
- Hormielementit

(Elementtirakentamisen historia 2013)

### Elementtisuunnittelun merkitys

Lopullinen laatu riippuu koko rakennusprosessista aina suunnittelusta toteutusvaiheeseen saakka. Hyvällä suunnittelulla on suuri vaikutus toimivaan lopputulokseen. Tietotekniikan kehittyttyä sitä on pyritty hyödyntämään suunnittelussa, mitoittamislaskeissa ja mallintamisessa. (Suunnittelu ja tiedonhallinta 1995, 29–32.)

Tietokoneavusteisella suunnittelulla (CAD) ja mallintamisella on ollut erittäin tärkeä rooli elementtiteollisuudessa. Nykyisin tietomallien käyttö on yleistynyt rakennusalan suunnittelumenetelmänä. Vuonna 1965 perustettu Tekninen Laskenta Oy, nykyisin Tekla Oyj, on hyvä esimerkki suomalaisesta tietotekniikan hyödyntämisestä rakennusalalla. Tekla Structures on nykyisin yksi suurimmista mallinnusohjelmista, niin maailmalla kuin Suomessakin.

Tietomalleja voidaan hyödyntää koko rakennusprosessissa. Niiden avulla voidaan parantaa tiedon välittymistä eri osapuolien välillä. Suunnittelu tulisikin aloittaa hieman aikaisemmin kuin normaalisti, jotta tietomallintamisesta saataisiin täysimittainen hyöty. Tietomallin käyttö on hyödyllisempää, mitä useampi suunnittelija käyttää sitä.

(Mallintava suunnittelu 2013.)

## 3.2 Elementit

Seuraavassa on esitetty joitakin asuinrakentamisessa käytettäviä yleisimpiä elementtejä, joita muun muassa Parma Oy valmistaa. Esittelyssä ilmenee elementtien toimintaa rakenteissa, sekä rajoituksia joita elementtien suunnittelussa voi olla.

### 3.2.1 Väliseinät

Seinäelementit ovat levymäisiä kappaleita, joiden korkeus vaihtelee ja on maksimissaan noin 4000 mm. Korkeammat elementit voidaan kääntää, jolloin voidaan kuljettaa

yli 4m korkeita elementtejä. Seinien paksuus on yleensä 200 mm tai 150 mm, johtuen palo ja ääniteknisistä seikoista. Elementtien enimmäispituutena voidaan usein pitää noin 9000 mm. Suurempia elementtejä ei käsittelysystä ole järkevää valmistaa.

Seinäelementit ovat pääasiassa puristettuja rakenteita. Seinäelementit voivat olla joko raudoitettuja tai raudoittamattomia rakenteita. Pelkästään puristettuja rakenteita ei välttämättä tarvitse raudoittaa kuin pieliraudoituksella. Seinäelementtien vaakaliitoksena toimivat saumavalu ja tapit tai seinäkengät, jotka nousevat alemmasta elementistä ylemmän elementin juotokseen. Liitos määräytyy normaalivoiman ja momentin mukaan. Jos liitos ei ole koko elementin matkalta puristettu, tulee elementit sitoa seinäkengin. Pystysaumoissa elementit sidotaan esimerkiksi vaijerilenkein. Vaijerilenkit kestävät paremmin taittamista kuin harjateräslenkit. Vaijerilenkkien, kotelon ja saumabetonin muodostamat betonivaarnat ottavat vastaan vain leikkausvoimia. Jos liitokseen kohdistuu vetoa, vaijerilenkit ovat riittämättömät. Vetorasitetuissa liitoksissa täytyy käyttää harjateräksiä vetoteräksinä. (Leskelä 2005, 556–558.)

Väliseiniin tulee usein taloteknisiä varauksia. LVI- ja sähkösuunnittelijat antavat tarvittavat tiedot varauksista ja tarvikkeista. Varausten sijoittamisessa elementteihin tulee tarkastaa rakennetekniset ja äänitekniset seikat. Usein varauksien minimietäisyydet ilmoitetaan LVI- ja sähkösuunnittelijan toimesta. LVI-tarvikkeille tehdään elementtiin varaus, mutta itse tarvikkeet asennetaan usein työmaalla.

Seinäelementtien suunnittelu toteutetaan rakennesuunnittelijan tai erillisen elementtisuunnittelijan toimesta. Elementtisuunnittelu voidaan myös jakaa useammalle eri suunnittelijalle. Elementtisuunnittelu toteutetaan ns. toteutussuunnitelmana, jolloin suunnittelu alkaa suunnitteluketjun loppupuolella. (Suunnittelu ja tiedonhallinta 1995, 11–32.)

### 3.2.2 Laattaelementit

Laattaelementit ovat teräsbetonisia levymäisiä kappaleita. Ne ovat pääosin yhtyeensuuntaan kantavia rakenteita. Laattaelementtejä käytetään holvirakenteina niin asuinrakentamisessa kuin toimitilarakentamisessakin. Tässä kappaleessa tarkastelemme massiivisia elementtilaattoja, joita käytetään pääosin asuinrakentamisessa. (Leskelä 2005, 542.)

Massiivilaattoja käytetään pääosin porrashuoneiden kerrostasolaattoina. Laattaelementin paksuus voi vaihdella, mutta yleisin paksuus 260mm. Laatan tulee täyttää sille asetetut palo- ja äänitekniset vaatimukset. Laatat tuetaan seinien päälle tai teräksisillä lepotasokannattimilla. Asuinkerrostaloissa liitos toteutetaan siten, että liitoksessa kappaleiden väliin asennetaan neopreenikumi ääntä eristämään. Massiivilaattaelementit voivat olla n. 6m pitkiä. Yleensä rajoittavana tekijänä on kuitenkin laatan paino. (Massiivilaatat 2013.)

### 3.2.3 Hissikuilut

Hissikuilut ovat yhtenäisiä kuilumaisia elementtejä. Usein hissikuilut tehdään sitomalla seinäelementtejä ja ovipalkki yhtenäiseksi rakenteeksi. Kasaamalla kuilun yhtenäisistä hissikuiluelementeistä, tulee elementtien väliin ainoastaan vaakasauma. Kuiluelementeillä säästetään aikaa ja näin ollen myös rahaa. Suomen markkinoilla kuiluelementtejä valmistaa mm. Parma Oy, Mikkelin Betoni Oy ja Lujabetoni Oy. (Parma 2013.)

Kokonaisuudessaan kuilu rakentuu kerroksen korkuisista kuiluelementeistä, sekä ylä- ja alakuppi elementeistä. Normaali korkuisten kuilujen maksimi korkeus on n. 3m. Korkeammissa kerroskorkeuksissa kuilu täytyy tehdä korotetuista kuiluista tai väliseinäelementeistä. Kuilun kokoa rajoittaa muottikaluston lisäksi käsiteltävyys. Korkeat kuilut voivat painaa yli 10 tn jolloin nostokalustolta vaaditaan paljon. (Hissikuilut 2013.)

## 4 SEINÄMÄINEN PALKKI

Seinämäiset palkit ovat palkkeja, joiden poikkileikkauksen korkeus jänneväliin nähden on suuri. Seinämäisen palkin määritelmän mukaan sellaiset palkit, joiden poikkileikkauksen korkeus on suurempi kuin kolmasosa jännemitasta, ovat seinämäisiä palkkeja. Palkkien, pilareiden ja laattojen rasituksia voimme tarkastella kimmoteorian lineaaristen muodonmuutosten mukaan. Bernoullin hypoteesin mukaan seinämäisten palkkien kohdalla ei poikkileikkauksen rasituksia voida kuitenkaan tarkastella kuten tavallisessa palkissa, vaan niihin tulee käyttää sovellettuja laskentamenetelmiä.

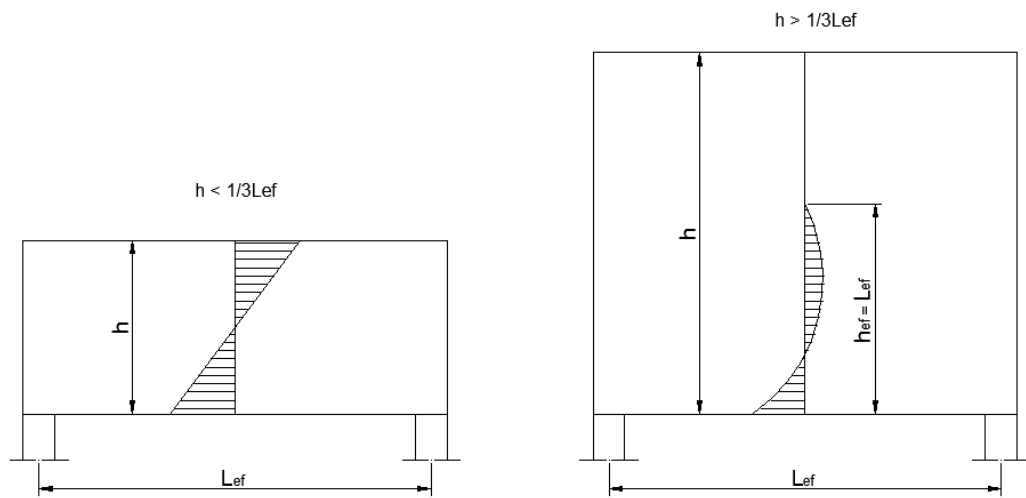
Seinämäisten palkkien kohdalla rasitusjakaumaan vaikuttavat korkeus ja jännevälin suhteen lisäksi kappaleen muoto, vapaat reunat ja aukot. Nämä ominaisuudet aiheutta-

vat jännityksiin epäjatkuvuuskohtia, joita tarkastellaan tarkemmin ristikkomenetelmän yhteydessä. Kappaleen jännitysjakautumaa ei voida siis tarkastella leikkauskohtien perusteella. Voimien jakautumista tarkasteltaessa täytyy seinämäisissä palkeissa tukeutua:

- Sovellettuun teoriaan lineaarisesta muodonmuutoksesta (Bernoullin teoria)
- Plastisuuden alaraja teoreemaan (esim. ristikkomenetelmä)
- Epälineaariseen jännitysjakautuman teoriaan (numeraaliset menetelmät. Esim. FEM)

(Schaefer 1990, 141.)

Ristikkomenetelmää sekä Bernoullin teorian mukaista lineaarista menetelmää käsitellään seinämäisen palkin mitoittamisen yhteydessä. FEM-menetelmä on numeraalinen menetelmä, jossa saadaan selville kappaleen jännitysjakautuma likimääräisesti. FEM-menetelmässä kappale jaetaan elementteihin, joiden voimasuureiden aiheuttama jännitysjakautumaa saadaan selville osittaisdifferentiaaliyhtälöillä. Menetelmä käytetään analyttisen laskennan tukena. Tietokoneiden kehityksen myötä menetelmän käyttö on helpottunut. Se sopii hyvin esimerkiksi monimutkaisten rakenteiden tarkasteluun.



Kuva 4.1 jännitysjakautuman ero korkeissa palkeissa

## Kaarivaikutus

Seinämäisen palkin oletetaan toimivan kuten leikkausraudoittamaton palkki, ja sille voi muodostua kaarivaikutus. Kaarivaikutuksen muodostuminen edellyttää, että pääteräket ankkuroituvat vain päistään tuille. Leikkaushalkeaman avauduttua palkkiin muodostuu kaarivaikutus. Palkeille voi muodostua kolme erityyppistä halkeamismuotoa jännemitan ja korkeuden suhteesta riippuen. Seinämäisissä palkeissa jännemitan ollessa lyhyt verrattuna palkin korkeuteen, muodostuu palkkiin vino puristusmurto, kuten kuvassa 4.5 (Leskelä 2005. 245)

### 4.1 Eurokoodi 2

Tässä työssä käytettävät mitoitusmenetelmät ja rakenteiden analysointi perustuu CEN:n eurokoodi-standardeihin. Betonirakenteiden suunnittelu ohjeet löytyvät Eurokoodi 2 standardista, jolla tarkoitetaan standardia EN 1992-1-1 ja 2. Eurokoodi 2 sisältää Euroopassa yleisesti hyväksytyjä mitoitusperiaatteita. Standardeja kehitellään jatkuvasti sitä mukaa kun ongelmia tulee julki, ja mahdolliset ongelmakohdat pyritään korjaamaan. Tällä hetkellä eurokoodeja käytetään rinnan nykyisen rakennusmääräyskokoelman B-sarjan kanssa. Eurokoodien myötä poikkeavat kohdat RakMk B-sarjan kanssa yhdenmukaistetaan.

Eurokoodi 2 perustuu pitkälti eurooppalaisiin betoninormeihin. CEB (Euro-international committee for concrete) ja FIB (fédération internationale du béton) julkaisivat yhdessä laaditun mallinormin vuonna 1978. Standardit ENV 1992-1-1 ja EN 1992-1-1 perustuvat pitkälti tähän mallinormiin. CEB-FIB Modelcode 1990 on kansainvälinen mallinormi, jossa annetaan betonirakenteiden yleisiä suunnitteluperusteita.

Suomen standardisointiliitto ry on vahvistanut Eurokoodi 2:n suomalaiseksi standardiksi SFS EN 1992-1-1, SFS EN 1992-1-2, sekä SFS EN 1992-2 ja 3. Suomessa tulee myös noudattaa kansallisen liiteteitä NA SFS-EN 1992-1-1, NA SFS-EN 1992-1-2, sekä NA SFS-EN 1992-2 ja 3.

### 4.2 Seinämäisen palkin mitoittamistavat

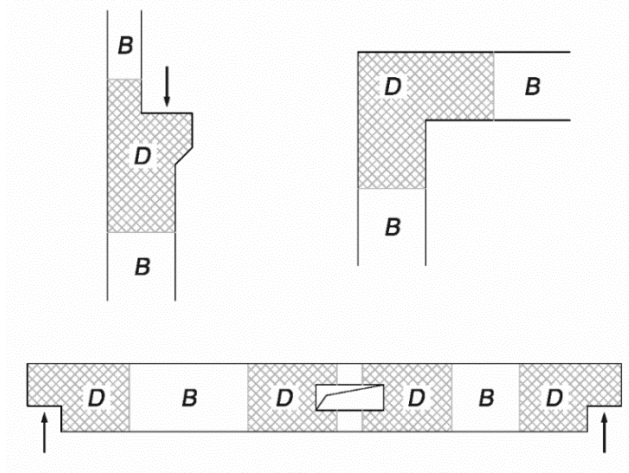
Eurokoodi 2 (SFS EN-1992-1-1 ja 2) standardissa kerrotaan ristikkomenetelmästä, joka soveltuu levymäisten kappaleiden analyysiin. Suunnittelijan on käytettävä tätä me-

netelmää, joka soveltuu myös seinämäisten palkkien mitoittamiseen, tai muissa teoksissa kerrottuihin Eurokoodi 2 -menetelmiin. Leskelän teoksessa By 210 on esitelty kaksi EC2 hyväksyttyä menetelmää, jotka ovat elementtimenetelmä ja ristikkomenetelmä. Edellä mainitut menetelmät ovat siis eurokoodien mukaan hyväksytyjä. Kyseisiä menetelmiä käytettäessä on kuitenkin huomioitava muutamia asioita. Aikaisemmissa suunnitteluohjeissa esitettiin myös CEB-FIB mukainen lineaarisen muodonmuutoksen menetelmä. (Eurokoodi 2 2007, 161.)

Seuraavassa käydään läpi lyhyesti CEP-FIB mukaisen lineaarisen muodonmuutoksen menetelmän ja ristikkomenetelmän mukaisia suunnitteluperusteita.

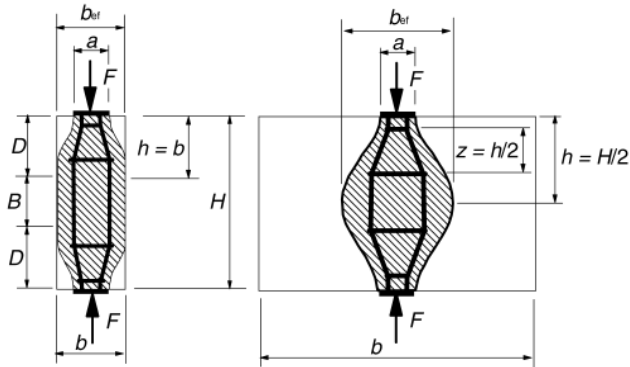
#### 4.2.1 Ristikkomenetelmä (Strut-and-tie)

Ristikkomenetelmä on yksi plastisuusteorian alarajateoreeman sovellutuksista. Ristikkomenetelmä soveltuu hyvin murtotilamitoitukseen, mutta käyttörajatilamitoitukseen sitä ei voida käyttää. Menetelmä soveltuu hyvin tapauksiin joita kimmoteorian lineaarisella muodonmuutostilalla ei pystytä kuvaamaan. Tyypillisiä tapauksia ovat kappaleet, jossa on reikiä, päätykappaleet, pilari-palkki liitokset ja lovipalkit. Ristikkomenetelmä soveltuu siis tapauksiin, joissa rakenteessa on epäjatkuvuuskohta, kun suunta tai ominaisuus muuttuu. Muodonmuutos on epälineaarista alueilla, jossa tukien lähellä on pistekuormia tai kappale on tasojännitystilassa (esim. seinämäinen palkki). Eurokoodi 2:ssa rakenteet jaetaan D- ja C-alueisiin. Rakenneosia, joissa esiintyy epäjatkuvuuskohtia, kutsutaan D-alueiksi. Kuvassa 4.2 on esitetty tyypillisiä rakenteita, jossa esiintyy epäjatkuvuuskohtia. (Beeby, Narayanan. 1995, 32–34.)



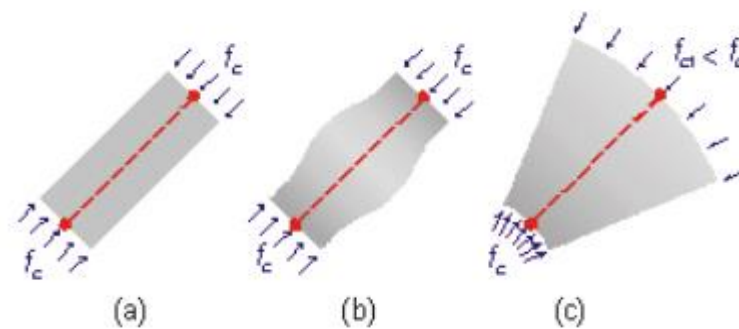
Kuva 4.2 Rakenteet joissa esiintyy epäjatkuvuuskohtia

Ristikkomallissa tarkastellaan voimatasapainoa rakenteen sisällä. Voimien ajatellaan kulkevan rakenteessa samalla tavalla kuin ristikoissa, sauvoja tai kaistoja pitkin. Betoni toimii puristettuna paarteina ja diagonaaleina. Teräs puolestaan muodostaa vedetyt paarteet. Sauvat sidotaan solmupisteissä. Suunnittelija valitsee rakenteeseen sopivan ristikkomallin. Ongelmana ristikkomallissa on se, ettei se ota huomioon paikallisia murtumia, vaan ne tulee tarkastaa erikseen. Siksi suunnittelijan täytyy tietää kimmoiteorian mukainen jännitysten jakauma.



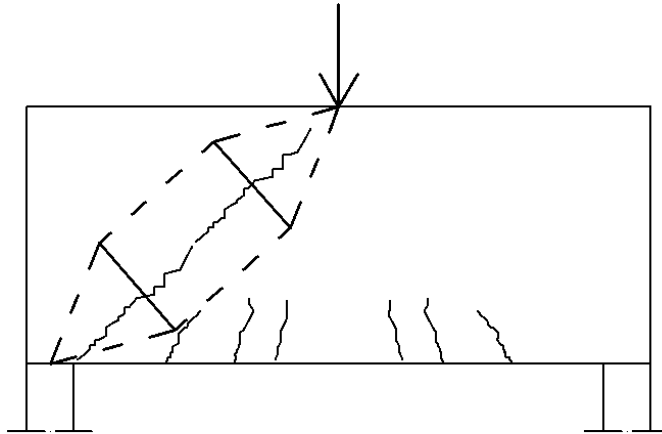
Kuva 4.3 Puristusvyöhykkeen ristikkomalli

Puristussauva voi olla vertikaali tai diagonaali. Puristussauvojen vaikutusviivan ympärille muodostuu jännityskenttä. Jännityskentän muoto vaihtelee esiintymisalueesta riippuen. D-alueilla esiintyy pullomaisia jännityskenttiä. Pullonkaulan kohdalla rakenteessa esiintyy poikittainen vetovoima, kuten kuvan 4.3 ristikkomallin vetosauvoissa. Puristussauvan alue tulee raudoittaa poikittaista vetovoimaa vastaan, ja rauditus tulee jakaa alueelle, jossa puristustrajektorit ovat kaarevia. C-alueilla esiintyy suorakaiteen tai prisman muotoisia puristusvyöhykkeitä, joita käsitellään kuten taivutettujen poikkileikkausten puristusvyöhykkeitä.



Kuva 4.4 puristusdiagonaalien muodot. a) prisma b) pullomainen c) viuhka (Tjhin 2003.)





Kuva 4.5 Seinämäisen palkin puristusvyöhykkeen ristikkomalli.

Rakenteessa teräkset toimivat vetosauvana, jolla välitetään kaikki rakenteeseen syntyvä vetovoima. Teräkset tulee asettaa siten, että vetosauvan vaikutusviiva toimii raudoituksen keskiakselina. Yksinkertaisissa tapauksissa alapinnan vetoraudoitus voidaan laskea kaavalla:

$$A_s = \frac{M_{ed}}{z * f_{sd}} \quad (1)$$

Paarteiden keskipisteiden etäisyys, eli uuman sisäinen momenttivarsi  $z$  määräytyy taulukon 1.2 mukaan. Tulee kuitenkin huomioida että  $z$  ei voi olla suurempi kuin palkin sisäinen momenttivarsi plastisessa tarkastelussa ( $z < d(1-\beta/2)$ ).

Jos ristikko sisältää useampia vetoraudoituksia, vetoraudoituksen voimaa  $F_t$  vastaava teräsmäärä voidaan myös laskea kaavasta:

$$A_s = \frac{F_t}{f_{sd}} \quad (2)$$

Solmupisteet ovat kohtia, jossa sauvojen resultanttivoimat kohtaavat. Resultanttivoimien suuruus määrätty ristikkomallin mukaan. Solmut voivat olla joko puristussauvojen liityntäsolmuja tai puristus- ja vetosauvojen liityntäsolmuja. Tukisolmut tulee mitoitaa ottaen huomioon puristussauvan voima ja betoninlujuus. Betonin lujutena käytetään keskimääräistäilujuutta:

- $f_{cd1} = 0,85 * (1 - \frac{f_{ck}}{250}) * f_{cd}$  , kun solmuun liittyy vain puristettuja sauvoja
- $f_{cd2} = 0,60 * (1 - \frac{f_{ck}}{250}) * f_{cd}$  , kun solmuun liittyy puristettuja ja vedettyjä sauvoja
- $f_{cd3} = 0,70 * (1 - \frac{f_{ck}}{250}) * f_{cd}$  , kun solmuun liittyy puristettuja ja vedettyjä sauvoja eri suunnista

Taulukko 4.1

Tapaus	Mittaehto	z
Staattisestimäärätty rakenne	$1 < L/h < 2$ $L/h < 1$	$z = 0,15h(3+L/h)$ $z = 0,6L$
Jatkuvan palkin reunakenttä	$1 < L/h < 2,5$ $L/h < 1$	$z = 0,1h(25+2L/h)$ $z = 0,45L$
Jatkuvanpalkin keskikenttä	$1 < L/h < 3$ $L/h < 1$	$z = 0,15h(2+L/h)$ $z = 0,45L$

#### Solmupisteiden mitoitus puristus-vetosolmuissa

Solmupisteet, joissa esiintyy puristusta sekä vetoa muodostavat puristus-vetosolmun. Niitä esiintyy usein tuella, jossa raudoituksen vetovoima ankkuroidaan. Solmupisteissä tarkastetaan normaalisti vedetty teräksen ankkurointi. Ankkurointikapasiteettiä voidaan lisätä ankkurointilenkeillä. Kuvassa 4.9 on esitetty ankkurointilenkki.

Solmupisteissä tarkastetaan myös betonin puristuskestävyys puristussauvan voimalle  $F_{c2}$  sauvan päässä. Puristavan kentän leveys saadaan kaavasta:

$$a = a_1 * \sin \theta + u * \cos \theta \quad (3)$$

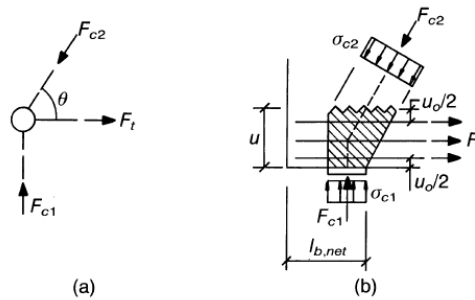
,jossa  $\theta$ = puristussauvan kulma,  $a_1$ = tuen leveys ja  $u$ = vetosauvan leveys. Vetosauvan leveys ja solmun korkeus  $u$  on:

- $u = 0$ , kun vetosauva ei ankkuroidu solmupisteessä

- $u = 2c$ , kun yhdessä kerroksessa oleva rauditus ankkuroituu mitan  $c$  tuen ohitse
- $u = 2c + (n-1)s$ , kun  $n$  kerrosta rivejä ankkuroituu mitan  $c$  tuen ohitse.  $s$  = rivien jako. Rauditus ankkuroituu vähintään  $\max\{c, s/2\}$

Solmupisteessä tarkistetaan jännitykset  $\delta_{c1} = \frac{F_{c1}}{a_1 * b}$  ja  $\delta_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 * b}$ , jossa  $b$  = palkin

leveys

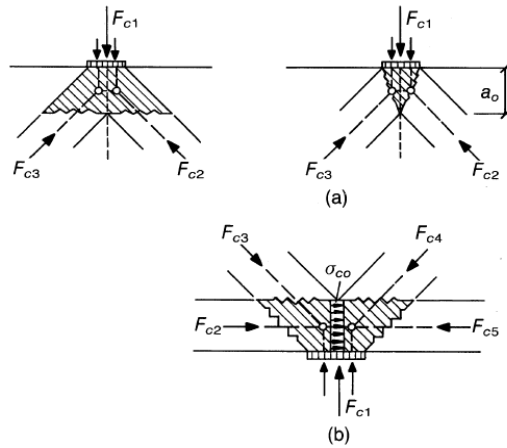


Kuva 4.6 Puristus-vetosolmu.

Solmupisteet joissa on vain puristusvoimia

Solmuja, joissa on vain puristusvoimia, esiintyy kohdissa jossa pistemäiset kuormat tai lähes pistemäiset kuormakeskittymät kuormittavat rakennetta.

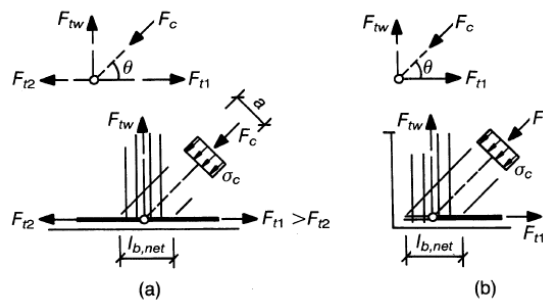
Solmupisteessä tarkastetaan betonin jännitykset. Jos solmupisteen hydrostaattinen korkeus valitaan suuremmaksi kuin,  $a_{0h} = \frac{a_1}{2}$  tulee solmu mitoittaa ehdon  $\delta_{c0} \leq F_{c1}$  mukaan. Jos solmun korkeudeksi valitaan pienempi kuin  $a_{0h}$  tulee tukipaine kestävyys mitoittavaksi.



Kuva 4.7 Puristussolmu

Solmut joissa on kohtisuoranvetoa

Palkeissa, joissa vetorausoituis ei ankkuroidu tuella vaan vapaalla reunalla, esiintyy solmupisteitä, jossa on kohtisuoraa vetoa. Tällaisia rakenteita ovat mm. lovipalkit. Palkkien, joiden uumassa on suuria aukkoja, solmupisteissä esiintyy kohtisuoraa vetoa. Ripustuskuormat palkin alapinnassa aiheuttavat myös tällaisia solmukohtia. (Leskelä 2008. 159–161.)

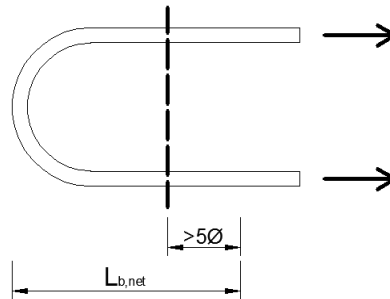


Kuva 4.8 Solmupisteeseen kohdistuu vetoa.

Vetoraudoituksen ankkurointi mitoitetaan täydelle voimalle. Kuvassa 3.9 on esitetty ankkurointi vakioolenkillä, joka on hyväksytty menetelmä seinämäisten palkkien pääterästen ankkurointiin. Ankkurointipituuden tulee kuitenkin täyttää ehdot:

$$l_{b,min} > \max\{0,3l_b; 10\varnothing; 100 \text{ mm}\}, \quad \text{vedetyillä sauvoilla}$$

$$l_{b,min} > \max\{0,6l_b; 10\varnothing; 100 \text{ mm}\}, \quad \text{puristetulla sauvoilla}$$



Kuva 4.9 Standardi ankkurointilenkk

Taulukko 3.2 Ankkuroinnin olosuhdekertoimet.

	Ankkurointityyppi	Vedetty	Puristettu
Tankojen muoto	Suora	$\alpha_1 = 1,0$	
	Muu kuin suora	$\alpha_1 = 0,7$ $\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
Betonipeite	Suora	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \varnothing) / \varnothing$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Muu kuin suora	$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - 3\varnothing) / \varnothing$ $0,7 \leq \alpha_2 \leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
Poikittaisen laajenemisen estoraudoitus, jota ei ole hitsattu pääraudoitukseen	Kaikki tyypit	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $0,7 \leq \alpha_3 \leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Poikittainen hitsattu laajenemisen estoraudoitus	Kaikki tyypit	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Laajenemisen estävä poikittaispaine	Kaikki tyypit	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $0,7 \leq \alpha_5 \leq 1,0$	–

Seinämäisen palkin pääraudoituksen ankkuroinnissa käytetään usein standardilenkkejä, sillä ylöspäin taivutukset eivät ole sallittuja halkeamisvaaran takia. Standardilenkit ovat U:n muotoisia irtolenkkejä, jotka limittyvät pääraudoituksen kanssa sen yläpuolella. Jatkospituuden tulee olla vähintään  $l_0$  tai  $l_{bd}$ , ja jatkoksen tulee olla halkeilemattomalla alueella.

Jos jatkokset sijaitsevat vaakasuunnassa samassa kohdassa, tulee kohta raudoittaa poikittaista vetoa vastaan hakaraudoituksella. Ankkurointialueelle tarvitaan hakaraudoitus, jonka teräsmäärä on  $A_{sv} = 0,25 A_s n$ , jossa  $n$  on ankkuroitavien terästen määrä. Haat sijoitetaan kohtisuoraan vetoraudoitukseen nähden, ja jaetaan tasausti limitysalueelle. Hakaväli voi olla maksimissaan 150mm. (Eurokoodi 2 2007.)

#### 4.2.2 Lineaarinen menetelmä

CEP-FIB Modelcode 1978 mukainen menetelmä on yksinkertainen menetelmä seinämäisten palkkien raudoituksen mitoittamiseen. Menetelmää voidaan käyttää palkeissa, joiden korkeuden suhde jännemittaan on pienempi kuin 2 ( $l/h < 2$ ), sekä jatkuvissa palkeissa joissa suhde on pienempi kuin 2,5 ( $l/h < 2,5$ ). Menetelmä perustuu CEB-FIB 1978 Modelcode teoksessa esiteltyyn ratkaisumalliin. Menetelmästä löytyy myös tietoa teoksesta By 203. CEB-FIB normin mukaista menetelmää on myöhemmin pyritty täydentämään plastisuusteorian ja ristikkomenetelmän pohjalta uudemmissa julkaisuissa.

$$A_s = \frac{M_d}{z f_{yd}} \quad (4)$$

Pääraudoitus mitoitetaan kaavan 4 mukaan. Tuloksena saadaan poikkileikkauksen raudoituksen tarvittava pinta-ala. Poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi määräytyy palkin korkeuden ja jännemitan suhteen, kuten taulukossa 4.1 ilmenee. Lineaarisuomuodonmuutoksen teorian yksi ongelma on, että sen mukaan ei voida määrittää terästen tarvittavaa ankkurointivoimaa korkeilla palkeilla. Teräkset tulee ulottua yhteisenä tuelta tuelle, ja ne tulee ankkuroida täydelle voimalle. Tukialueella tulee välttää pystytaivutuksien käyttöä halkeilun rajoittamiseksi. Näin ollen pääraudoitus olisi

hyvä jakaa tasaisesti koko vetorausoituksen vyöhykkeelle, ja käytetyn terästen halkaisija tulisi olla sopiva. Näin ollen saavutetaan täysi ankkurointivoima varmemmin.

Pääraudoitus siis jaetaan vyöhykkeelle, jonka korkeus on korkeintaan  $h_{ef}/6$ . Tukialueen pienentyessä tulee kuitenkin paikallisen puristuksen kestävyys tarkastaa. Tukipainetta tarkastaessa ei tukipinnan lävitse meneviä teräksiä saa huomioida. Kuvassa 4.9 on esitetty seinämäisen palkin ankkurointiin soveltuva ankkurointilenkki. (CEB-FIB 1990, 226–228.)

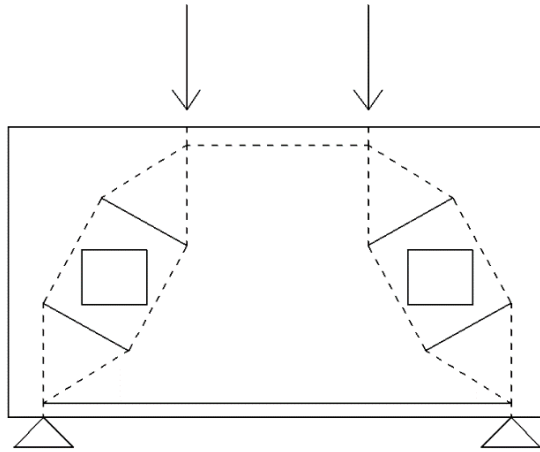
Leikkausraudoitusta tarvitaan vain välillisesti tuetuissa palkeissa. Leikkausraudoitus lasketaan voimalle  $0,8V_d$  eli:

$$A_s = \frac{0,8V_d}{f_y} \quad (5)$$

Mitoittaessa tulee terästen mitoituslujuutena käyttää  $f_{yd}$ :tä, sillä kimmoteoriaan perustuva CEB-FIB mukainen menetelmä ei ota huomioon muodonmuutostilan sopivuutta raudoitukseen. (Leskelä 2008, 429–430.)

#### 4.3 Seinämäisen palkin aukot

CEB-FIB normissa on esitelty mitoittamista tapauksissa, joissa luonnollisella puristusvyöhykkeellä on pieniä tai keskikokoisia aukkoja. Kuten jo aikaisemmin todettiin, aukkojen todellista vaikutusta seinämäisten palkkien kaltaisiin korkeisiin palkkeihin on tutkittu laajemmin myöhemmissä julkaisuissa. Modelcode 1990 täydentää vanhaa normia plastisuusteorialla ja ristikkomenetelmällä. Palkkeja, jotka käyttäytyvät seinämäisten palkkien tavoin, ja joissa on suuria aukkoja, vaatii ristikkomenetelmän tietämystä.



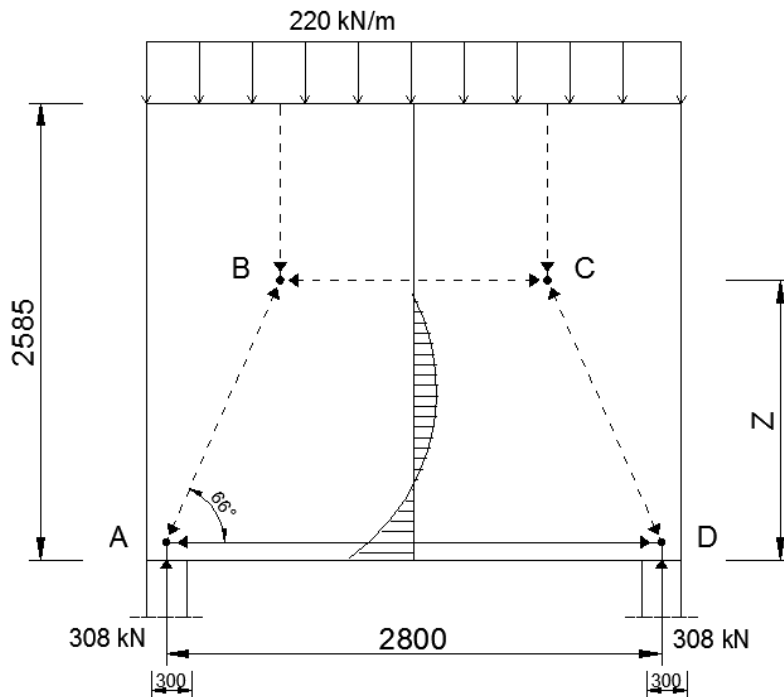
Kuva 4.10 Aukko luonnollisella puristusvyöhykkeellä.

#### 4.4 Laskuesimerkki

Laskuesimerkissä esitetään yksiaukkoinen seinämäinen palkki, jota kuormitetaan tasaisella kuormalla. Käytämme mitoittamisessa Eurokoodi 2:n mukaista ristikkomenetelmää. Suunnitellaan esimerkin ristikkomalli siten, että ristikon kuormitus jakautuu kahteen pisteeseen.

Laskennassa käytettävää symboliikkaa esiteltiin luvussa 1. Palkkia kuormittaa hyötykuormasta syntyvä tasainen kuorma  $q_k = 100\text{kN/m}$ , sekä pysyvästä kuormasta ja omasta painosta syntyvä kuorma  $g_k = 120\text{kN/m}$





Kuva 4.11 Laskettavan palkin ristikkomalli

Ristikön sisäisen momenttivaren korkeus määräytyy taulukon 3.1. mukaan.

$$Z = 0,15h(3 + L/h) = 0,15 * 2585\text{mm}(3 + \frac{2800\text{mm}}{2585\text{mm}})$$

Palkille määritetystä ristikosta saadaan seuraavat sauvavoimat:

Taulukko 3.3 Sauvavoimat

Sauvat	AB	BC	CD	AD
Voimat (kN)	337	136	337	136

Vedettyjen sauvojen mitoitus

Tarvittava rauditus sauvalle AD:

$$A_{s,AD} = \frac{F_{AD}}{f_{sd}} = \frac{136\text{kN}}{435\text{Mpa}} = 312\text{mm}^2 \quad \Rightarrow 4T10$$

Vetoraudoitus jaetaan symmetrisesti kahteen kerroseen raudoituksen painopisteen mopeimmille puolille. Vetoraudoitus ankkuroidaan täydelle voimalle. Sauvat AB, BC ja CD ovat puristettuja.

#### Puristettujen sauvojen mitoitus

Puristettujen sauvojen puristuskestävyyttä ei tarvitse tarkastaa, sillä solmupisteiden puristuskestävyys tulee ratkaisevaksi. Tarkastetaan kuitenkin puristussauvojen tarvittava tila, sekä puristuksesta syntyvä kohtisuora vetovoima voima  $F_t$ . Puristusvyöhyke tulee raudoittaa kohtisuoraa vetovoimaa vastaan. Eurokoodi 2:n mukaan raudoitettuihin seiniin tulee laittaa vähintään  $\rho_{w,dbmin} = 0,1 \%$  ehdon täyttävä verkkoraudoitus, tai vähintään  $150mm^2/m$  ja tankovälin tulee olla  $\min\{2 *; 300\}mm$ . Verkon riittävyys raudoitteena kohtisuoraa vetovoimaan vastaan tulee tarkastaa. (Eurokoodi 2 2007, 161)

Lasketaan puristetulle sauvalle aiheutuva kohtisuora vetovoima:

$$F_t = 0,25F_{c2} = 0,25 * 337kN = 84kN$$

Tarvittava raudoitus on siis:

$$A_{sw} = \frac{0,084MN}{435Mpa} = 0,0001931m^2 = 193mm^2 \leq A_{sw,min}$$

Raudoitus jaetaan tasaisesti kuvan 4.12 mukaisesti vetoraudoitetulle alueelle. Tässä tapauksessa minimiraudoitus riittää.

#### Solmupisteen tarkastus

Lasketaan solmupisteen korkeus  $u$ , joka riippuu vetoraudoituksen ankkuroinnista.

$$u = 2c + (n-1)s = 2 * 150mm + (2-1) * 215mm = 515mm$$

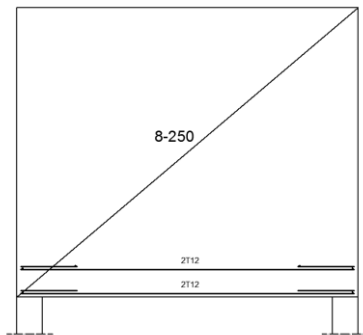
Kun sauvojen välinen kulma  $\theta$  ja solmun korkeus  $u$  ovat tunnettuja, voidaan laskea diagonaalin leveys:

$$a_2 = a_1 \sin \theta + u \cos \theta = 300 * \sin 66^\circ + 515 \text{mm} * \cos 66^\circ = 483 \text{mm}$$

Solmussa tarkastetaan tukipaine ja diagonaalin puristusjännitys:

$$\delta_{c1} = \frac{F_{c1}}{a_1 b} = \frac{308 \text{kN}}{300 \text{mm} * 200} = 5,1 \text{Mpa} \leq f_{cd3}$$

$$\delta_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 b} = \frac{337 \text{kN}}{483 \text{mm}} = 3,5 \text{Mpa} \leq f_{cd3}$$



Kuva 4.12 Valmis raudoitus

## 5 LASKENTAPOHJAT

### 5.1 Laskentapohjien vaatimukset

Laskentapohjien tulee täyttää standardien SFS-EN 1990-1-1 ja -2-1 asettamat vaatimukset. Sen lisäksi laskentapohjien tulisi olla käyttäjystävällisiä ja tarjota selkeät tulokset laskennasta. Kuormalaskennan osalta laskentapohjat tehdään niin, että käyttäjä voi verrata eurokoodin mukaisia laskelmia rakennusmääräyskokoelman osan B1 vastaaviin laskelmiin. Kohteita ei suunnitella tällä hetkellä kokonaan eurokoodeilla, vaan osittain rakennusmääräyskokoelman B1 mukaan. Rakennesuunnittelijat määrittelevät rakennusmääräyskokoelman B1 ja Eurokoodi 1 mukaiset kuormat kuviin.

Seinämäisen palkin laskenta suoritetaan myös lineaarisen tarkastelun (ks. CEP-FIB menetelmä) mukaisesti. Laskentaohjelma suorittaa myös yksinkertaistetun laskennan eurokoodien mukaisen strut-and-tie menetelmän (STM) avulla.

Laskentapohjat on tarkoitus liittää osaksi seinämäisen palkin mitoitus ja mallintamista varten Tekla Structures ohjelmistoon. Tästä johtuen laskentapohjat suunnitellaan toimivaksi tämän tarkoituksen mukaisesti. Tämä karsii laskentapohjien käyttöä käsin laskennassa.

## 5.2 Laskentapohjien sisältö

Laskentakuormat voidaan laskea käsilaskentana, tai käyttää laskentaohjelmaa. Kuormien laskentapohja on pieni apuväline kuormien yhdistelyyn laskentakuormaksi. Sen tarkoitus on helpottaa laskennan aloittamista, ja saatujen tulosten dokumentointia. Laskentapohjassa suoritetaan vain elementtisuunnittelussa tarvittavien pystykuormien laskenta ja yhdistely. Varsinaiset kuormitukset on määritelty rakennesuunnitelmissa.

Kuormitukset esitetään SFS-EN 1991-1-1 standardin mukaisesti. Käyttäjä voi verrata saatuja kuormia rakennusmääräyskokoelman B1 vastaaviin kuormiin.

Seinämäisen palkin laskentapohjassa suoritetaan laskenta yksiaukkoiselle seinämäiselle palkille. Laskenta suoritetaan lineaarisella menetelmällä sekä ristikkomenetelmällä yksinkertaiselle ristikolle, jota kuormittaa tasainen kuorma.

### 5.2.1 Laskentakuormat

Kuormien laskentapohjassa syötetään rakennesuunnitelmissa annetut kuormitukset. Syötetyt kuormat lasketaan viivakuormaksi rakenteelle. Esimerkiksi seinälle aiheutuvat viivakuormat saadaan holville aiheutuvasta kuormituksesta ja kuormitusalueesta. Ominaiskuormien kenttiin syötetään rakenteen omapaino, holville aiheutuvat kuormat ja kuormitus luokat. Vaikutusalueen pituus määritetään tasossa rakenteen molemmille puolille. Kuvassa 5.1 on esitetty ominaiskuormien syöttökenttä.

1. Kuormat

EC1 (SFS-EN 1991-1-1)

Luotettavuusluokka:  K<sub>fi</sub>= 1,0    Hyötyγ<sub>s</sub>- 1,5  
Pysyväγ<sub>s</sub>- 1,15

1.1 Ominaiskuormat

**Yläpohja:**

		1 [kN/m <sup>2</sup> ]	2 [kN/m <sup>2</sup> ]
Lumikuorma	Q <sub>k1</sub> =	0,0	0,0
Lisälumikuorma	Q <sub>k2</sub> =	0,0	0,0
Hyötykuorma	Q <sub>k3</sub> =	0,0	0,0
Pysyväkuorma	G <sub>k1</sub> =	0,0	0,0
Holvi	G <sub>k2</sub> =	0,0	0,0
Vaikutusalueet:		1,50 m	3,40 m

**Kerrokset 1-z:**

Omapaino	G <sub>k1</sub> =	0,0	12,9
Holvi	Q <sub>k1</sub> =	2,0	2,0
Pysyväkuorma	Q <sub>k2</sub> =	0,0	0,0
Hyötykuorma	Q <sub>k3</sub> =	0,0	0,0
Vaikutusalueet:		5,00 m	1,50 m
Kerrokset:		5	

Kuva 5.1 Pystykuormien laskenta

Laskennasta saadaan tulostettua kuormituskortti, joka voidaan liittää osaksi rakenneosan laskelmia.

### 5.2.2 Materiaalien lujuudet

Betonin lujuus ilmoitetaan pääasiassa puristuslujuutena. Puristuslujuus on mitattu keskimääräinen puristuskestävyys standardikoe-kappaleita puristaessa. Kappaleet ovat joko kuution tai lieriön muotoisia. Eurokoodissa luokittelu perustuu lieriölujuuteen, kun taas Betoninormeissa luokittelu perustuu kuutiolujuuteen. Vetolujuus on saatu kokeellisesti arvioiden halkaisu- ja taivutuskokeista. Teräksellä veto ja puristuslujuus ovat samat. (Leskelä 2008, 30–33)

Laskentapohjassa on neljä osuutta. Ensimmäisessä kysytään käyttäjältä materiaalien ominaisarvoja materiaalilujuuksien laskemista varten. Lähtötiedot tulee syöttää sinisellä värjättyihin kenttiin, kuten kuvassa 4.2 näkyy. Muut solut on lukittuja.

1.1 Lähtötiedot			
Rakenneluokka		2	
Betonin lujuus		C30	fck= 30 N/mm <sup>2</sup>
Teräksen lujuus	fyk=	500 N/mm <sup>2</sup>	fcd= 17,0 N/mm <sup>2</sup>
Suojabetoni	c=	25 mm	fctk= 2,0 N/mm <sup>2</sup>
			fctd= 1,4 N/mm <sup>2</sup>
			fyd= 435 N/mm <sup>2</sup>

Kuva. 5.2 Lähtötiedot

### 5.2.3 Seinämäisen palkin poikkileikkauksen laskenta

Seuraavassa kohdassa käyttäjältä kysytään seinämien palkin laskennassa tarvittavia lähtötietoja. Laskentatiedoissa määritetään palkin geometria ja rasitukset. Laskentapohja on tarkoitettu ainoastaan yksinkertaisesti tuetun palkin laskentaan.

1.2 Laskentatiedot			
Seinän korkeus	h=	2800 mm	
Seinän leveys	b=	200 mm	
Jännemitta	Lef=	1300 mm	
Tukipinnan pituus	a1=	200 mm	
Taivutusmomentti	Md=	47 kNm	
Leikkausvoima	Vd=	144 kN	

Kuva 5.3 Laskentatiedot

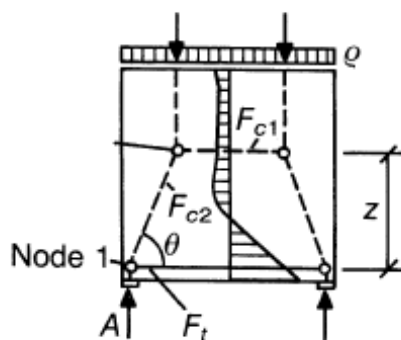
Seinämäisen palkin pääraudoitus mitoitetaan rakennusmääräyskokoelman mukaisella menetelmällä. Seinän molempiin pintoihin tulee vähintään betoninormien mukainen minimiraudoitus, joka täyttää myös Eurokoodi 2 teräsbetoni rakenteen määritelmän. (Eurokoodi 2 2007, 161)

Laskennassa saatu teräsmäärä muutetaan sopivan kokoiseksi symmetriseksi raudoitukseksi, jossa kaksi tankoa muodostaa rivejä. Rivit jaetaan tasaisesti vetoraudoitusvyöhykkeelle, siten että vetosauva on raudoituksen painopisteessä. Väli pyritään pitämään järkevänä 200 mm ja 70 mm välissä. Teräksiä määritettäessä pyritään käyttämään haluttuja kokoja. Pääterästen minimikoko on 12 mm ja suurin sallittu 16 mm. Yli 16 mm teräksillä tulee tarkastaa tavanomaisen ankkuroinnin sopivuus ja halkeilu. Käyttäjä ei siis pääse itse määrittelemään käytettäviä teräksiä vaan ohjelma laskee sopivimman yhdistelmän. Mallintaessa käyttäjä voi halutessaan muuttaa teräsmäärän mieleisekseen yhdistelmäksi.

1.3 Laskenta (CEB-FIB mc 1990)			
Toimiva korkeus	hef=	1000	mm
Momenttivarsi	z=	950	mm
Jakoalueen korkeus	h,max=	448	mm
Jako:		90	mm
Pääterästen määrä:	As=	932	mm <sup>2</sup>
Pääterästen koko:		12	mm
Pääterästen rivien lukumäärä:		5	kpl
Seinäraud, min:		201	mm <sup>2</sup> /m
Verkkoteräs:		11	mm =>
Verkon jakoväli:		250	mm

Kuva 5.4 Laskenta vanhan ohjeen mukaan

Kohdassa 1.4 tarkastetaan yksiaukkoisen seinämäisen palkin tuetun nurkan solmupiste. Yksiaukkoiselle seinämäiselle palkille muodostetaan ristikkomalli, joka sisältää mahdollisimman vähän puristus ja vetosauvoja. Kuvassa 5.5 kuvataan palkin ristikkomallia. Nurkkapiste tarkastetaan heikomman nurkan pisteestä, jossa tukialue on lyhyempi. Sauvojen välinen kulma tulee  $\theta$  olla  $\geq 45^\circ$  eli  $\sim 0,78$  radiaania. Alle  $30^\circ$  kulmassa muodonmuutostilat eivät ole yhteensopivat. (Leskelä 2005, 441)



Kuva 5.5 Seinämäisen palkin ristikkomalli (Eurokoodi 2 2007)

Laskennassa määritetään tukireaktion perusteella solmupisteeseen kohdistuvan diagonaalien voima. Kulma määrittyy sisäisen momenttivarren ja puristus-solmupisteen sijainnin mukaan. Nurkkapisteessä solmun korkeus määrittyy käytettävän vetoraudoituksen mukaan. Useamman rauditusrivin myötä solmun korkeus ja leveys kasvaa, kuten aikaisemmin jo todettiin. Laskennassa tarkastetaan myös solmupisteen puristuskestävyys sekä tukipaine kestävyys.

Laskennassa tarkastetaan myös vetoterästen ankkurointikapasiteetti Eurokoodi 2:n mukaan. Laskennassa ei oteta oletuksena huomioon puristuksen tai poikittaisen rau-

doituksen hyötyä ankkurointialueella. Mikäli ankkurointikapasiteetti ei riitä, käytetään pitkittäisiä lenkkejä raudoituksen päässä lisäämään ankkurointikapasiteettia.

1.4 Nurkkapisteen tarkistus (STM)			
Vetovoima	$F_t =$	143	kN
Diagonaalivoima	$F_c =$	332	kN
Keskim. Puristuskest.	$f_{cd2} =$	9,0	N/mm <sup>2</sup>
Diagonaali kulma	$\Theta =$	64,5°	deg
Diagonaalin leveys	$a_2 =$	442	mm
Solmun korkeus	$u =$	608	mm
Vetoraudoitus	$A_s =$	329	mm <sup>2</sup> OK
Tukipaine	$\sigma_{c1} =$	10,0	N/mm <sup>2</sup> OK
Puristus solmussa	$\sigma_{c2} =$	5,0	N/mm <sup>2</sup> OK
Poikittainen vetoraudoit.	$A_{sw} =$	150	mm <sup>2</sup> /m OK
Ankkurointikapasiteetti:	$F_{b,Rd} =$	252	kN OK
Ankkurointilenkit +:	$F_{bd} =$	61	kN
Tarviiko lenkkejä:		ei	T8

Kuva 5.6 Laskenta ristikkomenetelmän mukaan

## 6 TIETOMALLINNUS (BIM)

### 6.1 Tietomallintaminen

BIM eli rakennuksen ja rakentamisen tietomallintaminen on tietojen käsittelyä digitaalisesti yhdessä kokonaisuudessa. Lyhenne BIM tulee englannin kielisistä sanoista Building information modeling. Tietomallintaminen eroaa tavallisesta CAD tasosuunnittelusta. Kaksiulotteisessa suunnittelussa tieto tulkitaan taso- tai leikkauskuvista. Tietomallintamisessa objektit ovat kolmiulotteisia ja voivat sisältää suuria tietomääriä koottuna yhteen.

Perinteisten piirustusten lisäksi mallista voidaan ottaa havainnollistavia kolmiulotteisia kuvia, jotka helpottavat rakenteiden hahmottamista. Mallista saadaan tehtyä piirustuksia automatisoiduilla työkaluilla, joka varmistaa kuvien yhteneväisyyden. Tietomallinnus ohjelmissa on usein myös muita automatisoituja työkaluja mallintamisen detaljointiin ja piirustusten tekoon.

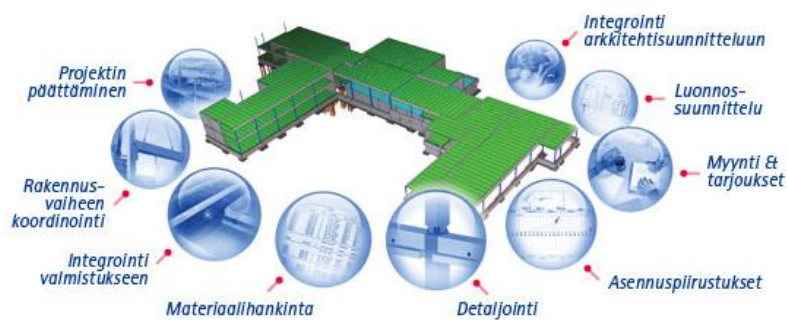
(Tietomallinnus 2013.)



## 6.2 Tekla Structures

Tekla Structures on tietomallinnusohjelmisto, joka palvelee rakentamisen kaikkia vaiheita. Teklalla voidaan luoda 3D-malleja, joita voidaan hyödyntää mm. suunnittelussa ja rakentamisessa. Mallit auttavat hahmottamaan monimutkaisiakin rakenteita ja detaljeja, joka vähentää virheitä suunnittelussa. Mallintamista voivat hyödyntää:

- Rakennusliikkeet
- Arkkitehti
- Rakennesuunnittelija
- Terässuunnittelija ja valmistaja
- Betonielementtisuunnittelija ja valmistaja



Kuva 6.1 Tietomallintamisen hyödyntäminen betonirakenteiden suunnittelussa (Tekla 2013.)

Teklalla tehtävät 3D-kappaleet voivat sisältää erilaisia tietoja kuten materiaali-, lujuus- ja profiilitietoja. Käyttäjä voi lisätä tarpeiden mukaan attribuutteja, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotannon hallinnassa ja aikataulutuksessa. Teklalla voidaan suunnitella erilaisia detaljeja. Kullekin suunnittelun ja käytön osa-alueelle on olemassa omat asetukset, jotka ovat räätälöity käyttäjän roolin mukaan. Tekla sisältää automatisoituja ominaisuuksia, kuten työkalun piirustusten luomiseen.

Tekla voidaan yhdistää muihin järjestelmiin Open API -rajapinnan avulla. Tekla voidaan yhdistää vaikkapa yrityksen käytössä oleviin tuotannosuunnittelu ohjelmistoihin. Suunnittelussa Open API -rajapintaa voidaan hyödyntää mm. laskenta- tai piirto-ohjelmien integroimisessa.

(Tekla oli BIM ennen kuin käsite keksittiin 2013.)

## 7 KOMPONENTIN LUOMINEN

### 7.1 Custom-komponentit

Tekla Structuresissa valmiina olevat komponentit ja objektit ovat yksinkertaisia perustyökaluja. Monimutkaisen rakenteen mallintaminen on hidasta, mikäli mallia aletaan tekemään alusta asti peruskomponenteilla. Custom-komponentti on työkalu, jonka avulla kerran mallinnettua osaa voidaan käyttää uudelleen. Parametrien avulla custom-komponentista saadaan joustava työkalu rakenneosien mallintamiseen. Custom-komponentit luodaan editorilla, joka sisältyy Tekla Structures -ohjelmistoon.

Tekla Structures sisältää mallinnukseen käytettävistä objekteista luotuja komponentteja. Komponenttien tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa mallintamista, ja sen muokkaamista. Komponentit päivittyvät mikäli käyttäjä tekee muutoksia kappaleisiin, johon komponentti on liitetty.

Tekla Structures sisältää custom component -editorin, jolla käyttäjä voi luoda omia komponentteja käyttäen Teklan objekteja ja komponentteja.

(Peruskäsitteitä 2013.)

### 7.2 C# -ohjelmointi

C# (sharp) on Microsoftin kehittämä ohjelmointikieli, joka on saanut isostandardin 2003. Ohjelmointikielenä C# on tehokas, mutta kuitenkin helppokäyttöinen. Se on kehitetty .NET-ympäristöä varten, joka helpottaa sovellusten kehittämistä. Tekla Open API hyödyntää .NET-sovelluskehystä.

.NET-sovelluskehitys on alun perin Windows –käyttöjärjestelmille suunniteltu sovelluskehys, joka tarjoaa valmiita komponentteja ohjelmien rakentamiseen. (Moghadam-pour 2013.)

### 7.3 Open API -rajapinta

Tekla Open API on ohjelmointirajapinta, jonka avulla Tekla structures -ohjelmistoon voidaan tehdä lisäohjelmia ja -ominaisuuksia. Tekla Open API mahdollistaa .NET sovellusten lisäksi tiedonsiirron COM –tekniikkaa hyödyntävien tietokantaohjelmien välille. Tällaisia ohjelmia ovat mm. MS Acces, MS Excel, Mathcad.

Tekla Open API on .NET pohjainen sovelluskehys kolmannen osapuolen ohjelmiston kehitykseen. Se tarjoaa rungon Tekla ohjelmistoon liitettäville ohjelmille. Tekla Open API sisältää valmiiksi rakennettuja osia ottaen huomioon kehitystarpeet. Se sisältää valmiita luokkia mm. model- ja drawing –plugin komponentteja varten. (Tekla North American User Meeting 2013.)

### 7.4 Plugin-komponentti

Plugin on pieni ohjelma tai applikaatio, joka toimii osana isompaa ohjelmaa. Plugin-ohjelman on tarkoitus tuoda jokin lisäominaisuus, joka tekee ohjelman käytöstä paremman käyttäjän tarkoituksiin. Teklassa komponentit sisältävät näitä ominaisuuksia. Plugin komponentti erottuu custom-komponenteista siinä, että se on luotu ohjelmointikieltä hyödyntäen. Plugin-komponentti on kolmannen osapuolen tekemä ohjelma, joka hyödyntää Teklan rajapintoja (interfaces). Tekla Structures tarjoaa API yhteyden pää ohjelmasta.

Plugin komponentit jaetaan Model- ja Drawing- komponentteihin, joiden tarkoitus on nimen mukaisesti tarjota ominaisuuksia mallin ja piirustusten luomisessa. Model-komponentti on ohjelma, joka voidaan toteuttaa mallissa. Model-komponentilla voidaan toteuttaa kaikkia Teklan käytössä olevia objekteja, ja muodostaa esimerkiksi liitoksia. Sillä on oma käyttöikkuna (dialogi), josta sen käyttö säädetään ja ohjataan. Käytettävissä olevat Plugin-komponentit löytyvät, ja niitä voi käyttää Teklan Component-katalogin kautta. Jotkin Teklan mukana tulevat komponentit, kuten Radial Grid ovat toteutettu Plugin-komponentin tapaan.

Tekla Open API mahdollistaa system-komponenttien käytön. Yhteyttä voidaan hyödyntää Plugin-komponentissa tai vaikka erikseen suoritettavassa exe-sovelluksessa. Suurin ero Tekla Structures -ohjelmistossa toteutettavien Plugin-komponenttien ja ul-

koisten .exe-komponenttien välillä on se, että Plugin-komponentilla on UI (UserInterface), jota voidaan määrittää esimerkiksi Teklan dialogista.

## 7.5 Plugin-ohjelman rakenne

Tässä kappaleessa käymme läpi model plugin -komponentin luomista seinämäisen palkin raudoitukseen. Komponentin tarkoitus on lisätä kappaleeseen tarvittavat raudoitteet ja mitoittaa ne annettujen lähtöarvojen mukaan. Lähtöarvona laskentaa varten annetaan kappaleelle syntyvät rasiusten mitoitusarvot Md ja Vd. Mitoitus suoritetaan ulkopuolisena mitoituksena, hyödyntäen Excel-laskentapohjia. Seuraavassa käydään läpi Plugin-komponentin rakennetta pääpiirteittäin.

### 7.5.1 Referenssit

Ohjelman alussa määritellään referenssit pääohjelmaan, joita ohjelma hyödyntää. Referenssit ovat viitteitä luokkakirjastoihin (.dll), Luokkakirjastoista löytyvät pääohjelman tarjoamat komponentit, joita Plugin-ohjelma käyttää. Esimerkiksi käytettävät system-komponentit löytyvät nimiavaruudesta (namespace) Tekla.Structures.Model polun alta.

```
using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using System.Windows.Forms;

using Tekla.Structures.Geometry3d;
using Tekla.Structures.Model;
using Tekla.Structures.Model.UI;
using Tekla.Structures.Plugins;
```

Kuva 7.1 Referenssit

### 7.5.2 Muuttujat

Ohjelman alussa määritetään julkiset muuttujat. Ne ohjailevat komponentin toimintaa, kuten parametrit ohjailevat custom-komponentteja. Muuttujat ovat C#:n mukaisesti integer, string, double jne. tyyppisiä. Muuttujan arvo voi olla vakio, tai sitä voidaan muuttaa komponentin käyttöikkunan dialogista (Form/INP definition). Structures-Data-luokan julkiset muuttujat ovat tarkoitettu dialogin parametreja varten.

```

public class PluginData
{
    #region Fields
    //
    // Define the fields specified on the Form.

    [Tekla.Structures.Plugins.StructuresField("bar_size")]
    public string BarSize;
}

```

Kuva 7.2 Muuttuja dialogia varten

Run ()-metodin muuttujat voivat olla yksityisiä muuttujia. Olio ohjelmoinnissa pyritään käyttämään yksityisiä muuttujia, koska julkisia muuttujia voidaan käyttää luokan ulkopuolelta. Suuremmissa ohjelmissa tämä voi aiheuttaa ongelmia, ja vaikeuttaa vian etsintää.

```

private string _BarSize = string.Empty;
private int _Rows = new int();
private int _Spacing = new int();
private string MeshProfile = string.Empty;

```

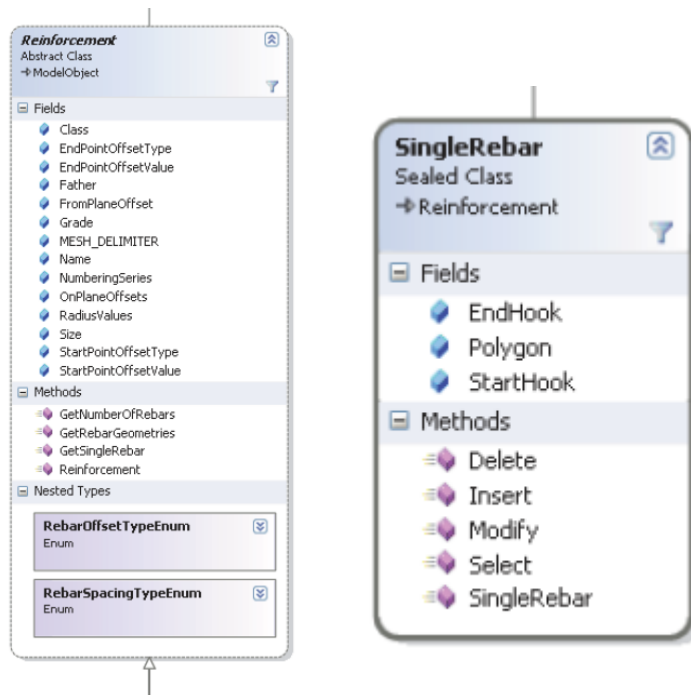
Kuva 7.3 Private muuttujat

### 7.5.3 Override run metodi

Ohjelman toteuttava osa suoritetaan override metodissa. Override metodi nimensä mukaisesti ylikirjoittaa komponentille tarkoitetun Run metodin PluginBase-luokasta.

Run()-metodissa käytetään Open API:n tarjoamia objektiluokkia (esim. abstract class reinforcement) ja sen metodeja ja muuttujia. Kuvassa 7.4 on esitetty kaavio raudoitteita tekevän luokan muuttujista ja metodeista. Halutussa luokassa voidaan antaa esimerkiksi muuttujat, jonka mukaan objekti luodaan (esim. SingleRebar luokassa).

Override-metodin sisällä voidaan toteuttaa muitakin toimintoja kuin komponenttien lisääminen. Sen sisälle voidaan lisätä esimerkiksi omia metodeja jotka sisältävät laskennallisia osia. Tässä työssä tehdään metodi joka kirjoittaa Excel tiedoston soluihin. Kuvassa 7.5 on esitetty override-metodi, joka sisältää toisen metodin.



Kuva 7.4. Kaavio käytettävistä muuttujista ja metodeista

Ennen override run metodia määritetään komponentin syötet (inputs) override list metodissa. Tämän komponentin tapauksessa Picker-toiminolla valitaan haluttu kappale (Part), johon rauditus lisätään. Ohjelmassa pystytään hakemaan valitulta kappaleelta pisteitä, joita käytetään komponenttien lisäämiseen.

```

public override bool Run(List<InputDefinition> Input)
{
    try
    {
        GetValuesFromDialog();
    }
}
  
```

Kuva 7.5 Override metodi

Yksi suurimmista hyödyistä verattuna custom-komponentteihin on se, että plugin-komponentissa override list voidaan määrittää useammilla tavoilla. Tekla Open Api sisältää muutamia valmiita input-toimintoja enum-muodossa. Kuvassa 7.6 Picker-toiminto käskää käyttäjää valitsemaan yhden kappaleen, johon komponentti lisätään.

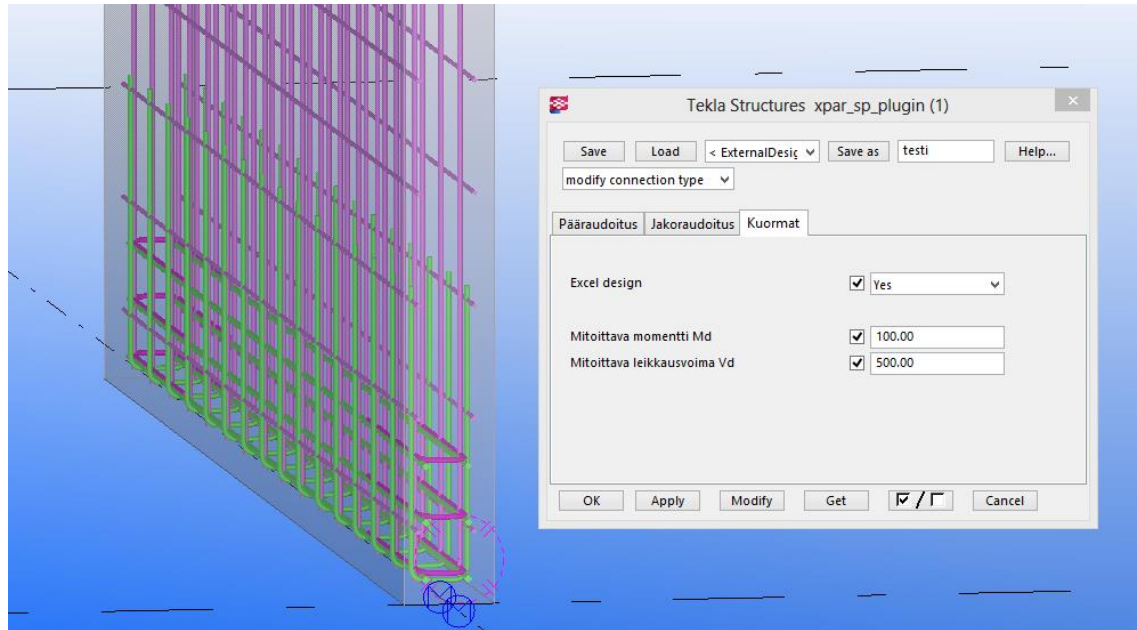
```

Picker picker = new Picker();
List<InputDefinition> inputList = new List<InputDefinition>();

ModelObject o1 = picker.PickObject(Picker.PickObjectEnum.PICK_ONE_PART);
InputDefinition input1 = new InputDefinition(o1.Identifier);
  
```

Kuva 7.6 Override list -metodin määrittely

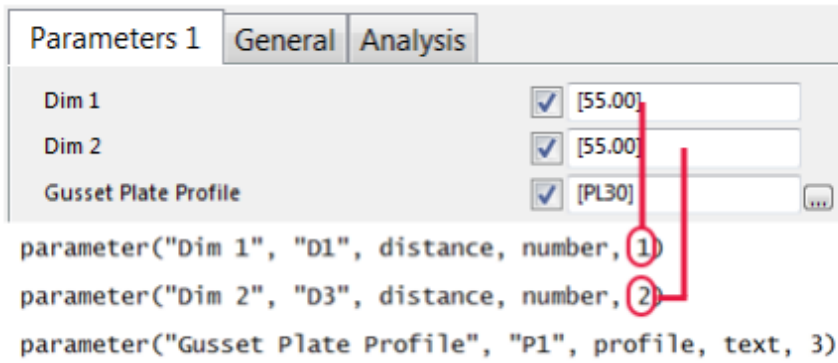
Pääraudoitus toteutetaan Rebargroup-luokalla, jossa komponentille annetaan halutut pisteet isäntäkappaleen (Part) koordinaatistosta. Komponentille ei siis syötetä pisteitä, joiden välille komponentti lisätään. Komponentti lisää silmukkatoiminolla pisteet haluttuihin tasoihin, joiden lukumäärä määritetään dialogissa. Mikäli Excel-laskennassa todetaan tarve ankkurointilenkeille, ohjelma lisää lenkit terästen päähän. Tähän osaan lisätään myös laskenta, joka laskee tarvittavan teräsmäärän ankkurointilenkeille. Lenkkejä ei haluta toteuttaa yli 12 mm teräksillä.



Kuva 7.7 Komponentin tekemä raudoitus ja dialogi

#### 7.5.4 INP defenition

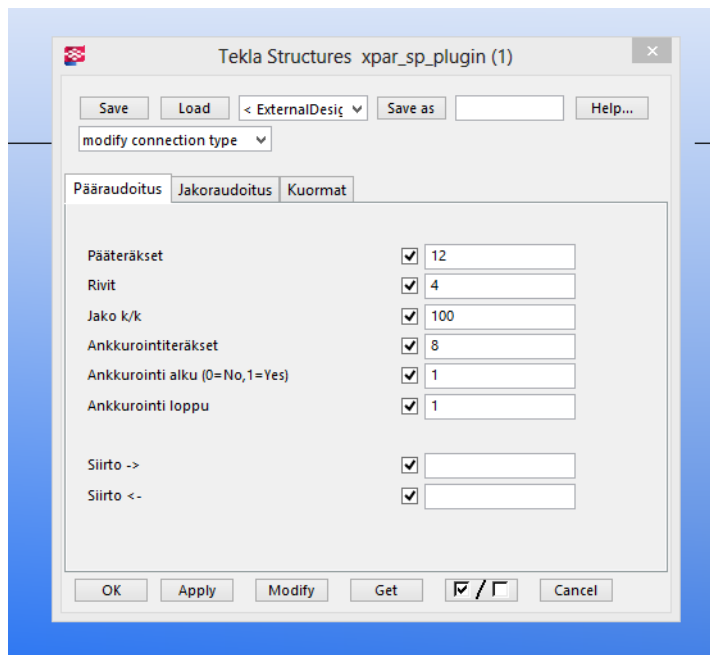
Tekla Structuresin dialog box -käyttöikkuna lukee attribuutteja .Inp tiedostoista. Lyhenne inp tulee sanoista Input defenition. Dialog box on Teklan sisäinen käyttöikkuna komponenteille. Dialogin määritelmä kirjoitetaan INP tiedostoon, tai tämän komponentin tapauksessa komponentin yhteyteen. INP tiedostoa määritellään parametrit joita käyttöikkunasta voidaan säädellä. INP dialogiin voidaan lisätä parametrien lisäksi havainnollistavia kuvia. Kentät, joihin parametrit sijoitetaan, voidaan sijoittaa eripuolille ikkunaa. Parametrien sijaintia ikkunassa määritetään numeroilla, kuten kuvassa 7.8.



Kuva 7.8 Dialogin parametrien sijainti

INP tiedot sisältävät parametrien lisäksi mm. attribuutteja joiden avulla dialogiin voidaan lisätä tekstiä ja kuvia. Näiden tietojen avulla Tekla Structures -ohjelma määrittää komponentin dialogi-ikkunan.

```
public const string dialog =
    @"page("TeklaStructures", "")
    {
        plugin(1, "xpar_sp_plugin")
        {
            tab_page("", "Pääraudoitus", 1)
            {
                parameter("Pääteräkset", "bar_size", string, text, 2)
                parameter("Rivit", "rows", integer, number, 3)
                parameter("Jako k/k", "spacing", integer, number, 4)
                parameter("Ankkurointiteräkset", "u_bar1", string, number, 5)
                parameter("Ankkurointi alku", "uhar_start", YesNo, number, 6)
            }
        }
    }
```



Kuva 7.9 Dialogin parametrit



### 7.5.5 Yhteys Excel-ohjelmaan

Yhteys Excel-ohjelmaan toteutetaan Open API rajapintaa hyödyntäen. Tekla Structures -ohjelmistossa on sisään rakennettu Plugin-ohjelma, joka lukee ja kirjoittaa Excel-laskentapohjan soluihin. Excel-Plugin on tarkoitettu custom-komponentin linkitykseen Excel-ohjelmaan. Se lukee lähtö arvon custom-komponentin parametrissa ja kirjottaa Excel-taulukossa tehdystä laskennasta saadun arvoon toiseen dialogin kenttään.

Tässä työssä tehdään kuitenkin metodi, joka suorittaa Excel-soluihin kirjoituksen. Kuvassa 7.10 on esimerkki koodista, jolla Excel-soluihin kirjoittaminen voidaan suorittaa. Teklan tarjoaman Open API -rajapinnan avulla lähtötiedot voidaan lukea dialogista. Laskentapohja toteutetaan kuitenkin niin, että sitä voidaan käyttää myös custom-komponenteille tarkoitettulla Excel-Pluginilla.

```
Microsoft.Office.Interop.Excel.Application excelApp = new Microsoft.Office.Interop.Excel.Applica
ExcelX.Workbook workbook = excelApp.Workbooks.Open(basename);

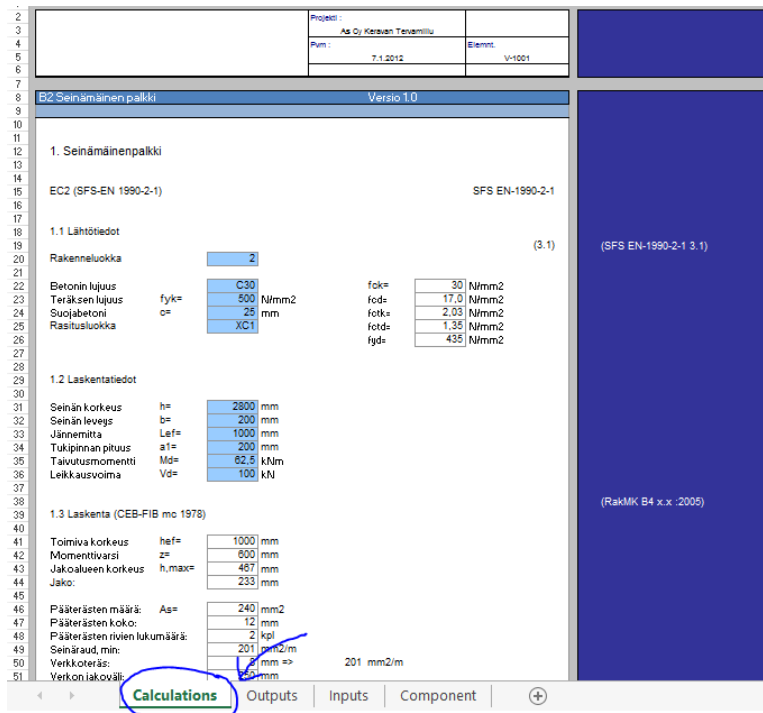
ExcelX.Worksheet worksheet = (ExcelX.Worksheet)workbook.Worksheets[3];
worksheet.Activate();

int rowIndex_Md = 2; int colIndex_Md = 5;           // Mitoittava momentti Md
excelApp.Cells[rowIndex_Md, colIndex_Md] = _Md;
```

Kuva 7.10 Excel-Plugin

Komponenttiin sisällytetty Excel-yhteysohjelma etsii laskentapohjaa nimellä component\_ + komponentin nimi, joka sijaitsee exceldesign kansiossa. Tässä tapauksessa laskentapohja nimetään component\_sp\_pluin.xml nimiseksi.

Valmis laskentapohja tulee siis asettaa Teklan component\_template.xls pohjalle, jotta se toimisi myös Teklan oman Excel-Pluginin kanssa. Lisätty laskentapohjan työkirja tulee nimetä kuten kuvassa 7.11



Kuva 7.11 Laskentasivun nimeäminen

Teklan Excel pluginin toimintaa voidaan säätää Excel.cs tiedostosta käsin. Tämä tiedosto löytyy Tekla Structures 18 -versiossa polusta `/TeklaStructure/enviroments/common/exeldesign`.

## 7.6 Laskelmien tulostus

Komponentin suoritettua laskennan, tulostetaan laskennasta saatu mitoituskortti. Kortti tallentuu automaattisesti.xls muodossa laskelmat-kansioon työn alle. Kortista voidaan tehdä tuloste arkistointia varten. Liitteessä 1 on esitetty mitoituskortin tuloste.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda mitoitettava komponentti Tekla Structures -ohjelmistoon, ja tutustua Plugin-tyyppisten komponenttien käyttömahdollisuuksia. Työn tavoitteena oli myös tutkia ja perehtyä seinämäisen palkin mitoitustapoihin ja ongelmakohtiin. Työssä selvitettiin asioita, joita pitää ottaa huomioon seinämäisen palkin mitoittamisessa. Työssä ilmeni, että kriittisimmät kohdat seinämäisen palkin mitoittamisessa ovat tukialueella.

Työssä käytiin läpi seinämäisen palkin mitoittamisen lisäksi Tekla Structures -mallintamisohjelmistoa ja mitoituskomponentin luomista. Teoriaosuudessa pyrittiin

selvittämään ilmiöitä, joita vaikuttavat seinämäisen palkin mitoittamiseen. Tekla Structures -komponentin luomisessa pyrittiin rajaamaan aihetta itse Plugin-komponenttien luomiseen. Työn esitys on lyhyt läpileikkaus komponenttien maailmaan. Plugin-komponenttien maailma on hyvin monimuotoinen, ja niiden luomiseen ja vaaditaan C# ohjelmointi kielen osaamista. Komponenttien pääsääntöiseen tekemiseen ei kannata vasta-alkajan ryhtyä.

## 9 POHDINTA

Rakennusten ja rakenteiden suunnittelu kehittyy kokoajan. Niin myös ohjelmien joilla rakennuksia suunnitellaan, tulee kehittyä jatkuvasti. Tämä opinnäytetyö toimii pohjana komponentille, jota voidaan kehittää tarpeiden mukaan. Uusia ideoita tulee varmasti koko ajan lisää. Ennen kaikkea tässä työssä selvitettiin mahdollisuuksia, joita eri komponentit voivat tarjota Tekla Structures -ohjelmistossa. Tämä komponentti testataan tilaajan toimesta, ennen kuin se voidaan ottaa käyttöön. Tähän mennessä komponenttiin on tullut jo joitakin ideoita lisää, jonka pohjalta sitä voidaan kehittää.

Mielestäni tietomallinnus ja automatiikkaa hyödyntävät ohjelmistot tuovat varmuutta suunnitteluun. 3D-mallintaminen parantaa rakenteiden hahmottamista ja ymmärtämistä. Näiden ominaisuuksien myötä inhimilliset virheet vähentyvät, ja aikaa jää enemmän todellisten ongelmien ratkomiseen.

Mitoituskomponenttia tehdessä huomasin kuinka tärkeä suunnittelijan on hallita käyttämänsä apuvälineet. Liiallisella automaattisuudella voi olla haittapuolensa. Kun laskennan eri vaiheita ei näe, voi virheellisillä lähtötiedoilla saada myös järkevän oloisia lopputuloksia. Suunnittelijan tulee aina tietää, miten jokin laskentapohja tai apuväline toimii. Muutoin kannattaa suunnittelu tehdä vaihe vaiheelta. Yksi huomioitava asia komponentin kehittämisessä on se, että käyttäjän tekemät virheet pystyttäisiin minimoimaan. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi ohjeet, selkeä käyttöliittymä ja erilaiset virheiden tunnistukset.

Työn aikana huomasin myös sen, kuinka Teklan komponenttien tekeminen auttoi kehittämään mallintamisen taitoja. Uskon että tämän työn aikana opin myös paljon uutta mallintamisesta kyseisellä ohjelmalla. Komponenttien tekemiseen vaaditaan tietoja ja taitoja Teklan peruskomponenttien käsittelystä lähtien. Vaikka suurempien komponenttien luomisessa kannattaakin turvautua ohjelmistoalan ammattilaisen puoleen, us-

kon, että joitakin komponentteja kannattaa kehittää myös yrityksen sisällä. Myös Tekla kehittää komponenttejaan jatkuvasti palvelemaan monenlaisia käyttäjiä ja kohteita.

## LÄHTEET

Beeby, W. – Narayanan, R. S. 1995. Designers handbook to Eurocode 2. London. Thomas Telford Services Ltd.

CEB-FIB. 1990. CEB-FIB Modelcode 1990. London. Thomas Telford Services Ltd.

Elementtirakentamisen historia. 2013. Betoniteollisuus ry. [viitattu 1.2.2013.] Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Eurokoodi 2. 2007. SFS-EN 1992-1-1. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Hissikuilut. 2013. Betoniteollisuus ry. [viitattu 1.2.2013.] Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/hissikuilut?term=hissikuilut>

Leskelä, M. 2005. By 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki. Libris Oy.

Mallintava suunnittelu. 2013. Betoniteollisuus ry. [viitattu 1.2.2013.] Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>

Massiivilaatat. 2013. Betoniteollisuus ry. [viitattu 1.2.2013.] Saatavissa:

<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/massiivilaatat?term=massiivilaatta>

Moghadampour, G. 2013. C# -ohjelmointi. Vantaa. Hansaprint Oy.

Peruskäsitteitä. 2013. Tekla. [viitattu 10.4.2013] Saatavissa:

<http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/Pages/basic-concepts.aspx>

Parma Oy. 2013. Hissikuilut. [Viitattu 1.2.2013.] Saatavissa:

<http://www.parma.fi/tuotteet/seinaet/hissikuilut-ja-vaeliseinaet>

Schaefer Kurt. 1999. Fib bulletin: Structural Concrete: Textbook on Behaviour, Design and Performance, volume 3. Stuttgart. Sprint-Druck.

Suunnittelu ja tiedonhallinta. 1995. RRT Rakennustuoteteollisuus ry. Suunnittelu ja tiedonhallinta. Lahti. Lahden Kirjapaino ja Sanomalehti Oy

Tekla North American User Meeting 2012. Tekla. [viitattu 10.4.2013] Saatavissa: [http://www.tekla.com/us/about-us/events/Documents/um12/presentations/technical\\_sessions/API/UM12-API-Session3\\_Creating\\_Model\\_Plugins.pdf](http://www.tekla.com/us/about-us/events/Documents/um12/presentations/technical_sessions/API/UM12-API-Session3_Creating_Model_Plugins.pdf)

Tekla oli BIM ennen kuin käsite keksittiin. 2013. Tekla. Tekla oli BIM ennen kuin käsite keksittiin. [viitattu 10.4.2013] Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/solutions/building-construction/Pages/bim.aspx>

Teollinen valmisosarakentaminen. 2013. Betoniteollisuus ry. [viitattu 1.2.2013.] Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen>

Tietomallinnus. 2003. Suomen Rakennusinsinöörien liitto. [viitattu 10.3.2013.] Saatavissa: <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>

Tjen Tjhin. 2003. Strut-and-Tie Models. [viitattu 17.3.2013] Saatavissa: <http://dankuchma.com/stm/STM/Models.htm>

	Projekti :	
	As Oy Keravan Esimerkki	
	Pvm :	Elemnt.
	7.1.2012	V-1

## 1. Seinämäinenpalkki (tasaisesti kuormitettu)

EC2 (SFS-EN 1992-1-1)

SFS EN-1992-1-1

## 1.1 Lähtötiedot

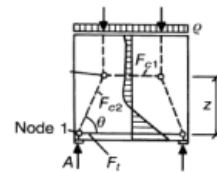
Rakenneluokka		2	(3.1)
Betonin lujuus		C30	
Teräksen lujuus	$f_{yk} =$	500 N/mm <sup>2</sup>	
Suojabetoni	$c =$	25 mm	
Rasitusluokka		XC1	

$f_{ck} =$	30 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cd} =$	17,0 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctk} =$	2,03 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctd} =$	1,35 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd} =$	435 N/mm <sup>2</sup>

## 1.2 Laskentatiedot

Seinän korkeus	$h =$	3600 mm
Seinän leveys	$b =$	160 mm
Jännemitta	$l_{ef} =$	3000 mm
Tukipinnan pituus	$a_1 =$	300 mm
Taivutusmomentti	$M_d =$	225 kNm
Leikkauvoima	$V_d =$	300 kN

Rakennemalli:



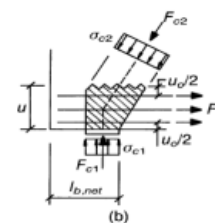
## 1.3 Laskenta (CEB-FIB mc 1978)

Toimiva korkeus	$h_{ef} =$	3000 mm
Momenttivarsi	$z =$	1800 mm
Jakoalueen korkeus	$h_{,max} =$	600 mm
Jako:		250 mm
Pääterästen määrä:	$A_s =$	288 mm <sup>2</sup>
Pääterästen koko:		12 mm
Pääterästen rivien lukumäärä:		2 kpl
Seinäraud, min:		160 mm <sup>2</sup> /m
Verkkoteräs:		8 mm =>
Verkon jakoväli:		250 mm

201 mm<sup>2</sup>/m

## 1.4 Nurkkapisteen tarkistus (STM)

Vetovoima	$F_t =$	125 kN	
Diagonaalivoima	$F_c =$	325 kN	
Keskim. Puristuskest.	$f_{cd2} =$	9,0 N/mm <sup>2</sup>	
Diagonaali kulma	$\Theta =$	67,4° deg	
Diagonaalin leveys	$a_2 =$	623 mm	
Solmun korkeus	$u =$	900 mm	
Vetorausitus	$A_s =$	288 mm <sup>2</sup>	OK
Tukipaine	$\sigma_{c1} =$	6,3 N/mm <sup>2</sup>	OK
Puristus solmussa	$\sigma_{c2} =$	3,3 N/mm <sup>2</sup>	OK
Poikittainen vetorausitus.	$A_{sw} =$	160 mm <sup>2</sup> /m	OK
Ankkurointikapasiteetti:	$F_{b,Rd} =$	397 kN	OK
Ankkurointilenkit +:	$F_{bd} =$	61 kN	
Tarviiko lenkkejä:		ei	T8



(6.5)

(8.4)