

**LIITTORAKENNEKURSSI
EC4 LIITTORAKENTEET
16.12.2014**

**BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT
TAVALLISESTA RAKENNETERÄKSESTÄ TAI RST-
TERÄKSESTÄ**

LASKENTAESIMERKKI

Jorma Hopia



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

SISÄLLYS

1.	Johdanto.....	4
1.1	Yleistä	4
1.2	Kohdetiedot	5
1.3	Jäykistäminen	5
1.4	Esimerkissä käytetyt ohjelmat	6
1.5	Pilarityypit.....	6
2.	Vaihtoehtoiset menetelmät	7
2.1	Taulukkomitoitus	7
2.2	Yleinen suunnittelumenetelmä.....	8
2.3	Betoninormikortti n:o 20.....	9
3.	Käyttöikäsuunnittelu.....	10
3.1	Käyttöiän osatekijät.....	10
3.2	Käyttöikämitoitus.....	10
3.3	Ympäristöolosuhteet	11
4.	Raudoitus.....	12
4.1	Betonipeitteen minimiarvo.....	12
4.2	Pääraudoitus	12
4.3	Hakateräket.....	13
4.4	Jatkaminen	14
4.5	Raudoituskokoonpanon tuenta.....	14
5.	Poikkileikkaukset.....	15
5.1	Yleistä	15
5.2	Poikkileikkauksen ominaisuudet.....	16
6.	Kuormat.....	18
6.1	Yleistä	18
6.2	Pysyvät kuormat.....	19
6.3	Hyötykuormat	21
6.4	Tuulikuormat.....	21
6.5	Lumikuormat.....	23
6.6	Lisävaakavoimat	24
6.7	Konsolikuormat.....	24
7.	Kuormitustapaukset	25
7.1	Liitostyytit	25
7.2	Rakennemalli	25
7.3	Mitoitustilanteet	25
7.3.1	Asennus.....	25
7.3.2	Normaalilämpötila	26
7.3.3	Palotilanne.....	26
8.	Materiaalit.....	27
8.1	Teräs.....	27
8.2	Betoni	27
8.3	Raudoitus	27
9.	Mitoitus normaalilämpötilassa	28
9.1	Mitoitusehto	28
9.2	Lommahdusvaara	28



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

9.3	Plastinen puristuskestävyys.....	29
9.4	Määrävän poikkileikkauksen tunnistaminen.....	30
9.5	1.kertaluvun epätarkkuusmomentti pilarin keskikorkeudella	31
9.6	2. kertaluvun vaikutukset	33
9.7	Suhteellinen hoikkuus	34
9.8	Nurjahduskäyrät ja epätarkkuudet	35
9.9	Mitoitusmomentti.....	36
9.10	Yhteisvaikutuskäyrä.....	37
9.10.1	Yksinkertaistettu yhteisvaikutuskäyrä	37
9.10.2	Pisteessä A	37
9.10.3	Pisteessä C.....	38
9.10.4	Pisteessä D	38
9.10.5	Pisteessä B.....	38
9.11	Mitoitusehto	38
9.11.1	Yhteisvaikutuskäyrä.....	39
10.	Mitoitus palotilanteessa	40
10.1	Tarkasteltava poikkileikkaus.....	40
10.2	Pääraudoituksen enimmäisala	40
10.3	Ominaiskuormat.....	40
10.4	Palotilanteen kuormayhdistelmät.....	40
10.5	Putkiliittopilarin teholliset ominaisuudet palotilanteessa	40
10.6	Palomitoituksessa käytetään nurjahduskäyrää c	42
10.7	Poikkileikkauksen puhdas taivutuskestävyys palotilanteessa.....	42
10.8	Kuorman epäkeskisyyden vaikutusten tarkastelu	42
10.9	M-N yhteisvaikutuskuvaaja	43
11.	Tuotantosuunnitelmat	44
11.1	Yleistä	44
11.2	Mallintaminen	44
11.3	Piirustukset.....	45
11.4	Raportit.....	45

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

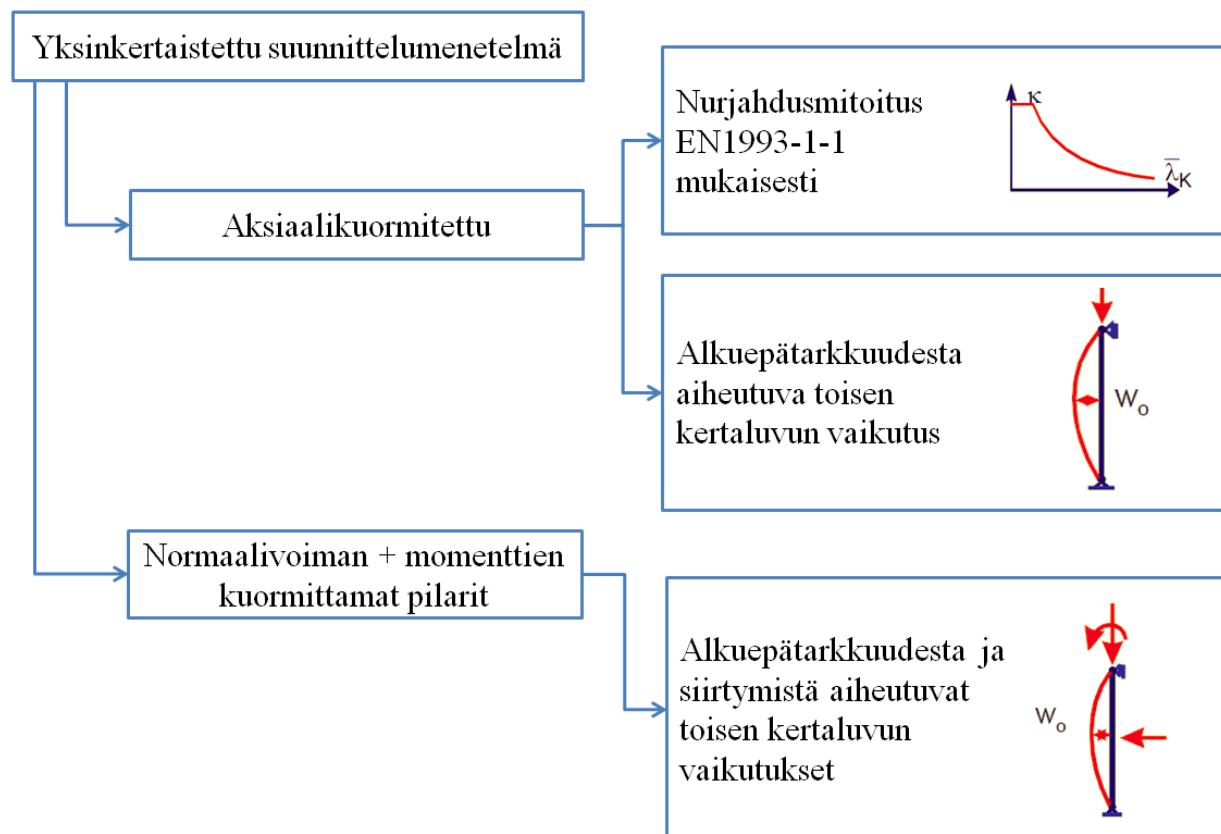
1. Johdanto

1.1 Yleistä

Laskuesimerkissä käydään läpi betonilla täytetyn liittopilarin mitoitus eurokoodien mukaan. Poikkileikkauksen kestävyys lisäksi esimerkissä esitetään eurokoodien mukaiset kuormamäärittelyt ja menetelmiä rasiustilojen selvittämiseksi. Rakennneosien valintoihin esitetään vaihtoehtoisia ratkaisuja ja valittu esimerkki ei kaikissa kohdissa edellytä tässä esille tulevia tarkasteluja. Niiden esille tuominen on kuitenkin perusteltua koska mitoitusmenetelmät muuttuvat valittujen rakenneosatyyppien ja rakennejärjestelmän mukaan.

Lähtöarvoina liittopilaripoikkileikkauksen mitoitukselle käytetään samassa koulutukseen koottua mitoitusperusteisiin liittyvää aineistoa. Mitoituksen kulku noudattaa osittain by58 esitettyä menetelmää jossa ratkaistaan poikkileikkauksien kestävyudet sekä normaali- että palotilanteessa. Lopulliseen laskentavaiheiden valintaan vaikuttavat valitun materiaalin lisäksi poikkileikkauksen muoto.

Pilarit mitoitetaan eurokoodien yksinkertaisilla menetelmillä normaalilämpötilassa standardin EN1994-1-1 kohdan 6.7.3.6 mukaisesti ja palotilanteessa standardin EN1994-1-2 kohdan 4.3.5 mukaisesti. Yksinkertaistetun suunnittelumenetelmän sovellusvaihtoehdot esitetään kuvassa 1.1.



Kuva 1.1 Yksinkertaisen laskentamenetelmän perusteet (<http://ec.europa.eu>: Eurocodes. Background and Applications. "Dissemination of information for training" workshop).

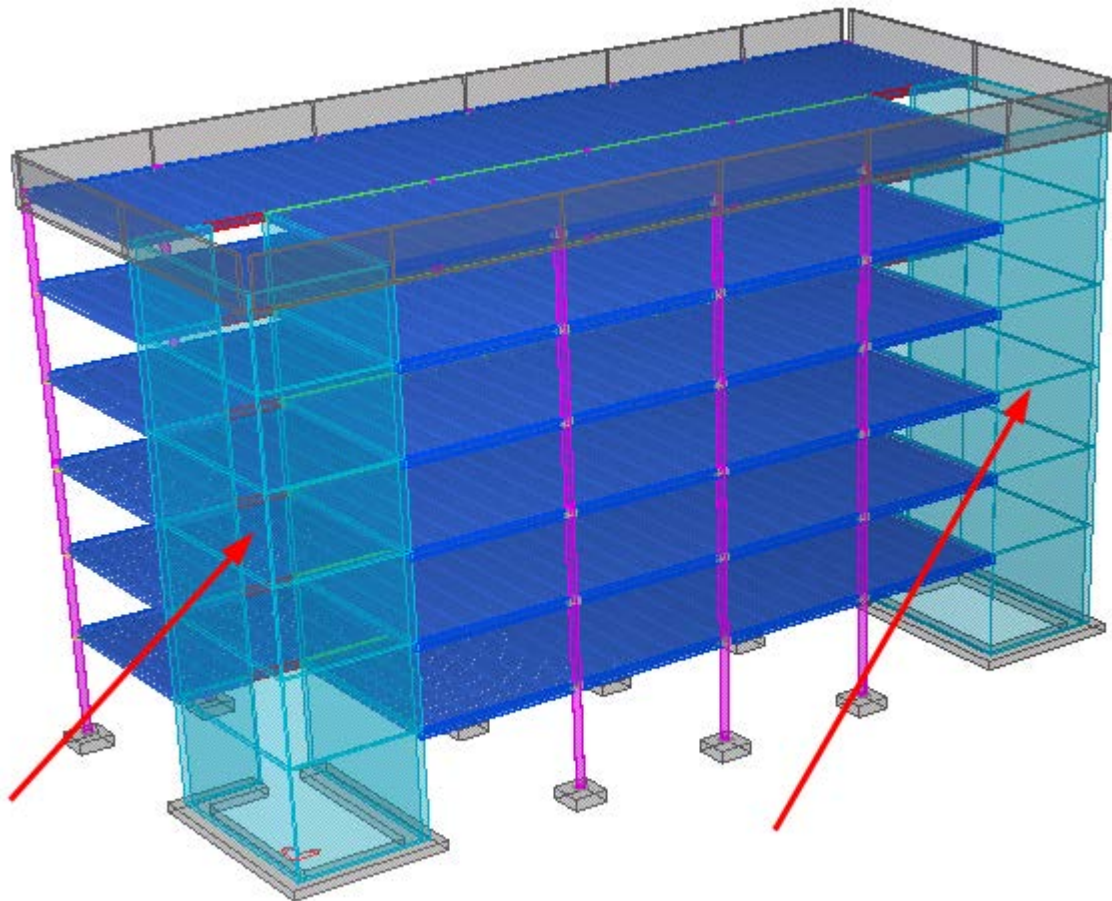
LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

1.2 Kohdetiedot

Kohde on kuusi kerroksinen toimistorakennus johon mitoitetaan kolmella eri kuormitustavalla rasiitettua liittopilaria. Mitoitus toteutetaan sekä neliöpoikkileikkaukselle että ympyräpoikkileikkaukselle. Materiaaleina käytetään vaihtoehtoisesti joko S355, S420 tai austeniittista ruostumatontaterästä 1.4301.

1.3 Jäykistäminen

Rakennus jäykistetään vaakakuormia vastaan rakennuksen päissä sijaitsevilla teräsbetoniseinäisillä porras- ja hissikuiluilla. Rakennuksen rakenteellinen paloluokka on R60 jolloin palomitoituksen yksinkertaisen menetelmän mukaan pilareiden tulee olla sivusuunnassa tuetun kehän rakenneosia. Sivusuunnassa tuettu järjestelmä voi olla kuitenkin sivusiirtävä ja siitä aiheutuvat vaikutukset tulee huomioida.



Kuva 1.2 Jäykistävä teräsbetonirakenteet.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

1.4 Esimerkissä käytetyt ohjelmat

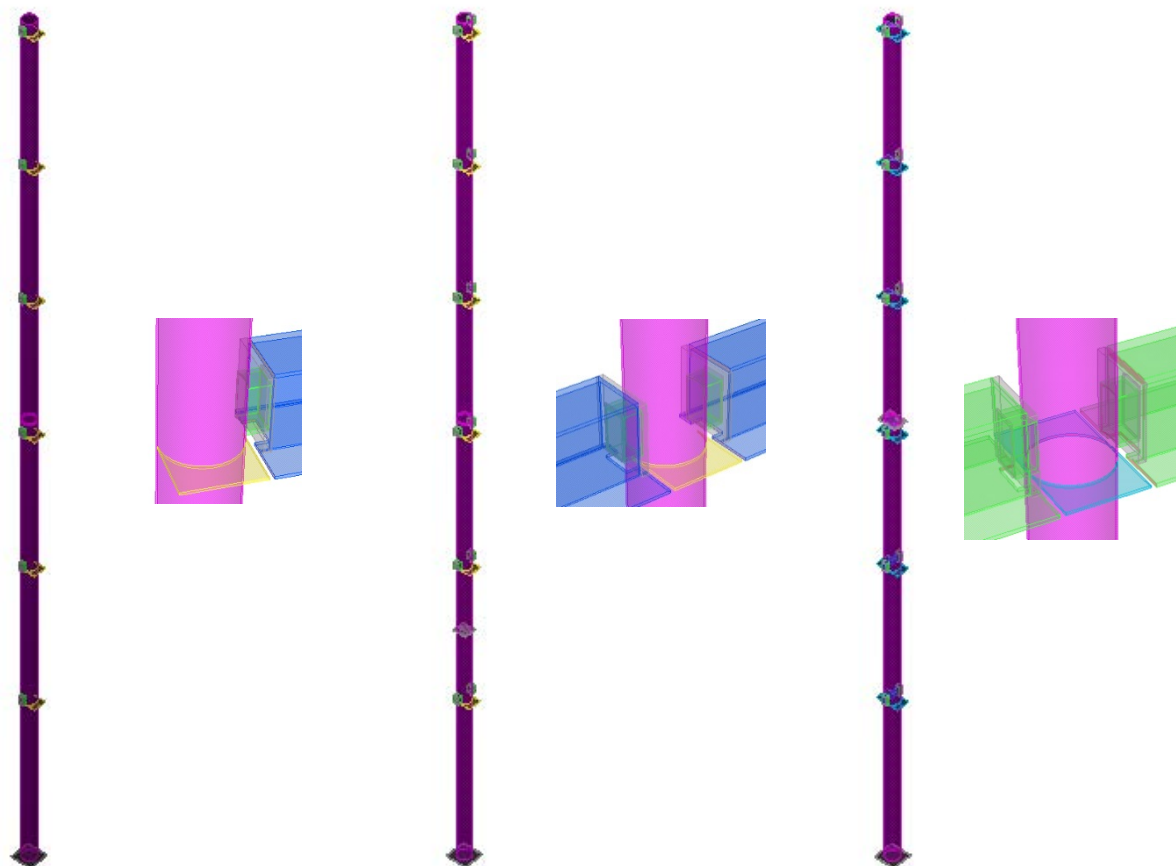
Tässä esimerkissä käytetään taulukossa 1.1 esitettyjä ohjelmia. Suomen kansallisen liitteen palomitoitukseen ei ole saatavilla valmista ohjelmaa joten suunnittelua voidaan helpottaa yhdistelemällä saatavilla olevien ohjelmien tuloksia keskenään.

Taulukko 1.1 Esimerkissä käytettävät ohjelmat.

Käyttökohde	Ohjelma
mallintaminen	Tekla Structures
määraävien poikkileikkauksien tunnistaminen	Autodesk Robot Structural Analysis
aputaulukot, tuulikuorma määrittelyt jne	MS excel

1.5 Pilarityypit

Kuvassa 1.3 esitetään tässä esimerkissä käytävät pilarityypit. Ulkoseinärakenteet voidaan vaihtoehtoisesti tueta runkorakenteisiin joko välipohjan tai pilareiden välityksellä. Pilarikiinnitys toteutetaan ulkopuolelle sijoitetuilla konsoleilla.



a) nurkkapilari

b) reunapilari ulkoseinälinjalla

c) keskipilari

Kuva 1.3 Pilarityypit

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

2. Vaihtoehtoiset menetelmät

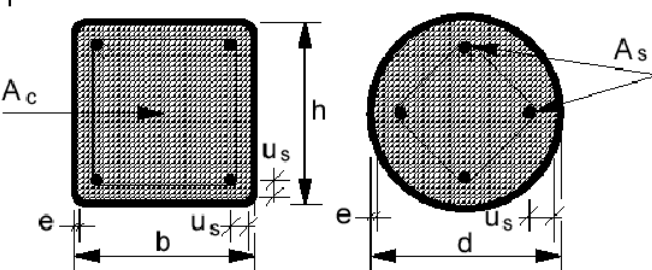
2.1 Taulukkomitoitus

Taulukkomitoituksen ja yksinkertaisten laskentamallien soveltaminen rajoitetaan yksittäisiin kantaviin rakenneosiin. Lämpörasitus oletetaan standardipaloaltistuksen mukaiseksi ja saman lämpötilajakauman oletetaan vaikuttavan kantavien rakenneosien koko pituudella. Ekstrapolaatiota koetulosaineiston ulkopuolelle ei sallita.

Standardissa EN1994-1-2 esitetään kokeisiin ja kehittyneisiin laskentamalleihin perustuvia taulukoituja mitoitusratkaisuja, joita voidaan käyttää määriteltyjen kelpoisuusrajojen puitteissa. Laskettaessa taulukon 2.1 poikkileikkausten kestävyys, noudatetaan kaikkia seuraavia sääntöjä:

- putken teräslajista riippumatta käytetään nimellisenä myötölujuutena arvoa 235 N/mm^2
- putken seinämän paksuutena e otetaan huomioon enintään $1/25$ poikkileikkausmitasta b tai d
- huomioon otettava raudoitussuhde on enintään 3%
- betonin lujuutena käytetään normaalilämpötilamitoituksen arvoa.

Taulukko 2.1 Pienimmät poikkileikkausmitat, pienimmät raudoitussuhteet ja betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys betonipinnasta betonitäytteisissä teräsputkiliittopilareissa (SFS-EN1994-1-2 Taulukko 4.7)

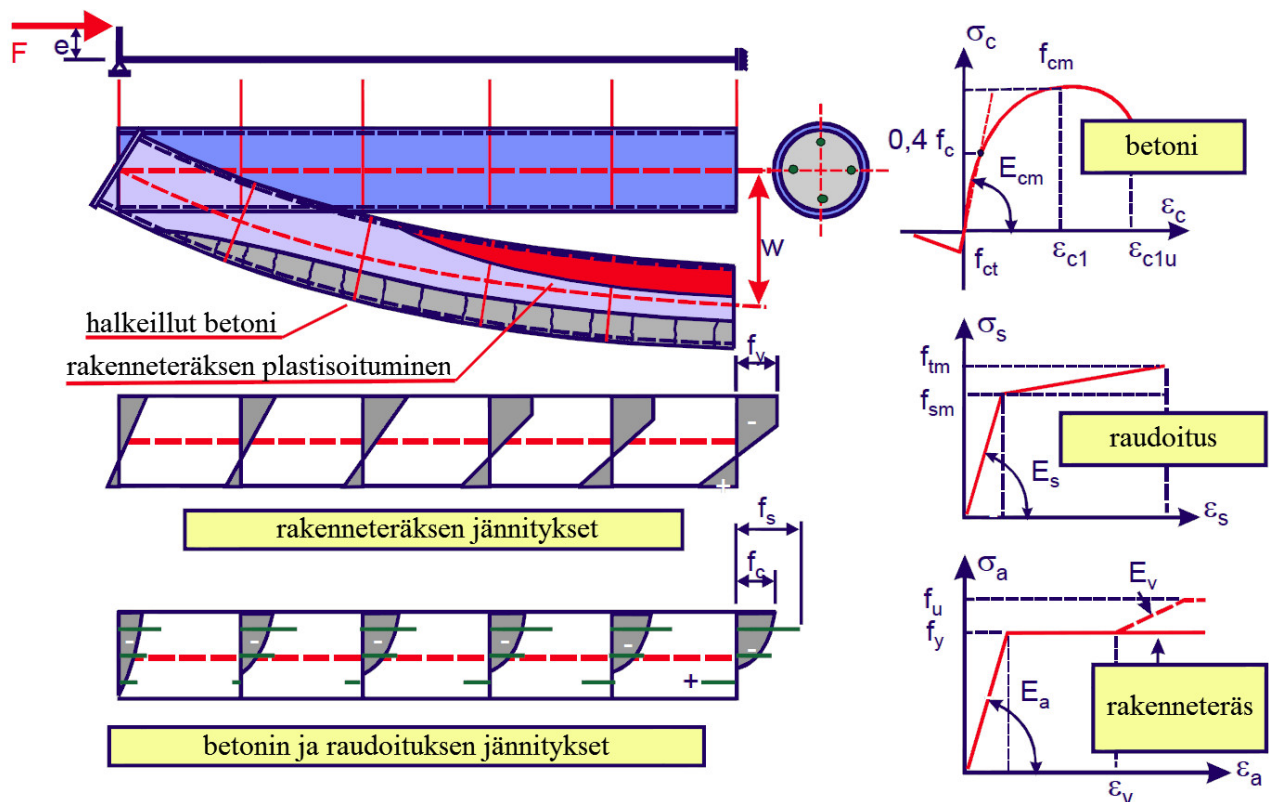
		Standardipalonkestävyys				
teräsprofiili: $(b/e) \geq 25$ tai $(d/e) \geq 25$		R30	R60	R90	R120	R180
1	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,28$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
1.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
2	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,47$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
2.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	–	30	40	50	60
3	Kuormitustasoa $\eta_{fi,t} \leq 0,66$ vastaavat pienimmät poikkileikkaus mitat					
3.1	Pienimmät sivumitat h ja b tai pienin halkaisija d [mm]	260	450	550	–	–
3.2	Pienin raudoitussuhde $A_s / (A_c + A_s)$ prosentteina	3,0	6,0	6,0	–	–
3.3	Betoniterästankojen pienin keskiöetäisyys u_s [mm]	25	30	40	–	–

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

2.2 Yleinen suunnittelumenetelmä

Kuvassa 2.1 esitetään liittopilaripoikkileikkauksen toimintatapa yleisen suunnittelumenetelmän mukaan. Suunnittelussa on otettava huomioon

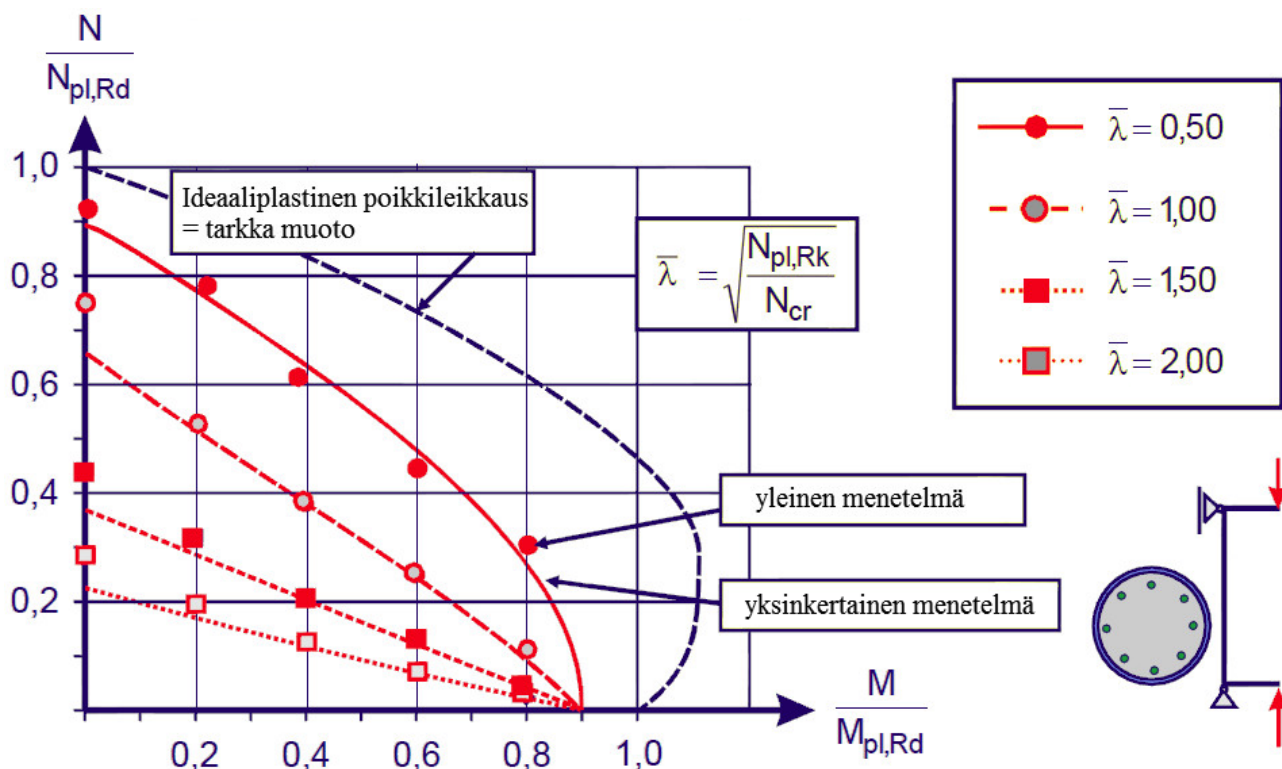
- alkujännitykset,
- toisen kertaluvun vaikutukset,
- geometrisen epätarkkuudet,
- paikallinen lommahdus
- betonin halkeilu,
- betonin viruminen ja kutistuminen,
- rakenneteräksen ja betoniteräksen plastisoituminen



Kuva 2.1 Rakenneosan toimintatapa yleisessä menetelmässä ([http://ec.europa.eu: Eurocodes. Background and Applications. "Dissemination of information for training" workshop](http://ec.europa.eu: Eurocodes. Background and Applications. \)).

Kuvassa 2.2 esitetään erään tutkimuksen yhteydessä saatuja tuloksia eri menetelmistä saatavasta hyödyistä. Kuvaajasta voidaan havaita, että yleisellä menetelmällä ei saada merkittävää etua sellaisille liittopilarille joiden mitoitusperusteet ovat yksinkertaisen menetelmän mukaisia.

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 2.2 Havainnekaavio menetelmien eroista muunnetun hoikkuuden suhteen ([http://ec.europa.eu: Eurocodes. Background and Applications. "Dissemination of information for training" workshop](http://ec.europa.eu: Eurocodes. Background and Applications.)).

2.3 Betoninormikortti n:o 20

Betoninormikortissa n:o 20 esitetään mitoitusmenetelmä teräsbetoniliittopilarin mitoitukselle toisen kertaluvun teorialla. Menetelmässä käytetään materiaalien osalta jännitys-muodonmuutosfunktiota, jotka mahdollisimman tarkkaa vastaavat todellisuutta. Stabiliateettianalyysi tehdään 2. kertaluvun teorialla ottaen huomioon siirtymistä aiheutuvat lisärasitukset.

Käytetyt laskentamenetelmät perustuvat poikkileikkauksen analysointiin ensimmäisen ja toisen kertaluvun teorian mukaisesti. Betoninormikortin pohjalta kehitetty ComCol –laskentaohjelma ei kuitenkaan sisällä eurokoodien yksinkertaisen menetelmään tarvittavia materiaalien heikennysparametreja ja rakennemalleja joten täysin eurokoodien mukaista mitoitusta ohjelmalla ei voida suoraan toteuttaa. Laskenta onnistuu ohjelmalla vain jos tarkasteltava rakennemalli vastaa eurokoodeissa esitettyjä vaatimuksia ja konsolikuormituksesta aiheutuvat taivutusrasitukset ovat laskentamallissa määritetty oikein. Ohjelman käyttäminen edellyttää yhdelle poikkileikkaukselle tilanteesta riippuen useamman erillisen laskentamallitiedoston joissa rakenneanalyysi, materiaaliominaisuudet ja kuormat vastaavat eurokoodeissa asetettuja vaatimuksia.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

3. Käyttöikäsuunnittelu

3.1 Käyttöiän osatekijät

Liittorakenteet koostuva yhdessä toimivista raudoitetuista betoniosasta ja teräsosasta sekä niiden välisestä liitoksesta, joka on valmistettu joko erillisillä liittimillä tai muokkaamalla teräsosaan mekaanisen yhteistoiminnan varmistavia muotoja.

Teräsosa voi korrodoitua (korroosiosta aiheutuva syöpyminen) ilmastollisessa rasituksessa tai betonin rajapinnassa. Teräksellä korroosio tarkoittaa ruostumista. Ruoste on ainetta, joka muodostuu rauta-atomien hapettuessa veden ja hapen vaikutuksesta. Se on seos rautaoksideja ja hydroksideja. Käytännössä ruostuminen on hidasta palamista kuten puuosien lahoaminen.

Pitkäaikaikuormitus, etenkin väsytyks ja dynaamiset kuormitukset otetaan huomioon liittorakenteiden käyttöikäsuunnittelussa. Liittorakenteet ovat kuitenkin usein hankalia tai työläitä käsitellä laskennallisesti, ja erilaisten kuormitusten vaikutus pystytään luotettavasti todentamaan vain kokeellisilla tutkimuksilla.

3.2 Käyttöikämitoitus

Käyttöikä mitoituksessa sovelletaan teräsrunkorakenteiden toimintamalleja. Rakenneteräksen (putkiprofiilin) rasitusluokat määritetään samoin perustein kuten pelkissä teräsrakennneosissa. Vaikuttavan rasituksen tyypistä riippuen teräsrakenteiden säilyvyys ja suunniteltu käyttöikä otetaan huomioon seuraavasti:

- rakenteet suunnitellaan korroosion suhteen,
- käyttämällä sopivaa pinnan suojausta tai käyttämällä säänkestävää tai ruostumatonta terästä,
- rakenteen yksityiskohdat suunnitellaan riittävän väsymisiän suhteen,
- rakenteet suunnitellaan kulumisen suhteen,
- rakenteet suunnitellaan onnettomuuskuormille,
- rakenteet tarkastetaan ja huolletaan.

Suunniteltua käyttöikää, säilyvyyttä ja laadunhallintaa koskevat säännöt tulee olla standardin SFS-EN1990 mukaisia.

Liittopilareissa betoni on kokonaan teräsosan ympäröimä. Putkipilareissa kovettuneen betonin kosteus ja emäksisyys säilyvät lähes muuttumattomina, sillä kosteus pääsee poistumaan vain höyrynpistoaukkojen ja mahdollisesti päiden kautta. Betonin ja teräsosan välinen kosketuspinta säilyy myös pitkään melko tiiviinä, sillä kuivumiskutistuminen on erittäin hidasta. Korroosion kannalta ongelmakohtia rakenteissa ovat ne, joista ilmaa pääsee kulkeutumaan betoniin, kuten höyrynpistoreikien vierustat ja pilarien päät.

Betonin pakkasenkestävyys vaikuttaa ulkona sijaitsevien rakenteiden käyttöikään. Betonin koostumuksen suunnittelussa ja työmaalla pakkasenkestävyys tulee varmistaa samalla tavalla kuin teräsbetonirakenteissa.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

3.3 Ympäristöolosuhteet

Ympäristöolosuhteisiin liittyvät rasitusluokat valitaan standardin EN206-1 mukaisesti. Sisätilojen liittopilareissa voidaan käyttää X0 mukaista luokkaa mikäli olosuhteet vastaavat sisätiloissa olevaa erittäin kuivia rakenneosia. Rasitusluokan valinta vaikuttaa betonipeitteen minimipaksuuden määrittämiseen. Rasitusluokat X0 ja XC1 asettavat samansuuruiset betonipeitevaatimukset yleisesti käytetyillä betoniluujuksilla käyttöiän ollessa enintään 50 vuotta.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

4. Raudoitus

4.1 Betonipeitteen minimiarvo

Betonipeite on betonipinnan ja sitä lähinnä olevan raudoituksen (mukaan lukien haat ja mahdollinen pintarauditus) pinnan välinen etäisyys. Betonipeitteen nimellisarvo tulee määritellä piirustuksissa. Se määritellään peitteen vähimmäisarvon c_{\min} ja suunnittelussa huomioon otettavan mittapoikkeaman Δc_{dev} summana

$$c_{\text{nom}} = c_{\min} + \Delta c_{\text{dev}}$$

Liittopilareissa betonipeitteellä tulee olla vähimmäisarvo, c_{\min} , jotta taataan tartuntavoimien varma siirtyminen ja riittävä palonkestävyys.

Betonipeitteen nimellisarvon c_{nom} laskemista varten lisätään betonipeitteen vähimmäisarvoon suunnittelussa huomioonotettava mittapoikkeama Δc_{dev} . Vaadittavaan betonipeitteen vähimmäisarvoon tulee lisätä hyväksyttävän negatiivisen poikkeaman itseisarvo.

Betonipeitteen sallittu mittapoikkeama Δc_{dev} on yleensä 10 mm. Pienempää mittapoikkeamaa kuin 5 mm ei kuitenkaan saa käyttää.

Betonipeitteen vähimmäisarvo $c_{\min, \text{dur}}$ on esitetty SFS-EN1992-1-1 taulukossa 4.3N (FI) kun suunniteltu käyttöikä on 50 vuotta. Kun betonin lujuus on C30/37 saadaan rasitusluokkaa X0 vastaava betonipeite $c_{\text{nom}} \geq 15$ mm. Tartuntaominaisuuden varmistamiseksi valitaan betonipeitteen suunnitteluarvoksi 20 mm.

4.2 Pääraudoitus

Pääraudoituksen periaatteet valitaan standardista SFS-EN1992-1-1 soveltuvien osien. Poikkileikkauksen puristetussa osassa mikään päätanko ei saa olla kauempana kuin 150 mm etäisyydellä sidotusta tangosta.

Standardissa pääteräksen vähimmäishalkaisija on 8mm. Raudoituskokoonpanojen asettelu on kuitenkin helpompaa kun käytetään vähintään 12mm:n harjaterästankoja. Yleisesti suositellaan harjaterästankoja halkasijaltaan 16mm:stä lähtien

Pääraudoituksen ala saa olla enintään $A_{s, \text{max}} = 0,06A_c$.

Pilareihin, joiden poikkileikkaus on monikulmion muotoinen, sijoitetaan ainakin yksi tanko jokaiseen kulmaan. Pyöreään pilariin sijoitetaan vähintään neljä päätankoa. Mikäli tällaiseen poikkileikkaukseen vaikuttaa taivutusrasitukset kahdessa eri pääjäyhyssuunnassa on taivutustarkastelu tehtävä suorakaidepoikkileikkauksen tavoin.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

4.3 Hakateräkset

Päätankoja sitovan raudoituksen (hakojen, lenkkien tai kierrehakojen) halkaisijaksi valitaan vähintään 6 mm tai neljäsosa pääraudoitustankojen suurimmasta halkaisijasta sen mukaan, kumpi on suurempi. Hakojen jakovälit päätankojen suunnassa saavat olla enintään pienin seuraavista:

- 15 kertaa päätankojen vähimmäishalkaisija
- betonitäytön pienin mitta
- 400 mm

Taulukkoon 4.1 on luetteloitu pääteräshalkaisijan mukaiset hakateräkset ja jakovälit.

Taulukko 4.1 Hakojen halkaisijat ja jakovälit liittopilareissa [mm].

Pääteräs Ø	Minimi haka	Maksimi jakoväli k *
10	6	150 **
12	6	180 **
16	6	240 **
20	6	300 **
25	8	375 **
32	8	400 **

*kuitenkin enintään 400mm

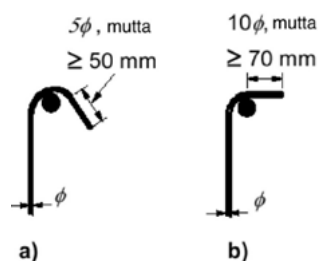
**kuitenkin enintään täyttöbetonin pienin sivumitta

Enimmäisjakoväliä pienennetään käyttämällä kerrointa 0,6 kun

- poikkileikkauksissa, jotka ovat enintään pilarin poikkileikkauksen suuremman mitan etäisyydellä palkin tai laatan ylä- tai alapuolella
- lähellä limijatkoksia, jos päätankojen suurin halkaisija on suurempi kuin 12 mm.

Limituspituudelle sijoitetaan vähintään 3 hakaa tasaisin välein.

Hakojen ankkurointi toteutetaan tavallisesti taivutusten tai koukkujen avulla. Koukun tai taivutuksen sisäpuolelle sijoitetaan tanko. Hakojen ankkurointi järjestetään kuvan 4.1 mukaiseksi.



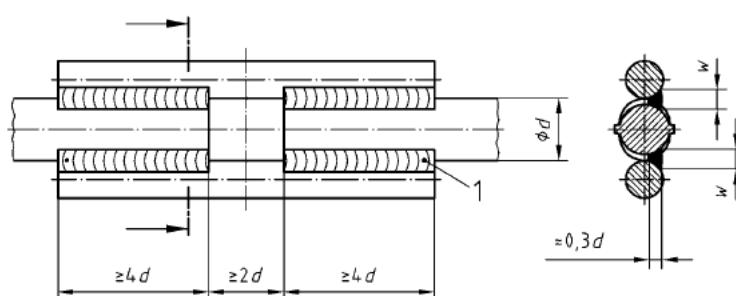
Kuva 4.1 Hakojen ankkurointi.

Raudoituskokoonpanojen valmistuspiirustukset on syytä tehdä samalla tarkkuudella kuin liittyvän teräskokoonpanon piirustukset. Jatkuvilla pilareilla joissa liitoksien kohdalla on läpivientejä joudutaan vakio hakateräksen jakoa muuttamaan. Nämä on asiallista esittää selkeästi myös raudoituksen valmistuspiirustuksessa ja opastaa selkeästi osien asennusjärjestys ja suunnat onnistuneen kokoonpanon kasaamiseksi.

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPIILARIT

4.4 Jatkaminen

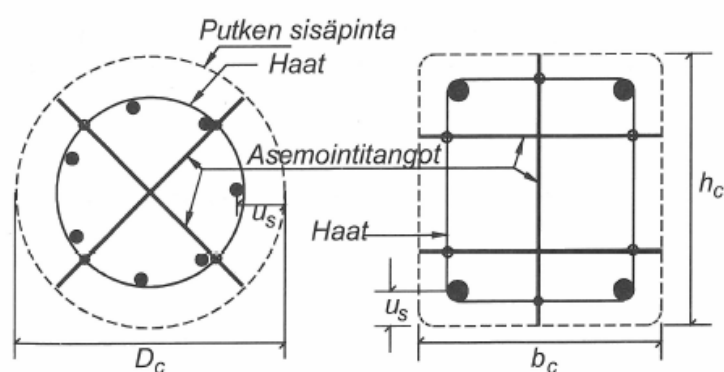
Pääraudoitusta voidaan jatkaa hitsaamattomalla limijatkoksella sekä hitsatuilla ja mekaanisilla jatkoksilla. Limiliitos voidaan myös tehdä aputeräksillä. Tällöin liitoksesta tulee symmetrinen, mutta haittana on hitsauksen määrän tuplaaminen, aputerästen tarve ja liitoksen hankalampi valmistus sekä suurempi tilantarve, kuva 4.2. Jatkokset tulee sijoittaa symmetrisesti samaan poikkileikkaukseen. Tankojen limityksessä noudatetaan standardin SFS-EN1992-1-1 mukaisia ohjeita.



Kuva 4.2 Aputeräksillä tehty täyden voiman palstaliitos A500HW teräksellä.

4.5 Raudoituskokoonpanon tuenta

Raudoituksen tuennan esitystapa ei sisälly tavalliseen konepajasuunnitteluun koska valmistajilla toteutustavat saattavat poiketa keskenään. Kuvassa 4.3 esitetään esimerkkejä asemointitangoista joita käyttämällä mitoituksessa käytetty betonin betonipeite saadaan toteutumaan.



Kuva 4.3 Raudoitus on sidottava paikoilleen siten, että suunnittelun mukaiset mitat u_s toteutuvat (TRY/by58 kuva 2/3.2).

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPIILARIT

5. Poikkileikkaukset**5.1 Yleistä**

Profiileina käytetään yleisesti varastoluettelon mukaisia profiilikokoja. Putkiprofiileista ja levyistä löytyy varastokokoluettelot mm internet sivuilta:

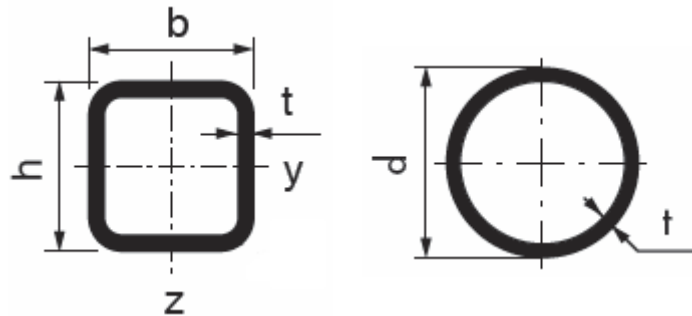
- www.kontino.fi
- www.ruukki.fi

Sauvojen akseleita koskeva sopimus on (EN1993-1-1):

x-x - sauvan pituusakseli;

y-y - poikkileikkauksen akseli;

z-z - poikkileikkauksen akseli;

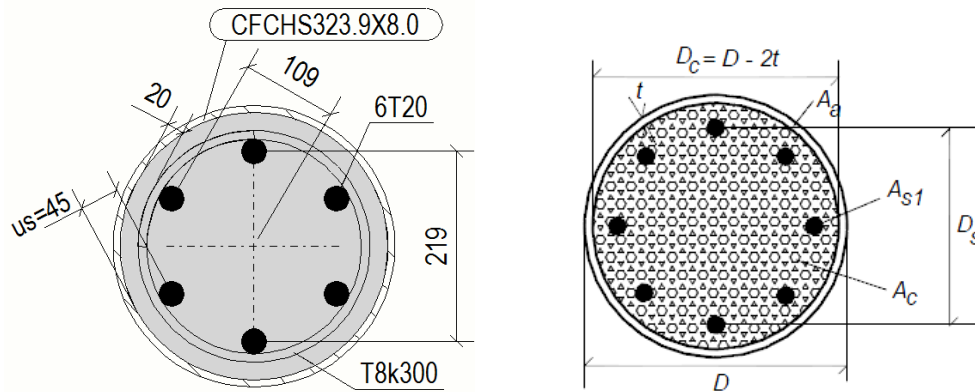


Kuva 5.1 Poikkileikkauksen mitat ja akselit.

Momenttiakselihin viittaavien alaindeksien osalta sopimus on: "Käytetään akselia, jonka suhteen momentti vaikuttaa".

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPIILARIT

5.2 Poikkileikkauksen ominaisuudet



Kuva 5.2 Pyöreäpoikkileikkaus.

Ruukin putkipalkkikäsikirjasta:

$$A_a = 7939 \text{ mm}^2$$

$$I_a = 9910000 \text{ mm}^4$$

Laskemalla :

$$A_s = 6 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^2 = 6 \cdot \pi \cdot \left(\frac{20 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 1885 \text{ mm}^2$$

$$I_s = \frac{n_s}{8} D_s^2 A_{s1} = \frac{6}{8} \cdot (219,7 \text{ mm})^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{20 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 11372900 \text{ mm}^4$$

$$A_c = \pi \cdot \left(\frac{d_c}{2}\right)^2 - A_s = \pi \cdot \left(\frac{307,9 \text{ mm}}{2}\right)^2 - 1884 \text{ mm}^2 = 72573 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{\pi}{64} D_c^4 - I_s = \frac{\pi}{64} \cdot (307,9 \text{ mm})^4 - 11372900 \text{ mm}^4 = 429799824 \text{ mm}^4$$

$$W_{ps} = 1,7 n_s D_s A_{s1} / 6 = 1,7 \cdot 6 \cdot 219 \text{ mm} \cdot 314 \text{ mm}^2 / 6 = 116902 \text{ mm}^3$$

$$W_{pc} = D_c^3 / 6 - W_{ps} = (307,9 \text{ mm})^3 / 6 - 116902 \text{ mm}^3 = 4748041 \text{ mm}^3$$

$$W_{pa} = D^3 / 6 - W_{pc} - W_{ps} = (323,9 \text{ mm})^3 / 6 - 4748041 \text{ mm}^3 - 116902 \text{ mm}^3 = 798513 \text{ mm}^3$$

$$D_n = \frac{\frac{\pi f_{cd} D_c^2}{4}}{2 D f_{cd} + 4 t (2 f_{yd} - f_{cd})} = \frac{\pi \cdot 20 \frac{N}{\text{mm}^2} \cdot \frac{(307,9 \text{ mm})^2}{4}}{2 \cdot 323,9 \text{ mm} \cdot 20 \frac{N}{\text{mm}^2} + 4 \cdot 8 \text{ mm} \cdot \left(2 \cdot 355 \frac{N}{\text{mm}^2} - 20 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)}$$

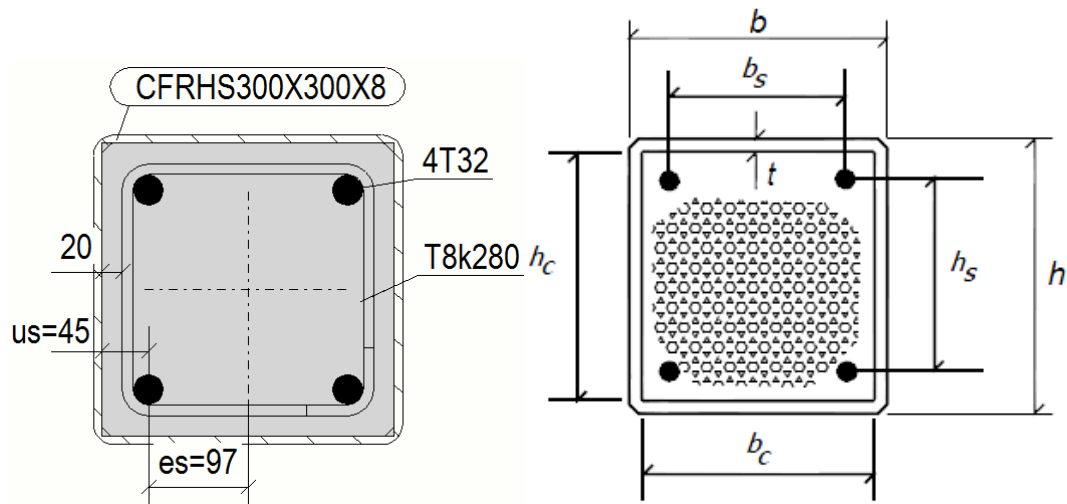
$$= 42,50 \text{ mm}$$

$$W_{pcn} = D_c D_n^2 = 307,9 \text{ mm} \cdot (42,50 \text{ mm})^2 = 556144 \text{ mm}^3$$

$$W_{pan} = 2 t D_n^2 = 2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot (42,50 \text{ mm})^2 = 28900 \text{ mm}^3$$

$$\text{Raudoitussuhde } \rho_s = A_s / A_c = 1884 / 72573 = 2,6\% < 6\% \text{ OK}$$

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 5.3 Neliöpoikkileikkaus

Ruukin putkipalkkikirjasta:

$$A_a = 9124 \text{ mm}^2$$

$$I_a = 12801 \text{ mm}^4$$

Laskemalla :

$$A_s = 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^2 = 4 \cdot \pi \cdot \left(\frac{32}{2}\right)^2 = 3217 \text{ mm}^2$$

$$I_s = e_s^2 A_{s1} = 4 \cdot \left((97 \text{ mm})^2 \cdot \pi \left(\frac{32 \text{ mm}}{2}\right)^2\right) = 29033342 \text{ mm}^4$$

$$A_c = (b_a - 2 \cdot t_a)^2 - A_s = (300 \text{ mm} - 2 \cdot 8 \text{ mm})^2 - 3216 \text{ mm}^2 = 77439 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{b_c h_c^3}{12} - I_s = \frac{284 \text{ mm} \cdot (284 \text{ mm})^3}{12} - 29033342 \text{ mm}^4 = 513082518 \text{ mm}^4$$

Raudoitussuhde

$$\rho_s = \frac{A_s}{A_c} = \frac{3217}{77439} = 4,2\%$$

Soveltamisala :

- normaalilämpötilassa $\rho_s \leq 6\%$
- palomitoituksessa $\rho_s \leq 5\%$



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

6. Kuormat

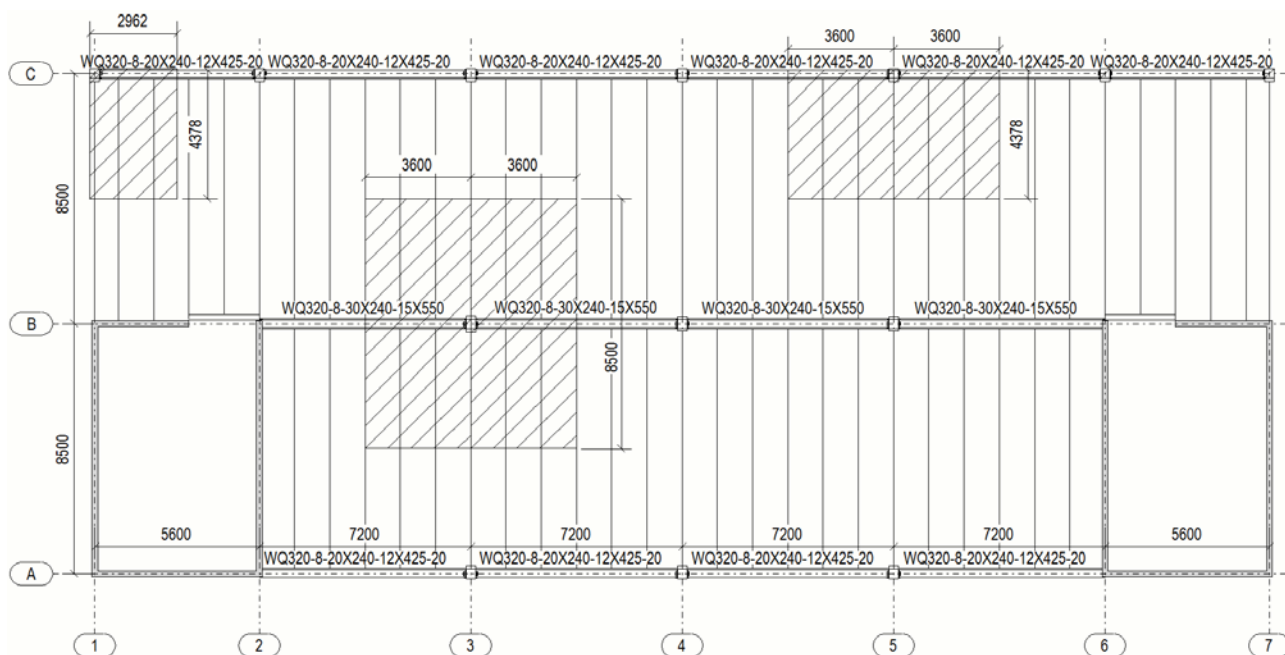
6.1 Yleistä

Välipohjien kannakointi analysoidaan pilareihin nivelellisesti vaikka jatkuva laattakenttä todellisuudessa tasaakin välipohjan kautta kerääntyviä kuormia. Laataston jäykkyys muodostuu poikittaisesta ontelolaattojen pituussuuntaisesta kantokyvystä ja niitä kannateltavien palkkien jäykkyydestä. Palkkien jäykkyyttä voidaan kasvattaa tarvittaessa palkin tai pintavalun liittävaikutuksella. Kuvassa 6.2 esitetään tarkasteltavien pilareiden kuorma-alueet.

SEURAAMUSLUOKKA CC2
SUUNNITELTU KÄYTTÖIKÄ 50 VUOTTA
RAKENTEELLINEN PALOLUOKKA R60
YLEISET KUORMAT SFS-EN1991-1-1 MUKAAN
ONTELOLAATAN O32 OMAPAINO $g_0, E_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$
PINTABETONI 70mm JA PINTAMATERIAALI $g_1, E_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$
KESKIPALKKI WQ320 161,5 kg/m
REUNAPALKKI WQ320 117,7 kg/m
RIPUSTUSKUORMA JA KEVYET VÄLISEINÄT $g_2, E_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
VIIVAKUORMA ULKOSEINILTÄ $G_3, E_k = 2 \text{ kN/m}$
HYÖTYKUORMA KUORMALUOKKA B $q_{Ek} = 3,00 \text{ kN/m}^2$
HYÖTYKUORMAN KERROS- JA PINTA-ALAVÄHENNYSTÄ EI ESIMERKISSÄ KÄYTETÄ
HYÖTYKUORMAN KERROS- JA PINTA-ALAVÄHENNYSTÄ EI ESIMERKISSÄ KÄYTETÄ
LUMIKUORMAT SFS-EN1991-1-3 MUKAAN
PAIKKAKUNTA HELSINKI
LUMIKUORMA MAASSA $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$
LUMIKUORMAN MUOTOKERROIN $\mu_1 = 0,8$
KINOSTUMINEN RÄYSTÄÄLLÄ, $H = 1,5\text{m}$
TUULIKUORMAT SFS-EN1991-1-4 MUKAAN
MAASTOLUOKKA III
PINTAA KOHTI POSITIIVINEN, PINNASTA POISPÄIN (IMU) NEGATIIVINEN
NOPEUSPAINEEN OMINAISARVO $q_{p0}(23\text{m}) = 0,63 \text{ kN/m}^2$
PAINEIDEN JA IMUJEN YKSIKKÖNÄ kN/m^2 (= 100 kg/m^2)
TUULENPAINHEET ON ANNETTU OMINAISARVONA
SISÄPUOLISEN PAINEEN KERROIN $c_{pi} = 0,0$
LISÄVAAKAVOIMA SFS-EN1993-1-1 MUKAAN

Kuva 6.1 Kuormakaaviossa esitettävät tiedot.

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 6.2 Kuorman pilarikohtainen kerääntyminen.

6.2 Pysyvät kuormat

Liittopilareiden omapaino muodostuu teräsprofiilista, sisälle asennettavasta raudoituksesta, liitososista sekä sisään pumpattavasta betonista. Pilareihin vaikuttavat välipohjatasojen omapaino.

Rakenteiden omasta painosta aiheutuvat kuormat lasketaan käyttämällä tiheyksiä

- rakenneteräs 7850 kg/m^3
- ruostumaton teräs 7900 kg/m^3
- betoniteräs 7850 kg/m^3
- raudoittamaton betoni 2400 kg/m^3
- raudoitettu betoni 2500 kg/m^3

Ontelolaattojen omapaino tulee määrittää valmistajan suunnitteluohjeiden mukaan. Mikäli valmistaja ei suunnittelun aloittamisen vaiheessa ole selvillä on käytettävä markkinoilla yleisesti käytettyjen ontelolaattojen suurinta painoa. Taulukkoon 6.1 on koottu yleisimpien ontelolaattavalmistajien ontelopainoja saumattuna ja ilman.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Taulukko 6.1 Ontelolaattojen painot valmistajan mukaan

H [mm]	max paino saumattuna [kN/m ²]	Parma		Lujabetoni		Pielisen betoni		ASV		Mikkelinbetoni		Betset		Betonimestarit	
150	2.32	2.05	2.15			2.32	2.39					2.05	2.15		
200	2.6	2.45	2.6	2.45	2.6	2.58	2.74	3	2.6	2.62	2.68	2.45	2.6	2.6	2.8
265	3.8	3.6	3.8	3.6	3.8	3.54	3.64	4	3.8	3.26	3.46	3.28	3.48	3.6	3.9
320	4.34	3.8	4	3.9	4.2	4.34	4.57	4	4.1	4.06	4.16	**3.65	**3.85	3.9	4.25
320												**3.79	**3.99		
370	5.1	4.85	5.1			4.85	5.1	5	5.1	4.86	5.36	4.85	5.1	4.9	5.3
400	4.74	4.35	4.65	4.35	4.65	4.8	5.1	4	4.6	*4.99	*5.22	4.57	4.87		
400										*4.11	*4.34			4.4	4.8
500	6.1	5.6	6			6.16	6.56			6.2	6.66	5.84	6.24	5.8	6.35

Huomioitavaa:

*Mikkelin Betonilla 400mm ontelolaatoissa kaksi erilaista MB40 ja MBA40. MB40 huomioitavaa pkl raskas ja MBA40 pkl Kevyt

**Betsetillä 320mm ontelolaatoissa kaksi erilaista O32 ja O32M. Erona on, että O32 on 4kpl onteloita ja O32M on 5kpl onteloita

WQ-palkeista muodostuu yhdelle konsolille pysyvää kuormaa seuraavasti:

- Keskipalkki WQ320-8-30x240-15x550, 161,5 kg/m
 - $1,615\text{kN/m} \cdot 7,2\text{m}/2 = 5,8\text{kN}$
- Reunapalkki WQ320-8-20x240-12x425/20, 117,7 kg/m
 - Nurkka $1,177\text{kN/m} \cdot 5,6\text{m}/2 = 6,6\text{ kN}$
 - Reuna $1,177\text{kN/m} \cdot 7,2\text{m}/2 = 4,2\text{ kN}$

Pilarin likimääräinen omapaino lasketaan käyttämällä raudoitetun betonin tiheyttä 25kN/m^3 . Taulukossa 6.2 esitetään laskettavien poikkileikkauksien yksikköpainot.

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Taulukko 6.2 Poikkileikkauksen yksikköpaino (S355) kun raudoitettun betonin tiheys on 25kN/m^3 .

CFCHS323.9x8	2,5 kN/m
CFRHS300x300x8	3,1 kN/m

6.3 Hyötykuormat

Minimivaatimus standardin EN1991-1-1 mukaan toimistorakennukselle on, Taulukko 6.2 (FI):

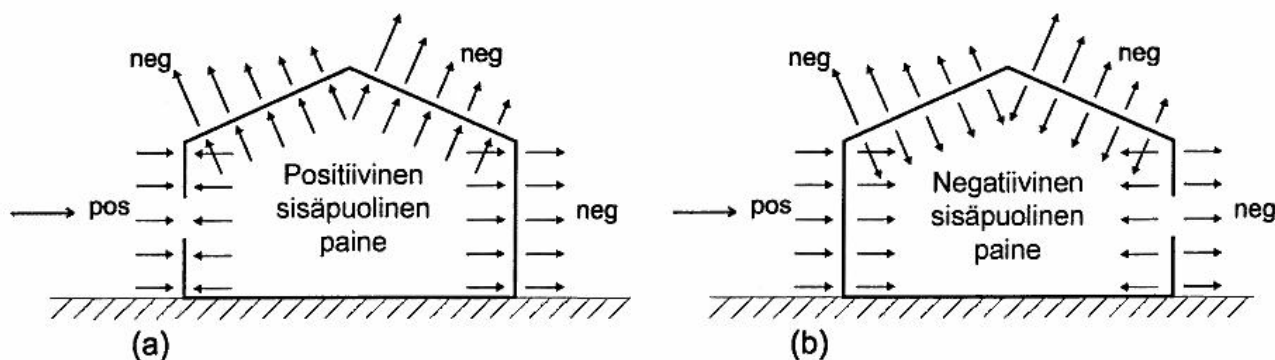
$$\text{Luokka B, } q_k \geq 2,5\text{kN/m}^2$$

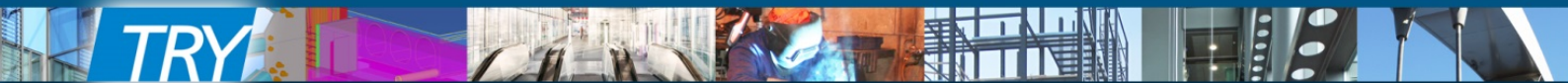
Tässä esimerkissä käytetään $q_k = 3,0\text{kN/m}^2$.

6.4 Tuulikuormat

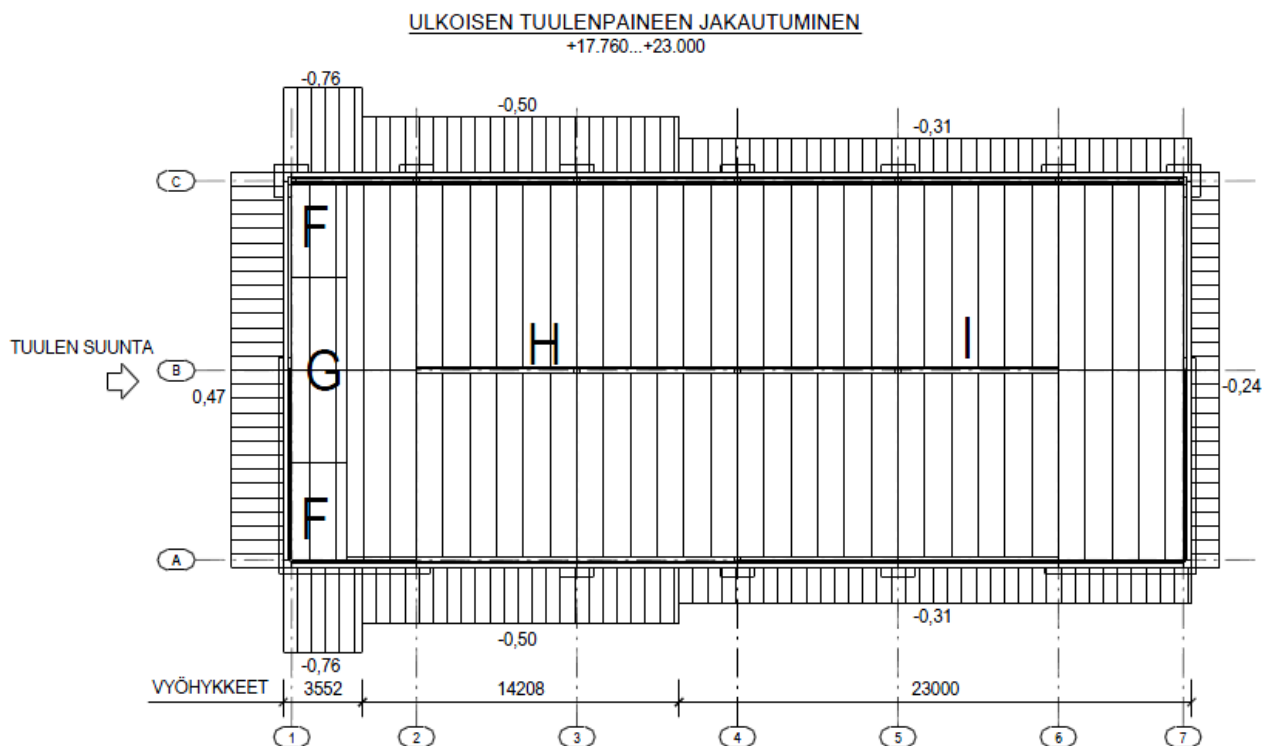
Tuulikuorma määritetään standardin EN 1991-1-4 maastoluokan III mukaan.

Kokonaistuulikuorma määritetään painekertomia käyttämällä. Paineekerroin muodostuu sisä- ja ulkopuolisen painekertoimien vektorisummana. Rakennuksen eri seinillä oletetaan olevan sama ilman läpäisevyys. RIL201-1-2008 kuvan 7.13S mukaan saadaan näin ollen sisäisen paineen kertoimelle arvo $c_i = -0,15$.

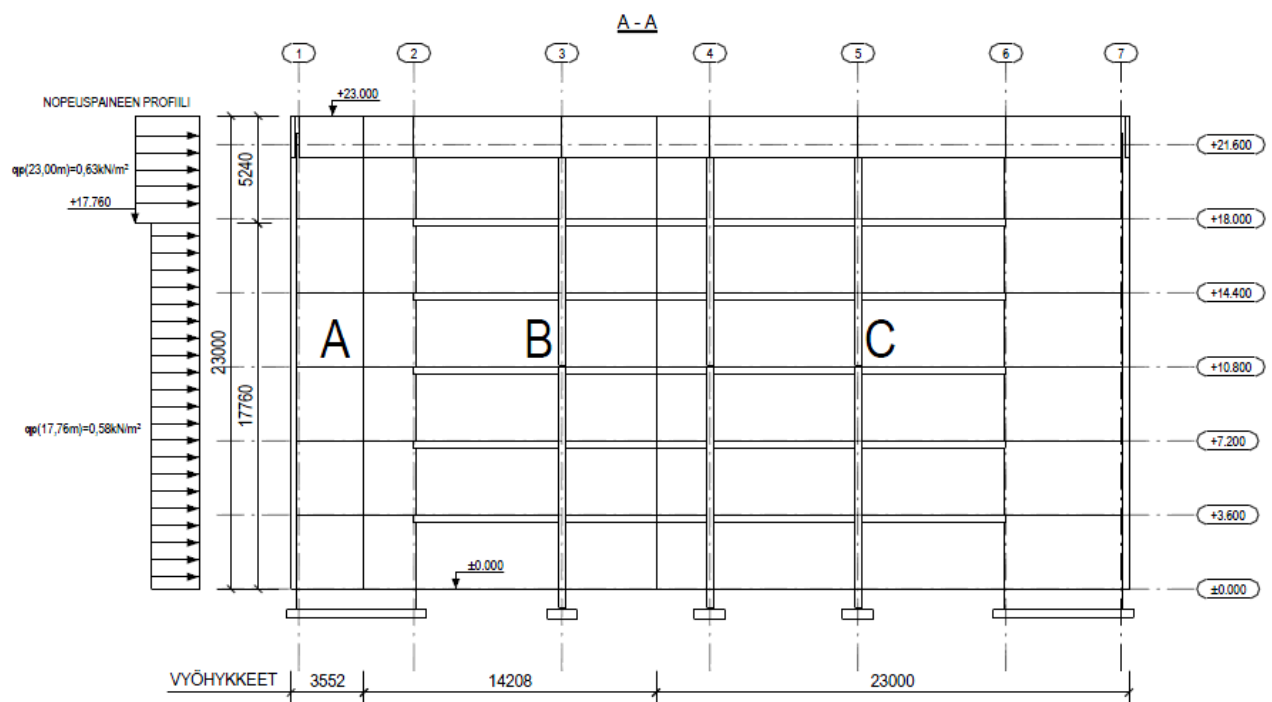




LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 6.3 Ulkoisen tuulenpaineen jakautuminen.



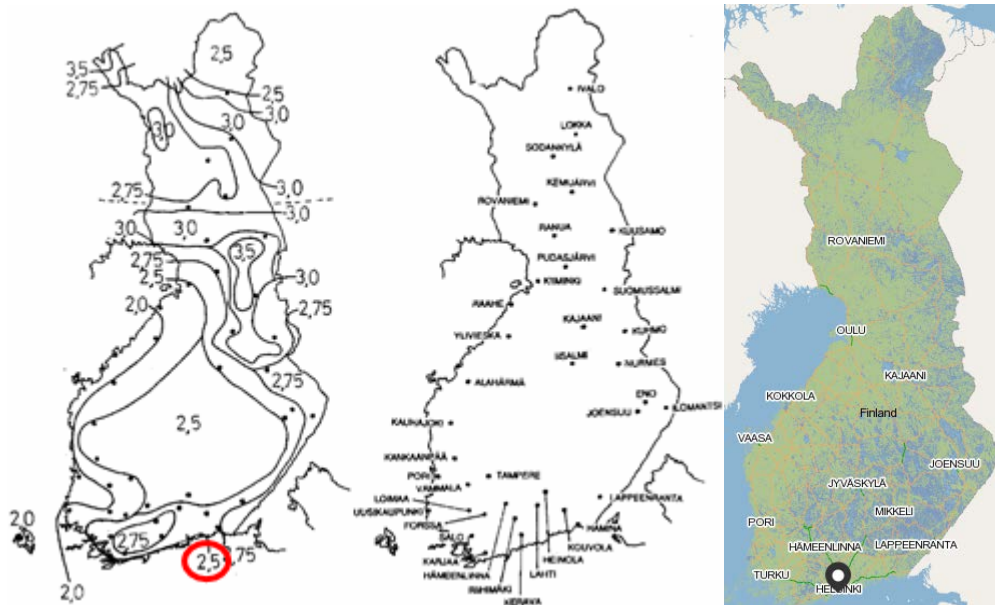
Kuva 6.4 Nopeuspaineen profiili.



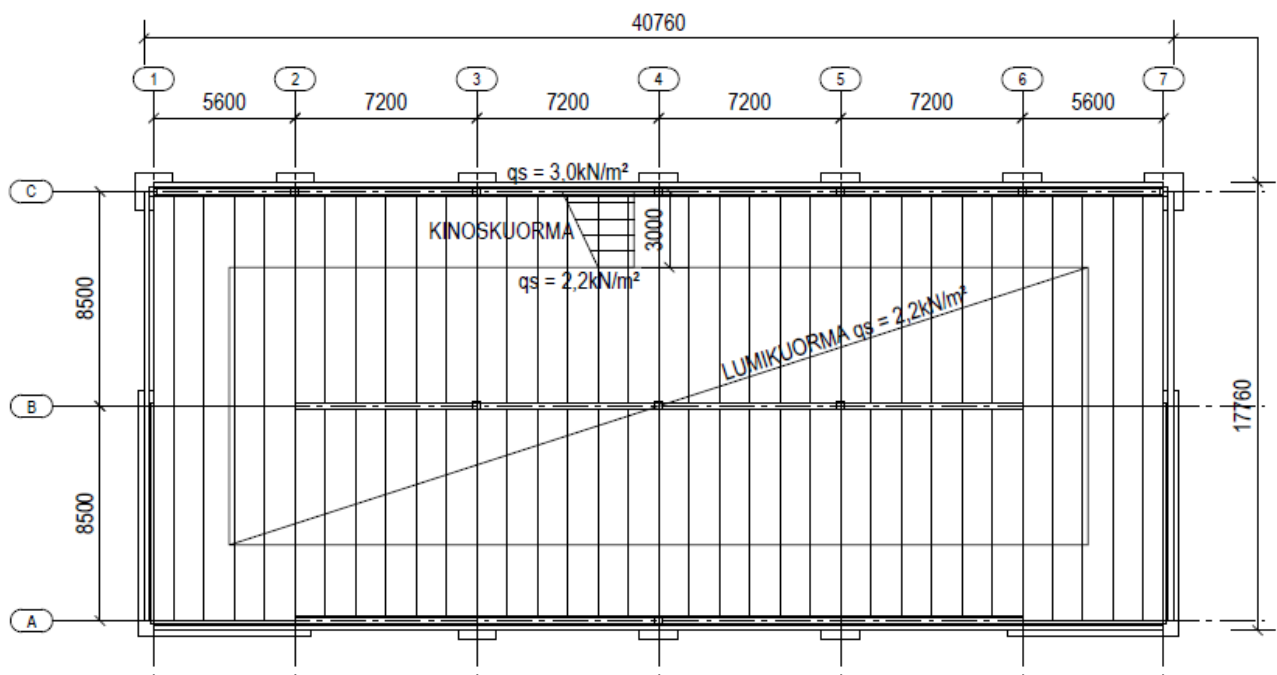
LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

6.5 Lumikuormat

Kohde sijaitsee Helsingissä. Standardin NA SFS-EN1991-1-3 Kuva 4.1 (FI) perusteella lumikuorma maassa $s_k = 2,75 \text{ kN/m}^2$.



Kuva 6.5 Lumen ominaisarvo maan pinnalla Helsingissä.



Kuva 6.6 Lumikuorma katolla.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

6.6 Lisävaakavoimat

Lisävaakavoimat tulee huomioida mikäli ne aiheuttavat rakenteille taivutusta. Tässä laskennassa niitä ei huomioida.

6.7 Konsolikuormat

Nurkka ja reunapilarilinjailla huomioidaan kinoskuormasta aiheutuva kuormaprofiilin muutos. Taukossa 6.3 esitetään kuormakaavioiden perusteella lasketut konsolikuormat.

Taulukko 6.3 Konsolikuormat.

1.-5. KERROKSEN KATOT

pilarityyppi	b [m]	h [m]	A [m ²]	[kN/m ²]				[kN/konsoli]					[kN/konsoli]	
	kuormakaista		pinta-ala	ontelolaatta	pintarakenteet	väliseinät ja ripustus	hyötykuorma B	ontelolaatta	pintarakenteet	väliseinät ja ripustus	WQ-palkki	hyötykuorma B	pysyvä	hyöty
													G _k [kN]	Q _k [kN]
NURKKA	3.00	4.40	13.20	4.00	2.00	0.50	3.00	52.80	26.40	6.60	6.60	39.60	92	40
REUNA	3.60	4.40	15.84	4.00	2.00	0.50	3.00	63.36	31.68	7.92	4.20	47.52	107	48
KESKI	3.60	8.50	30.60	4.00	2.00	0.50	3.00	122.40	61.20	15.30	5.80	91.80	205	92

6. KERROKSEN KATTO

pilarityyppi	b [m]	h [m]	A [m ²]	[kN/m ²]				[kN/konsoli]					[kN/konsoli]	
	kuormakaista		pinta-ala	ontelolaatta	pintarakenteet	kattorakenteet ja ripustus	lumikuorma	ontelolaatta	pintarakenteet	kattorakenteet ja ripustus	WQ-palkki	lumikuorma	pysyvä	lumi
													G _k [kN]	Q _s [kN]
NURKKA	3.00	4.40	13.20	4.00	0.00	1.00	2.60	52.80	0.00	13.20	6.60	34.32	73	34
REUNA	3.60	4.40	15.84	4.00	0.00	1.00	2.47	63.36	0.00	15.84	4.20	39.17	83	39
KESKI	3.60	8.50	30.60	4.00	0.00	1.00	2.20	122.40	0.00	30.60	5.80	67.32	159	67



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

7. Kuormitustapaukset

7.1 Liitostyypit

Liitoksia tarkastellaan joko yksinkertaisina tai jatkuvina, koska osittain jatkuvien liitoksien käyttöön sisältyy paljon suunnittelutyötä, josta saatava hyöty jää usein vähäiseksi.

7.2 Rakennemalli

Konsoliliitokset eivät siirrä mitoituksen kannalta merkittäviä momentteja ja toimivat nivelen tavoin.

Liittopilarit toimivat kerrosten välillä jatkuvana jolloin kehänurkassa kiertyvä sauva kiertyy saman verran ja kehänurkkaan tuotu momentti jakaantuu liittyvien sauvojen kesken niiden päiden kiertymäjäykkyyksien suhteessa.

Rakennus on sivusuunnissaan tuettu jossa

- vaakakuormien vaikutukset ja
- vinoudesta aiheutuvat vaikutukset

johdetaan teräsbetonirakenteisille hissi- ja porrakäytäväseinille.

Kun jäykistysjärjestelmä pienentää varsinaista kehärakenteen vaakasiirtymää vähintään 80% voidaan rakennejärjestelmässä erottaa varsinainen kehä ja sen jäykistysjärjestelmä. Jäykistysjärjestelmän suunnittelussa on yksinkertaisinta olettaa, että kaikki vaakakuormat siirtyvät jäykistysjärjestelmän kautta.

7.3 Mitoitustilanteet

7.3.1 Asennus

Asennustilanteeseen tulee määrittää rakentamisen aikainen hyötykuorma.

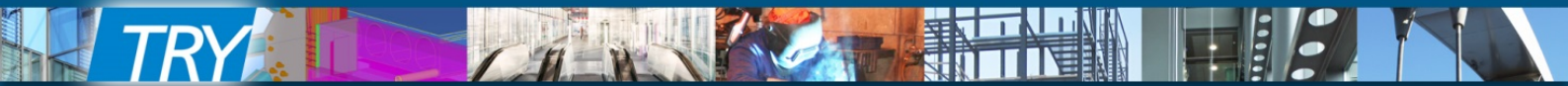
Eurokoodien SFS-EN1991-1-6 taulukon 4.1 mukaan rakentamisesta johtuvien kuormien (Q_c) ryhmittely (Suomen kansallisessa liitteessä):

Huomautukset 1 ja 2:

- kuorman $q_{ca,k}$ ominaisarvo on 1,0 kN/m²
- saumaamattomalle elementtilaatastolle kuorman $q_{ca,k}$ ominaisarvo on 0,5 kN/m².

Huomautus 3:

- tavarán väliaikaisesta varastoinnista aiheutuvat kuormien ominaisarvot q_{cb} ja F_{cb} määritetään hankekohtaisesti.
- silloille tavarán väliaikaisesta varastoinnista aiheutuvat kuormat ks. Tiehallinnon laatima kansallinen liite.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

7.3.2 Normaalilämpötila

Pilareiden mitoituksessa vain kestävyydellä on merkitystä ja käyttörajatilaa ei tarvitse tarkastella.

Murtorajatilán kuormitusyhdistelmä SFS-EN1990 Suomen kansallisen liitteen mukaan:

$$\begin{cases} 1,15K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} + 1,5K_{FI}Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i>1} \psi_{0,i}Q_{k,i} \\ 1,35K_{FI}G_{kj,sup} + 0,9G_{kj,inf} \end{cases}$$

K_{FI} riippuu standardin SFS-EN1990 liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

- luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$
- luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,0$
- luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 0,9$

7.3.3 Palotilanne

Palotilanteessa käytetään eurokoodien onnettomuuskuormitusyhdistelmää

$$G_{kj,sup} + G_{kj,inf} + A_d + \psi_{1,1}Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i}Q_{k,i}$$

Pääasiallisen kuorman ollessa jokin muu kuin lumi-, jää- tai tuulikuorma käytetään kuitenkin arvoa $\psi_{2,1}$.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPIILARIT

8. Materiaalit

8.1 Teräs

Materiaaliosavarmuusluku: $\gamma_a = \gamma_{M0} = 1,0$

Teräsprofiilin teräksenä voidaan käyttää vaihtoehtoisesti seuraavia teräslaatuja

- EN10219-1 S355
- EN10219-1 S420
- austeniittiset 1.4301 (yleisesti käytetty RST)

Myötölujuudet :

Rakenneteräs S355 :

$$f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 355 \text{ N/mm}^2$$
$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Rakenneteräs S420 :

$$f_{yk} = 420 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 420 \text{ N/mm}^2$$
$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

1.4301 :

$$f_{yk} = 230 \text{ N/mm}^2, f_{yd} = 230 \text{ N/mm}^2$$
$$E_a = 200000 \text{ N/mm}^2$$

8.2 Betoni

Materiaaliosavarmuusluku: $\gamma_c = 1,50$

Materiaaliominaisuudet valitaan standardin SFS-EN1992-1-1 taulukosta 3.1:

Betonin lujuus C30/37:

$$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{ck, \text{cube}} = 37 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30 \text{ N/mm}^2}{1,5} = 20 \text{ N/mm}^2$$
$$E_{cm} = 33000 \text{ N/mm}^2$$

8.3 Raudoitus

Materiaaliosavarmuusluku: $\gamma_s = 1,15$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

Kimmokertoimen E_s mitoitusarvoksi oletetaan 200000 N/mm^2 .

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

9. Mitoitus normaalilämpötilassa

9.1 Mitoitusehto

Periaatesäännön mukaan pilarit mitoitetaan niin, että pilarin missään poikkileikkauksessa momenttien ja normaalivoiman yhteisvaikutus ei aiheuta tarkasteltavan poikkileikkauksen kestävyys ylitystä.

9.2 Lomahdusvaara

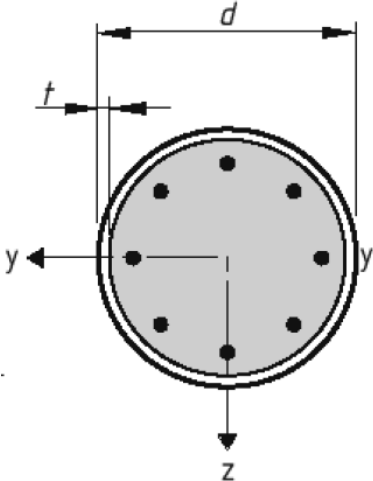
Lomahduksen vaikutuksia ei tarvitse ottaa huomioon kohdan SFS-EN1994-1-1 6.7.5.1(2) mukaisesti kun taulukon 9.1 enimmäisarvoja ei ylitetä.

Materiaaliominaisuudet eurokoodien mukaan:

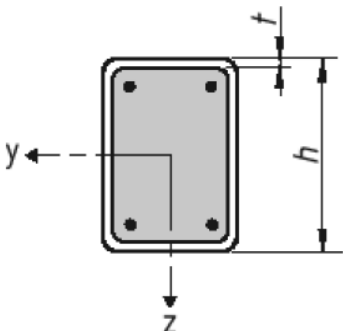
- EN10219 mukaisille putkiprofiileille $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ tai 420 N/mm^2
- EN10088 teräslajille 1.4301 ainevahvuuden mukaan $230...190 \text{ N/mm}^2$

Taulukkoon 9.2 on luetteloitu yleisempien varastokokojä vastaavat minimiainevahvuudet materiaalin mukaan. Minimiarvot liittyvät poikkileikkauksen paikallisen kestävyys lommahtamiseen poikkileikkausta rasittavissa tiloissa ja ainevahvuus tulee tarkistaa liitosmitoituksessa erikseen.

Taulukko 9.1 Suhteiden (d/t) , (h/t) ja (b/t_f) enimmäisarvot, kun myötölujuuden f_y yksikkö on N/mm^2

Poikkileikkaus	Suhteiden (d/t) enimmäisarvo
Pyöreät teräsputkiprofiilit 	$\max(d/t) = 90 \cdot \frac{235}{f_y}$

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Poikkileikkaus	Suhteiden (d/t) enimmäisarvo
<p>Suorakaiteen muotoiset teräspuikkuprofiilit</p> 	$\max(d/t) = 52 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

Taulukko 9.2 Varastokokoja vastaavien kylmämuovattujen ja ruostumattomien teräspoikkileikkauksien minimiainevahvuudet paikallista lommahdusta vastaan. Suluissa poikkeava arvo Ruukin double grade $f_y=420\text{N/mm}^2$.

Neliöpoikkileikkaukset			Ympyräpoikkileikkaukset		
h*b	EN10219-1	1.4301	ϕ	EN10219-1	1.4301
140x140	5	3	168.3	4	2
150x150	4	3	219.1	4,5 (5)	3
160x160	6		244.5	-	3
180x180	5		273.0	5 (6)	3
200x200	5 (6)	4	323.9	6 (8)	4
250x250	6 (8)	5	355.6	-	4
300x300	8	6	406.4	8 (-)	5
350x350	10 (-)		457	8 (-)	5
400x400	10 (-)				

9.3 Plastinen puristuskestävyys

Poikkileikkauksen plastinen kestävyys lasketaan lausekkeella

$$N_{pl,Rk} = A_a f_y + A_s f_{sk} + A_c \alpha_{cc} f_{ck}$$

missä $\alpha_{cc} = 1,0$ putkipilareille.

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Taulukko 9.3 Poikkileikkauksien plastiset kestävyys ja vertailu S355 liittopilariin.

Poikkileikkaus	Materiaali	A _a	f _{yd}	A _c	f _{cd}	A _s	f _{sd}	N _{pl.Rd} [kN]	vertailu
CFCSH323.9x8	S420	7939	420	72573	20	1884	434	5603	110 %
	S355	7939	355	72573	20	1884	434	5087	100 %
	1.4301	7939	230	72573	20	1884	434	4095	80 %
CFRHS300x300x8	S420	9124	420	77440	20	3216	434	6777	110 %
	S355	9124	355	77440	20	3216	434	6184	100 %
	1.4301	9124	230	77440	20	3216	434	5043	82 %

Teräsosakerroin δ osoittaa teräsosan kestävyys osuutta koko poikkileikkauksen kestävyysdessä :

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl.Rd}}$$

Eri mitoitusperusteiden voimassaolon ehtona on, että

$$0,2 \leq \delta \leq 0,9$$

Taulukko 9.4 Teräsosakertoimet eri poikkileikkauksille ja vertailu S355 liittopilariin.

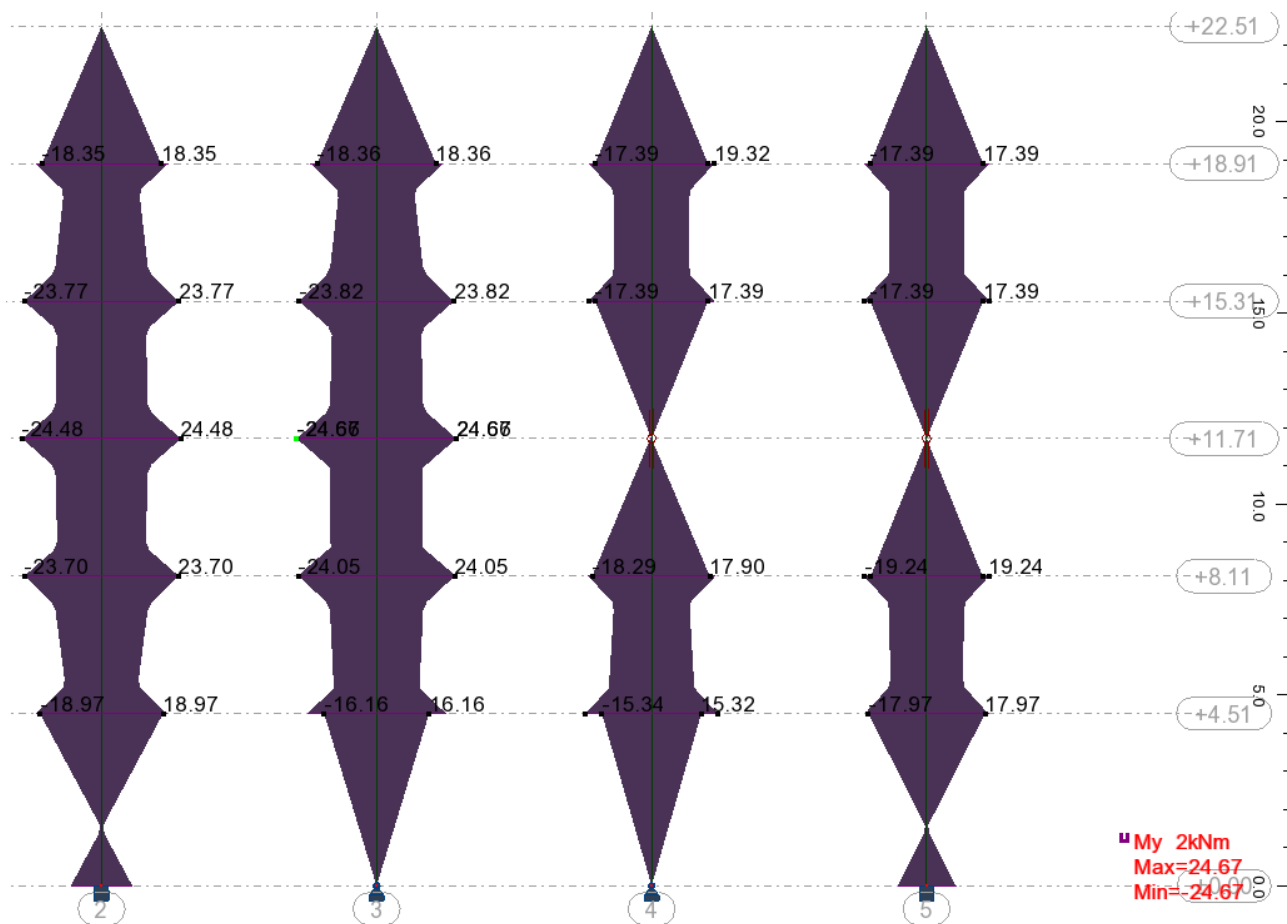
Poikkileikkaus	Materiaali	A _a	f _{vd}	N _{pl.Rd} [kN]	δ	vertailu
CFCSH323.9x8	S420	7939	420	5603	0.595	107 %
	S355	7939	355	5087	0.554	100 %
	1.4301	7939	230	4095	0.446	80 %
CFRHS300x300x8	S420	9124	420	6777	0.565	108 %
	S355	9124	355	6184	0.524	100 %
	1.4301	9124	230	5043	0.416	79 %

9.4 Määräävän poikkileikkauksen tunnistaminen

Pilarin missään poikkileikkauksessa momenttien ja normaalivoiman yhteisvaikutus ei saa aiheuttaa tarkasteltavan poikkileikkauksen kestävyys ylitystä. Voimasuureiden määrittäminen tehdään tässä Autodesk Robot Structural Analysis -ohjelmalla. Ohjelmien käyttö on usein perusteltua koska hyötykuormat voivat kuulua eri luokkiin ja kerrosten välisiä pilaripoikkileikkauksia joidutaan valmistamaan muiden rakenneosien ehdoilla. Automaattisilla kuormitusyhdistelyillä voidaan myös nopeasti selvittää vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja. Kuvassa 9.1 esitetään eri liitosmenetelmien vaikutus taivutusmomentin maksimiarvoon.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



a) jäykkä - jäykkä b) nivel - jäykkä c) nivel - nivel d) jäykkä - nivel
 Kuva 9.1 Murtorajatilan maksimi taivutusmomentit eri rakennemalleille.

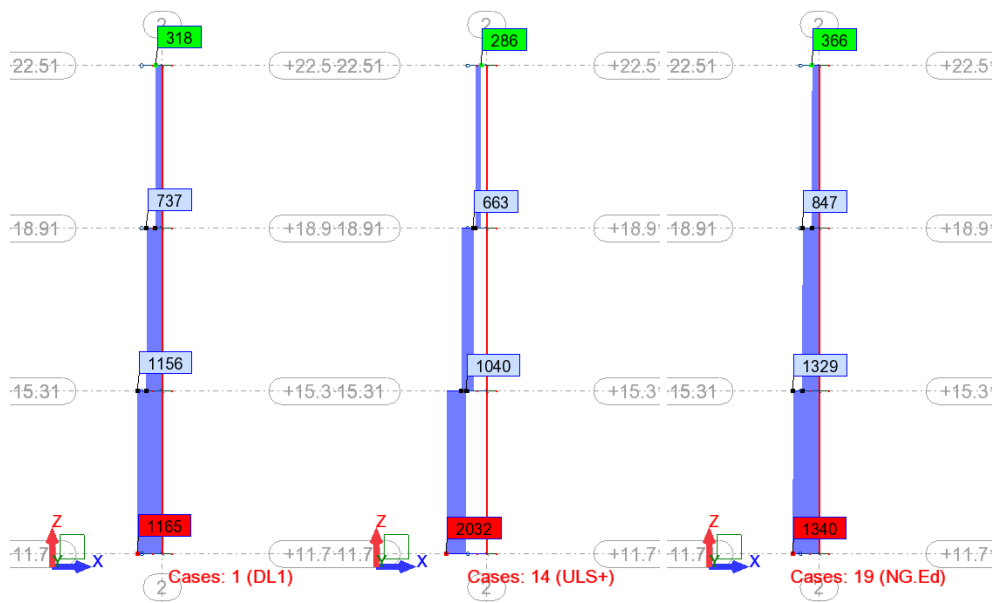
9.5 1.kertaluvun epätarkkuusmomentti pilarin keskikorkeudella

Tarkastellaan kerrosten 4.-6. keskipilaria. Kuvassa 9.2 esitetään aksiaalisten kuormien koonti kestävyyslaskentaa varten. Mitoittava poikkileikkaus sijaitsee 4.kerroksen alueella.

Pilarin pituus (kerroshkorkeus) $L = 3,6\text{m}$

Pilarin nurjahduspituus $L_{cr} = 0,50L = 1,8\text{m}$

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 9.2 Aksiaalisten kuormien määrittäminen.

Pysyvän kuorman ominaisarvo $N_{gk} = 1165 \text{ kN}$

Pilarin kokonaiskuorma $N_{Ed} = 2032 \text{ kN}$

Pysyvien kuormien mitoitusarvo $N_{G,Ed} = 1340 \text{ kN}$

Betonin pitkäaikaisvaikutukset otetaan huomioon betonin tehollisella kimmokertoimella

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}}}$$

missä φ_t on betonin virumaluku SFS-EN1992-1-1 mukaisesti, kun otetaan huomioon betonin ikä kuormituksen alkaessa. TRY/by58 ohjeen mukaan virumalukuna voidaan käyttää arvo $\varphi_t = 1,5 \dots 2,0$. Valitaan virumaluvuksi $\varphi_t = 2,0$

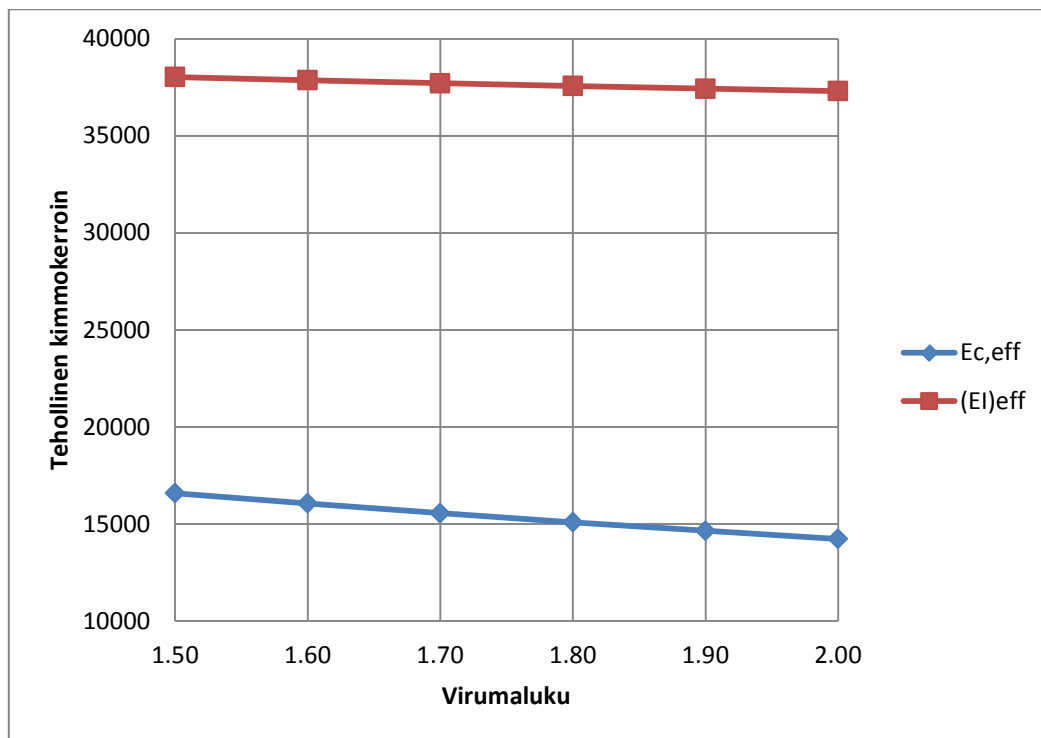
$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t \frac{N_{G,Ed}}{N_{Ed}}} = \frac{33000 \text{ N/mm}^2}{1 + 2,0 \cdot \frac{1340000 \text{ N}}{2032000 \text{ N}}} = 14230 \text{ N/mm}^2$$

Liittopilarille CFRHS300x300x8 tehollinen jäykkyys:

$$\begin{aligned} (EI)_{eff} &= E_a I_a + E_s I_s + 0,6 E_{c,eff} I_c \\ &= 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 128010000 \text{ mm}^4 + 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 29033343 \text{ mm}^4 \\ &\quad + 0,6 \cdot 14231 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 513082519 \text{ mm}^4 = 37070 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT



Kuva 9.3 Virumaluvun vaikutus teholliseen kimmokertoimeen, liittopilari CFRHS300x300x8.

Pilarin CFRHS300x300x8 nurjahduskuorma

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{eff}}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 37070 \text{ kNm}^2}{(1,8\text{m})^2} = 113641 \text{ kN}$$

Muille poikkileikkauksille kriittiset nurjahduskuormat on luetteloitu taulukkoon 9.5.

Taulukko 9.5 Nurjahduskuormat eri poikkileikkauksille.

Poikkileikkaus	Materiaali	N_{cr} [kN]
CFCSH323.9x8	S420	82517
	S355	
	1.4301	79498
CFRHS300x300x8	S420	113641
	S355	
	1.4301	109742

9.6 2. kertaluvun vaikutukset

Ensimmäisen kertaluvun tarkastelu on riittävä, jos voimasuureiden aiheuttamat deformaatiot eivät kasvata momenteja enempää kuin 10 %. Tämä ehdon voidaan katsoa toteutuvan, jos



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

$$N_{cr,eff} \geq 10 N_{Ed}$$

Kun ehto toteutuu, pilarin kestävyys osoitetaan M-N yhteisvaikutuksen suhteen käyttäen pilarin suurinta ensimmäisen kertaluvun momenttia M_{Ed} ja normaalivoimaa N_{Ed} .

Liittopilarille CFRHS300x300x8 saadaan

$$\begin{aligned} (EI)_{eff,II} &= 0,9(E_a I_a + E_s I_s + 0,5 E_{c,eff} I_c) \\ &= 0,9 \cdot \left(210000 \frac{N}{mm^2} \cdot 128010000 \text{ mm}^4 + 200000 \frac{N}{mm^2} \cdot 229033343 \text{ mm}^4 \right. \\ &\quad \left. + 0,5 \cdot 14231 \frac{N}{mm^2} \cdot 513082519 \text{ mm}^4 \right) = 32706 \text{ kNm}^2 \end{aligned}$$

Momentin suurennuskertoimeen liittyvä kriittinen kuorma $N_{cr,eff}$ täytyy laskea nyt tehollispituuden $L_{c,eff}$ perusteella, jotta $M_{Ed,max}$ sisältää toisen kertaluvun vaikutukset oikean suuruisina:

$$N_{cr,eff} = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_{eff,II}}{L_{c,eff}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 32706 \text{ kNm}^2}{(3,6\text{m})^2} = 25070 \text{ kN} > 10 \cdot N_{Ed} = 20320 \text{ kN}$$

⇒ toisen kertaluvun vaikutuksia ei huomioida

Taulkoon 9.6 on luetteloitu tarkasteltavien poikkileikkauksien toisen kertalukuun vaikuttavan laskennan tulokset.

Taulukko 9.6 Toisen kertaluvun vaikutuksien huomioon ottaminen.

Poikkileikkaus	Materiaali	$N_{cr,eff}$ [kN]	ehto	2.kertaluvun vaikutus
CFCSH323.9x8	S420	18148	< 20320	KYLLÄ
	S355			
	1.4301	17469	< 20320	KYLLÄ
CFRHS300x300x8	S420	25070	> 20320	EI
	S355			
	1.4301	24192	> 20320	EI

9.7 Suhteellinen hoikkuus

Liittopilarin hoikkuuden tulee täyttää ehto

$$\bar{\lambda} \leq 2$$

käytännössä kuitenkin $\leq 1,5$.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Liittopilarin hoikkuus (Taulukko 9.7) on plastisen ominaisarvon ja nurjahduskuorman suhteen neliö

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}}$$

Taulukko 9.7 Liittopilareiden hoikkuudet.

Poikkileikkaus	Materiaali	$N_{pl,Rk}$ [kN]	N_{cr} [kN]	$\bar{\lambda}$
CFCSH323.9x8	S420	6454	82517	0,28
	S355	5938	82517	0,27
	1.4301	4946	79498	0,25
CFRHS300x300x8	S420	7764	113641	0,26
	S355	7171	113641	0,25
	1.4301	6030	109742	0,23

9.8 Nurjahduskäyrät ja epätarkkuudet

Mittaepätarkkuuksien ja rakenteen epätarkkuuksien vaikutus otetaan huomioon käyttämällä ekvivalentteja muotoepätarkkuuksia. Liittopilareiden ekvivalentit muotoepätarkkuudet ovat taulukossa Taulukko 9.8 pilarin pituuden L funktiona.

Taulukko 9.8 Liittopilareiden nurjahduskäyrät ja epätarkkuudet

Rajat	Nurjahdusakseli	Nurjahduskäyrä	Pilarin vinous tai alkukäyryys
$\rho_s \leq 3\%$	mikä tahansa	a	L/300
$3\% < \rho_s \leq 6\%$	mikä tahansa	b	L/200

Kyseeseen tulevaa nurjahduskäyriä vastaa epätarkkuustekijä α valitaan taulukosta 9.9.

Taulukko 9.9 Liittopilareiden nurjahduskäyrien epätarkkuudet.

Nurjahduskäyrä	a	b
Epätarkkuustekijä α	0,21	0,34

Taulukossa 9.1 on alkukäyryydet eri poikkileikkauksille.

Taulukko 9.10 Tarkasteltavien liittopilareiden alkukäyryys.

Poikkileikkaus	Raudoitussuhde	Nurjahduskäyrä	α	Alkukäyryys
CFCSH323.9x8	2,6%	a	0,21	L/300 = 12mm
CFRHS300x300x8	4,2%	b	0,34	L/200 = 18mm

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

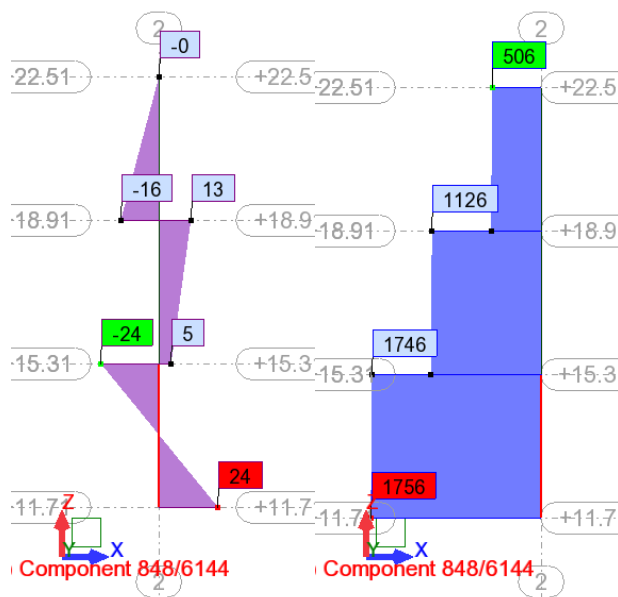
9.9 Mitoitusmomentti

Kehälaskennasta saadaan:

$$N_{Ed} = 1756 \text{ kN} \text{ (maksimi taivutusmomenttia vastaava aksiaalinen kuorma)}$$

$$M_{1.Ed} = 24.48 \text{ kNm}$$

$$M_{2.Ed} = -24.48 \text{ kNm}$$



Kuva 9.4 Neljännen kerroksen mitoittavat taivutusmomentti ja niitä vastaava aksiaalinen kuorma.

$$\text{Kuvan 9.4 perusteella } \beta_m = 0,66 + 0,44 r = 0,66 + 0,44 \cdot 1,0 = 1,10 \geq 0,44$$

Lisätään perusepäkeskisyyden vaikutus liittopilarille CFCHS323.9x8:

$$M_{Ed.I} = \beta_m M_{Ed.1} + N_{Ed} e_0 = 1,10 \cdot 24,48 \text{ kNm} + 2032 \text{ kN} \cdot 0,012 \text{ m} = 51,31 \text{ kNm}$$

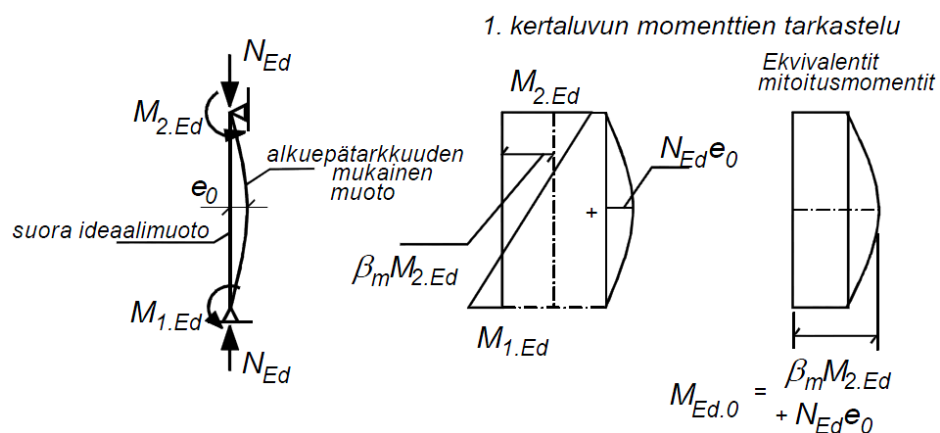
Toisen kertaluvun vaikutukset otetaan huomioon kasvattamalla momenttia $M_{Ed.0}$ suurennuskertoimen k_m avulla

$$k_m = \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,eff}}}$$

Taulukko 9.11 Kuvan 9.5 ekvivalentit mitoitusmomentit eri poikkileikkauksille.

Poikkileikkaus	Materiaali	k_m	$M_{Ed.I}$ [kNm]	$M_{2.Ed}$ [kNm]	$\max\{k_m M_{Ed.I}; M_{2.Ed}\}$
CFCHS323.9x8	S420	1,126	51,31	24,48	57,78 kNm
	S355	1,126	51,31	24,48	57,78 kNm
	1.4301	1,131	51,31	24,48	58,03 kNm

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

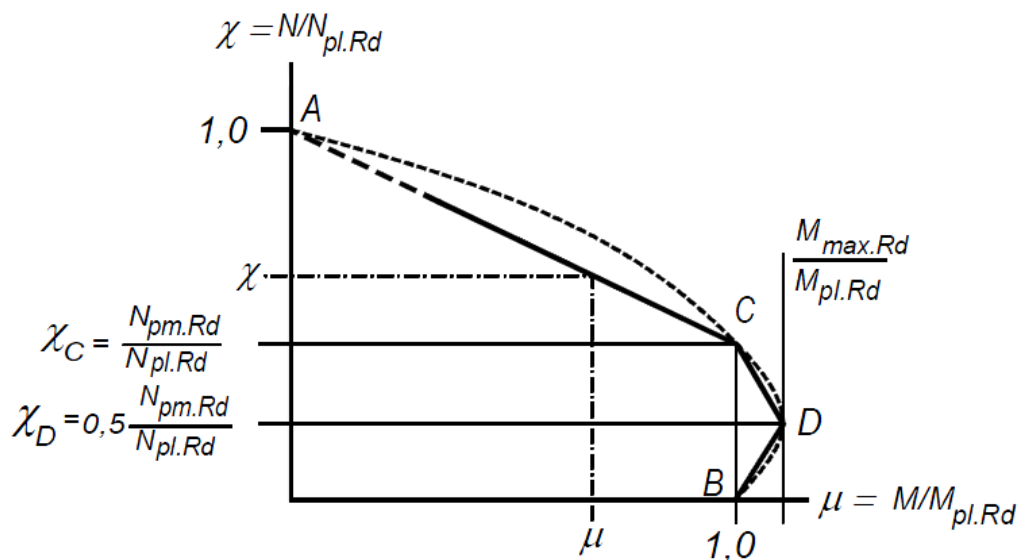


Kuva 9.5 Ekvivalentti mitoitusmomentti kun momentit päissä ovat erimerkkiset.

9.10 Yhteisvaikutuskäyrä

9.10.1 Yksinkertaistettu yhteisvaikutuskäyrä

Määritetään liittopilarille CFRHS300x300x8 S355 dimensioton M-N yhteisvaikutuskuvaaja. Yhteisvaikutuskuvaajan muoto on kuvan 9.6 mukainen.



Kuva 9.6 M-N yhteisvaikutuskuvaajan yleinen muoto dimensiottomassa koordinaatistossa.

9.10.2 Pisteessä A

$$\mu = 0$$

$$\chi = 1$$



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPIILARIT

9.10.3 Pisteessä C

$$N_{pm.Rd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} A_c = 1,0 \cdot \frac{30 \frac{N}{mm^2}}{1,50} \cdot 77439 mm^2 = 1548 kN$$

$$\mu = 0$$

$$\chi = \frac{N_{pm.Rd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{1548 kN}{6186 kN} = 0,25$$

9.10.4 Pisteessä D

$$\mu = \frac{M_{max.Rd}}{M_{pl.Rd}} = \frac{541 kNm}{523 kN} = 1,03$$

$$\chi = \frac{0,5 N_{pm.Rd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{0,5 \cdot 1548 kN}{6186 kN} = 0,13$$

9.10.5 Pisteessä B

$$\mu = 1$$

$$\chi = 0$$

9.11 Mitoitusehto

Betoniosakerroin

$$\chi_c = \frac{N_{pm.Rd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{1548 kN}{6186 kN} = 0,25$$

$$\chi_d = \frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} = \frac{2032 kN}{6186 kN} = 0,13$$

$$\mu_d = \frac{\chi_d - 1}{\chi_c - 1} = \frac{0,13 - 1}{0,25 - 1} = 0,90 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

Mitoitusehto momentin suhteen, (normaalivoiman osuus on mukana $M_{ed,max}$ laskennassa):

$$\frac{M_{ed,max}}{\mu_d M_{pl.Rd}} = \frac{57,88 kNm}{0,90 \cdot 469 kNm} = 0,12 \leq \alpha_M = 0,9$$

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

teräslajit S235...S355 ja ferriittiset/austeniittiset $\alpha_M = 0,9$

teräslajit S420...S460 ja austeniittis-ferriittiset $\alpha_M = 0,8$

Normaalivoimaehto voidaan tarkistaa seuraavasti :

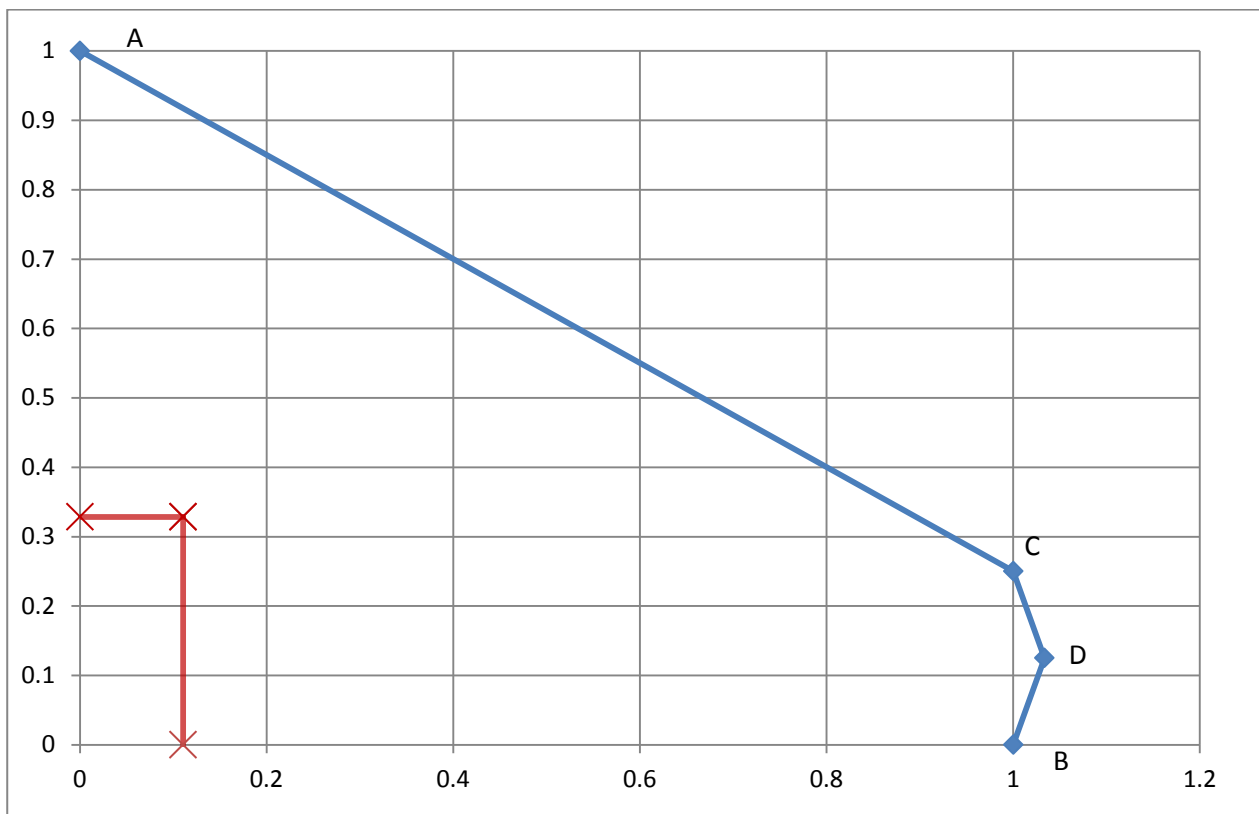
$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2032kN}{6186kN} = 0,328 \leq 1 + \alpha_M \mu_d (\chi_c - 1) = 1 + 0,9 \cdot 0,90 \cdot (0,25 - 1) = 0,39$$

9.11.1 Yhteisvaikutuskäyrä

Kuvassa 9.7 punaisella on merkitty kuormitustapausta kuvaavat vaikutuspisteet.

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 0,33$$

$$M_{Ed,max}/M_{pl,Rd} = 0,11$$



Kuva 9.7 Dimensioton M-N yhteisvaikutuskäyrä liittopilarille CFRHS300x300x8



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

10. Mitoitus palotilanteessa

10.1 Tarkasteltava poikkileikkaus

Tarkistetaan liittopilarin CFRHS300x300x8 kestävyys paloluokassa R60

10.2 Pääraudoituksen enimmäisala

$$A_s = 3217 \text{ mm}^2 \leq 0.05A_c = 3872 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

10.3 Ominaiskuormat

N_{gk}	=	1165.0 kN	Omien painojen yhteenlaskettu ominaisarvo
N_{qsk}	=	117.6 kN	Lumikuorman ominaisarvo
N_{qwk}	=	0.0 kN	Tuulikuorman z-suuntainen ominaisarvo (nostetta)
N_{qwkx}	=	0.0 kN	Tuulikuorman x-suuntainen ominaisarvo

10.4 Palotilanteen kuormayhdistelmät

$$N_{gk} + 0.4 N_{qsk}$$
$$N_{gk} + 0.2 N_{qwk} + 0.2 N_{qsk}$$

$$N_{Ed,fi} = 1212.0 \text{ kN}$$
$$N_{Ed,fi} = 1188.5 \text{ kN}$$

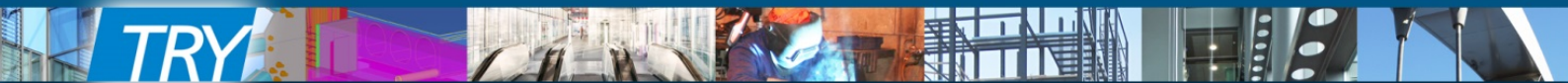
10.5 Putkiliittopilarin teholliset ominaisuudet palotilanteessa

$(EI)_{eff,fi}$	=	6182.0 kNm ²	Liittopilarin tehollinen jäykkyys palotilanteessa
φ_{a60}	=	0.6	Jäykkyyden sovituserroin teräkselle
θ_a	=	876 °C	Teräksen mitoituslämpötila
k_{Ea60}	=	0.07	Teräksen materiaaliominaisuuksien pienennyserroin kimmokertoimelle
$(EI)_{a60}$	=	1959.5 kNm ²	Putkiprofiilin tehollinen jäykkyys palotilanteessa
φ_{s60}	=	0.9	Jäykkyyden sovituserroin pääraudoitukselle



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

θ_s	=	410 °C	Pääraudoitustankojen mitoitustemperatuurilämpötila
k_{Es60}	=	0.69	Pääraudoitustankojen materiaaliominaisuuksien pienennyskerroin kimmokertoimelle
$(EI)_{s60}$	=	4177.1 kNm ²	Pääraudoituksen tehollinen jäykkyys palotilanteessa
φ_{c60}	=	1.2	Jäykkyyden sovituskertoimen betonille
$\theta_{c,eq,60}$	=	421 °C	Betonipoikkileikkauksen ekvivalentti lämpötila
k_{Ec60}	=	0.17	Betonin materiaaliominaisuuksien pienennyskerroin kimmokertoimelle
ε_{c1}	=	0.0025	
$E_{c,sec,60}$	=	2030 N/mm ²	Betonin sekanttikerroin
$(EI)_{c60}$	=	1039.2 kNm ²	Betonipoikkileikkauksen tehollinen jäykkyys palotilanteessa
L_{e60}	=	2520 mm	Pilarin palotilanteen nurjahduspituus, 0.7L
$N_{cr,fi}$	=	9607.9 kN	Kimmoteorian mukainen kriittinen kuorma palotilanteessa
k_{ya60}	=	0.07	Teräksen myötölujuuden pienennyskerroin palotilanteessa
f_{ya60}	=	25.6 N/mm ²	Teräksen myötölujuuden mitoitussarvo palotilanteessa
k_{ys60}	=	0.98	Pääraudoituksen myötölujuuden pienennyskerroin palotilanteessa
f_{ys60}	=	489 N/mm ²	Pääraudoituksen myötölujuuden mitoitussarvo palotilanteessa
k_{c60}	=	0.72	Betonin puristuslujuuden pienennyskerroin palotilanteessa
f_{c60}	=	21.5 N/mm ²	Betonin puristuslujuuden mitoitussarvo palotilanteessa
$N_{c,Rd,fi}$	=	1667.9 kN	Betonipoikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitussarvo palotilanteessa
$N_{pl,Rd,fi}$	=	3474.1 kN	Pilaripoikkileikkauksen puristuskestävyyden mitoitussarvo palotilanteessa
λ_{60}	=	0.60	Liittopilarin palonaikainen muunnettu hoikkuus



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

10.6 Palomitoituksessa käytetään nurjhduskäyrää c

α_{fi}	=	0.49	
ϕ_{fi}	=	0.78	
χ_{fi}	=	0.78	
$N_{Rd,fi}$	=	2725.8 kN	Pilarin palonaikainen puristuskestävyys

10.7 Poikkileikkauksen puhdas taivutuskestävyys palotilanteessa

$M_{n,Rd,fi}$	=	7.2 kNm
$M_{max,Rd,fi}$	=	236.2 kNm
$M_{pl,Rd,fi}$	=	229.1 kNm

10.8 Kuorman epäkeskisyyden vaikutusten tarkastelu

Käyttöaste normaalivoiman suhteen

e_{fi}	=	117 mm	Epäkeskisyyys
$k_{m,fi}$	=	1.03	Suurennuskerroin Toisen kertaluvun vaikutukset huomioiva
$M_{Ed,fi}$	=	9.4 kNm	mitoitusmomentti
χ	=	0.81	Epäkeskisesti ja keskisesti kuormitetun pilarin kestävyyssuhde
$N_{Rd,fi,\delta}$	=	2196.4 kN	Pilarin puristuskestävyys palossa
$\chi_{d,fi}$	=	0.63	
$\chi_{d,fi2}$	=	0.02	
$\chi_{c,fi}$	=	0.48	
$\mu_{d,fi2}$	=	1.88	
$M_{Ed,fi}/(\mu_{d,fi2}M_{pl,Rd,fi})$	=	0.02	$\leq \alpha_{M,fi}$ = 0.9 OK
$N_{Ed,fi}/N_{fi,Rd,\delta}$	=	0.04	≤ 1 OK

LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

10.9 M-N yhteisvaikutuskuvaaja

$$N_{pm,Rd,fi} = 1667.864076 \text{ kN} = A_c f_{c60}$$

$$\chi_c = 0.48$$

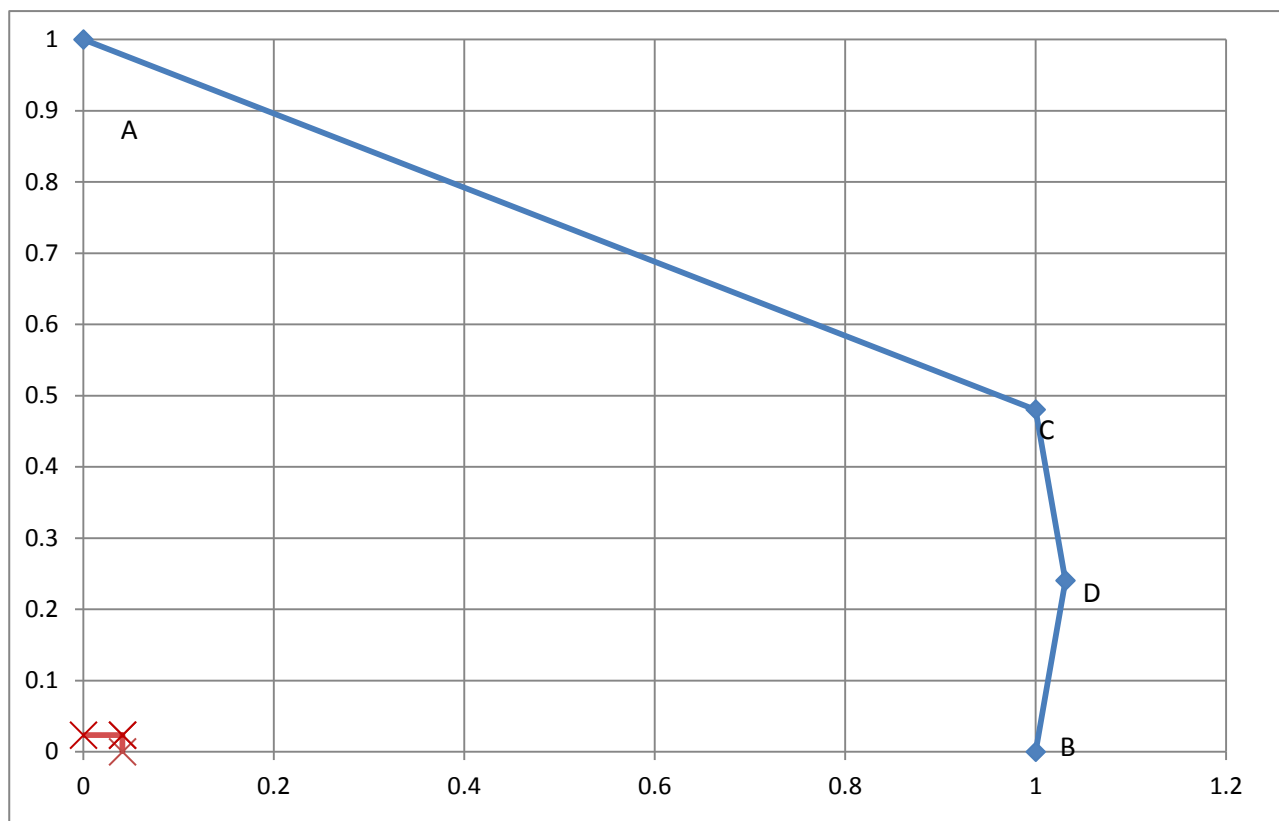
$$\chi_d = 0.24$$

$$N_{Ed,fi}/N_{pl,Rd,fi} = 0.02$$

$$M_{Ed,fi}/M_{pl,Rd,fi} = 0.04$$

Koordinaatit

	μ	χ
A	0	1
C	1	0.48
D	1.03	0.24
B	1	0



Kuva 10.1 Palotilanteen dimensioton M-N yhteisvaikutuskäyrä liittopilarille CFRHS300x300x8 paloluokassa R60.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

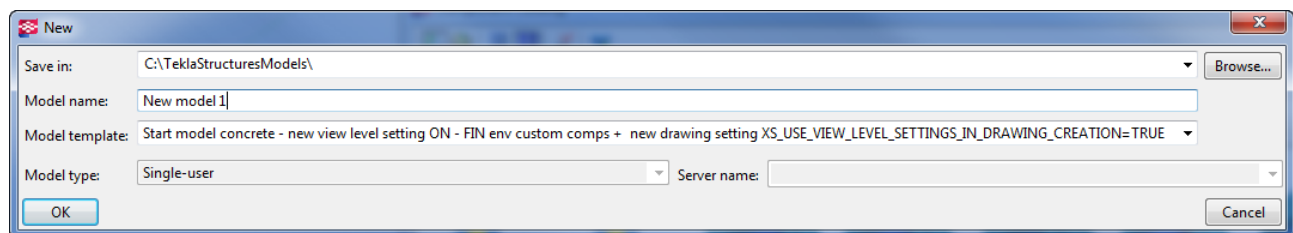
11. Tuotantosuunnitelmat

11.1 Yleistä

Konepajasuunnitelmilla tarkoitetaan kokoonpanon työpiirustuksia jonka perusteella konepaja voi valmistaa rakenneosan vaatimusten mukaisesti noudattaen standardissa EN1090-2 annettuja määräyksiä ja ohjeita.

11.2 Mallintaminen

Tässä esimerkissä esitetty pilariesimerkit on mallinnettu Tekla Structures ohjelmalla. Mallintamistapoja on useita ja ennen varsinaista mallintamista on syytä selvittää suunnittelun eri osapuolet ja niihin liittyvät mallinnusvaatimukset. Ohjelmassa ei ole menetelmää miten sisäpuolinen betonipoikkileikkaus raudoituksineen voidaan toteuttaa. Versiossa 20.1 Suomi – ympäristössä on kuvan 11.1 mukainen valinta mallipohjalle joka sisältää taulukossa 11.1 esitetyt custom component -detaljointimakrot.




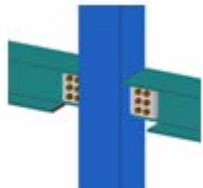
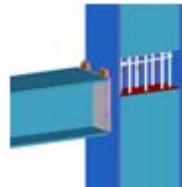
Kuva 11.1 Liittopilarityökalun sisältävä mallipohja Tekla Structures ohjelmassa.

Taulukko 11.1 Suomi -ympäristön liittopilari –komponentit.

Nimi	Tunnus	Kuvake
Raudoitteet reikien läpi	CIP_BE_002	
Hitsatut raudoitteet	CIP_BE_003	
Neliöputki	CIP_BE_004	



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Nimi	Tunnus	Kuvake
Pyöreä putki	CIP_BE_005	
Levyn läpimeno	CIP_BE_CO_BO_01	
Liittopalkin liitos	CIP_BE_CO_BO_02	

11.3 Piirustukset

EN1090-1/2 mukaisiin asiakirjoihin kuuluvat :

- toteutuseritelmä
- piirustuksia täydentävä teräsrakenteiden työselostus
- tuotanto(konepaja)piirustus
- asennuspiirustus

Tuotantopiirustuksien suunnittelijan tehtäviin kuuluu :

- teräskokoonpanopiirustukset
- raudoituksien kokoonpanopiirustukset
- osapiirustukset
- asennuspiirustukset

Kuvassa X esitetään eräs tapa luoda liittopilareiden vakioraudoitusta noudattava kokoonpanojen ryhmäjako.

Standardin EN1090 mukaisen toteutuseritelmän lisäksi teräskokoonpanoista toimitetaan rakennusosakohtainen työselostus niiltä osin jota ei piirustuksissa erikseen ilmoiteta.

11.4 Raportit

Mallintaminen luo mahdollisuuden luoda monipuolisia raportteja eri tarpeita varten. Raporttipohjien avulla voidaan myös seurata mallintamisessa tapahtuvia virheitä ja ristiriitoja. Raportteja voidaan koottaa eri sisältöisinä myös tuotantopiirustuksien valmistumisen jälkeen.



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

KIRJALLISUUTTA

Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus : Eurocode 4 –oppikirja. Suomen betoniyhdistys, Teräsrakenneyhdistys. Helsinki : BY-Koulutus, 2012.

Leino T., Häkkä-Rönnholm E., Nieminen J., Koukkari H., Hieta J., Vesikari E., Teräsrakenteiden käyttöikäsuunnittelu. VTT Rakennustekniikka, 1998.

SFS-EN1990: Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. CEN 2002

SFS-EN1991-1-1: Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. CEN 2002

SFS-EN1991-1-2: Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-2: Yleiset kuormat. Palolle altistettujen rakenteiden rasitukset. CEN 2002

SFS-EN1991-1-3: Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. CEN 2004

SFS-EN1991-1-4: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. CEN 2005

SFS-EN1991-1-6: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-6: Yleiset kuormat. Toteuttamisen aikaiset kuormat. CEN 2005

SFS-EN1991-1-7: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-7: Yleiset kuormat. Onnettomuuskuormat. CEN 2007

SFS-EN1992-1-1: Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. CEN 2005

SFS-EN1992-1-2: Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteellinen palomitoitus. CEN 2005

SFS-EN1993-1-1: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. CEN 2005

SFS-EN1993-1-2: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteen palomitoitus. CEN 2005

SFS-EN1994-1-1: Eurokoodi 4: Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. CEN 2005

SFS-EN1994-1-2: Eurokoodi 4: Betoni-teräs liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. CEN 2005

Ruostumattomien rakenneputkien käsikirja, Teräsrakenneyhdistys Ry, 2008



LIITTORAKENNEKURSSI – BETONILLA TÄYTETYT PUTKILIITTOPILARIT

Ruukki varasto-ohjelma 02.2011, Teräkset, ruostumattomat teräkset, alumiinit ja muut metallit.

Peltomaa, M. Betoni-teräs –liittorakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan. Tampere 2008. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan koulutusohjelma. 177s.

Betonitäytteisen teräslittopilarin suunnitteluohje. Helsinki 2004. Teräsrakenneyhdistys ry 114s.

by58 Liittorakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 4 –oppikirja. Helsinki 2012, Suomen Betoniyhdistys ry. Teräsrakenneyhdistys ry. 337s.

by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki 2008. Suomen Betoniyhdistys ry. 711s.