

Betonielementtien käyttö korkearakentamisessa

Eurokoodi 2023 Seminaari

28.09.2023

Aki Kempainen

Koulutus

- 2007 Jyväskylän AMK, Rakennetekniikka
- 2013 Tampereen YAMK, Rakennetekniikka
- Erinäisiä kursseja Aallossa, AaltoPro:ssa, Hämeenlinnan AMK:ssa jne.

Pätevyudet

- Poikkeuksellisen vaativa –vaativuusluokan betonirakenteiden suunnittelu
- Poikkeuksellisen vaativan –vaativuusluokan rakenefysiikan suunnittelu
- Poikkeuksellisen vaativan –vaativuusluokan betonirakenteiden ulkopuolinen tarkastaja

Työhistoria

- 2007-2011 Finnmap Consulting Oy
- 2011-2016 Wise Group Oy
- 2017- Sweco Finland Oy

Suunnittelu kohteita

- 2019- Kalasataman Jalusta T8 Ky, Horisontti 26-kerroksinen toimistotorni
- 2022- Itätuulenkuja 6-8 kaksi 13-/14-kerroksista asuinkerrostaloa ja jälkijännitetty pihakansi/parkkihalli
- 2019-2022 Lippulaivan asuintalot 1-6, kuusi kappaletta 4-14-kerroksisia asuintaloja Lippulaivan kauppakeskuksen päälle
- 2017-2021 As.Oy H:gin Poudantuoja, 18-kerroksinen asuinrakennus Hertsin kauppakeskuksen päälle
- 2014-2016 As.Oy Järvenpään Tuplankulma, 19. kerroksinen asuinkerrostalo

Sisältö

- Betonielementtien käyttö korkearakentamisessa ohjekortti
- Miten korkearakentaminen määritellään
- Elementtiliitokset
- Elementtiliitoksien toteutus
- Sidejärjestelmät
- Aukkopalkit
- Vinkkejä aukkopalkkien mitoitukseen

Ohjekortti

- Betonielementtiteollisuus ry:n elementtijaos on laatinut ohjeen betonielementtien käytöstä korkearakentamisesta yhteistyössä Swecon kanssa
- Ohjeen tarkoituksena on pyrkiä esittämään tiedossa oleviin haasteisiin ja esteisiin ratkaisuja, joilla betonielementtien käyttö korkearakentamisessa helpottuu
- Ohjeistus on suunnattu suunnittelijoille ja se löytyy elementtisuunnittelu.fi sivustolta
- Ohjeen luvut käsittelevät vaaka- pystysaumojen mitoituksen ja toteutuksen, sidejärjestelmät, pystyrakenteen ja ontelolaatan yhteistoiminnan, aukkopalkkien mitoituksen ja tuulitunnelikokeiden teettämisen
- Ohjekorttia on tarkoitus täydentää syksyn aikana vielä muutamalla luvulla, jotka käsittelevät FEM-laskentaa ja kohde esittelyjä



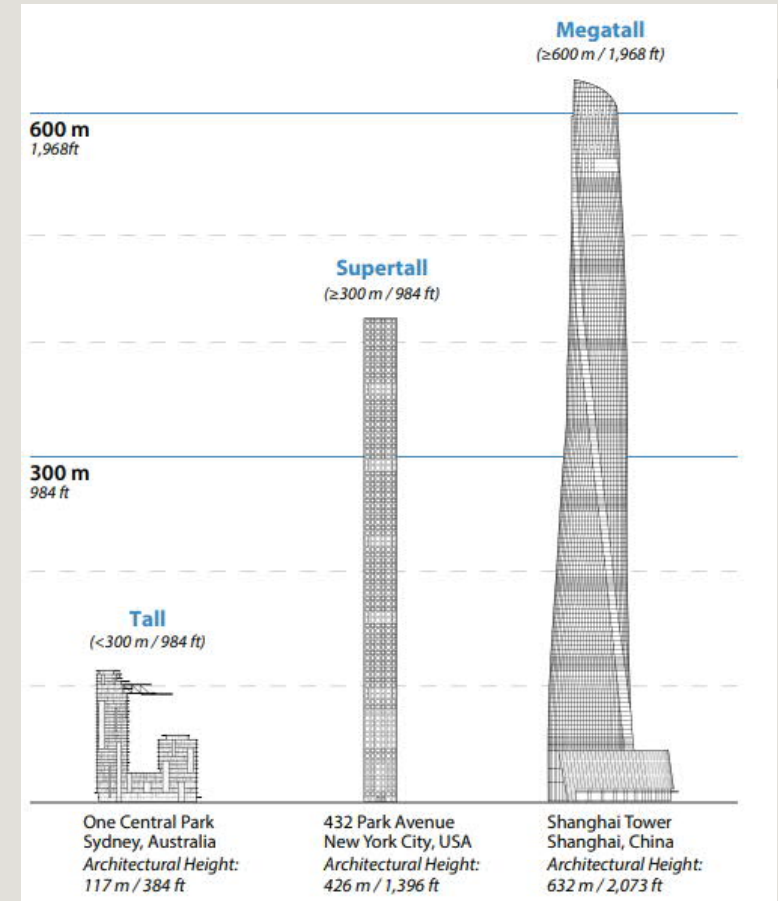
Miten korkearakentaminen määritellään

- Korkearakentamisen termi on vaikeasti määriteltävä, sille löytyy useita määritelmiä riippuen asia yhteydestä
 - Yhtenä määritelmänä on se, miten rakennus sijoittuu olemassa olevaan rakennuskantaan tai maastoon
- Suomessa, jossa rakennuskanta on matalaa, voidaan yli 12. kerroksista rakennusta pitää korkearakentamisena
- Maailman suurkaupungeissa vaaditaan muutamia kerroksia lisää, jotta rakennusta pidetään korkearakentamisena

CTBUH määritelmä rakennuksista:

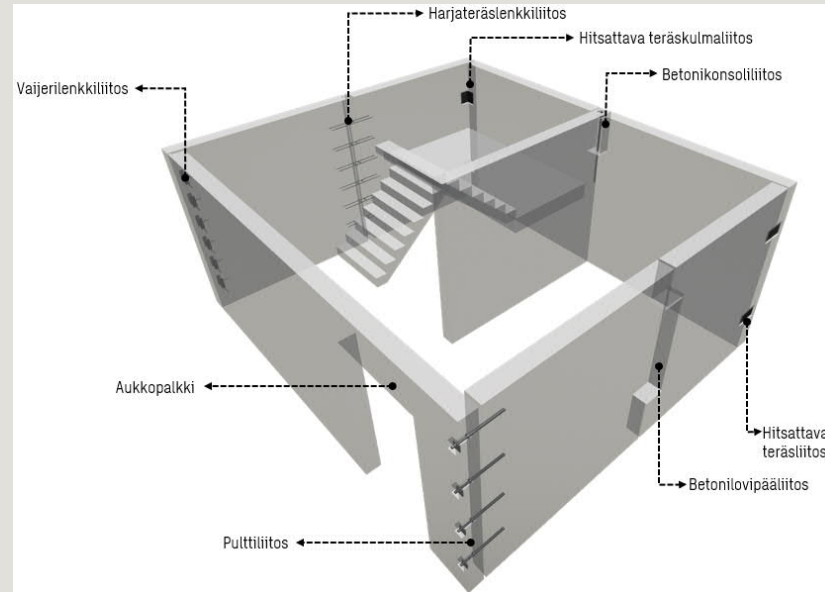
- alle 100/150 metriset rakennukset ovat korkeita rakennuksia (High-rise)
- yli 100/150 metriset rakennukset ovat pilvenpiirtäjiä (Skyscraper)
- yli 300 metriset superkorkeiksi (Supertall)
- yli 600 metriset megakorkeiksi (Megatall)

Suomessa toteuttavat korkeat rakennukset alkavat 12. kerroksesta ja ovat korkeudeltaan 20. kerroksen kummallakin puolen. Metreissä tämä tarkoittaa alle 40 metristä hieman yli 80 metriin maanpinnasta



Elementtiliitokset

- Betonielementtirakennuksen kantavan rungon toiminta riippuu täysin elementtiliitoksien toiminnasta, jolloin suunnittelu ja mitoitus tulee perustua todelliseen toimintatapaan
- Korkearakentamisen mukana myös elementtiliitostavat tulevat hieman muuttumaan matalimmista rakennuksista totutuista ratkaisuista
- Toivottavasti näidenkin osalta löytyy ja vakioituu elementtiliitosratkaisut, joita alalla yleisesti käytettäisiin
- Pystysaumaliitokset mitoitetaan EN 1992-1-1, kohdan 6.2.5 leikkaus eri aikaan valettujen betonien rajapinnassa -kohdan mukaisesti



Elementtiliitokset

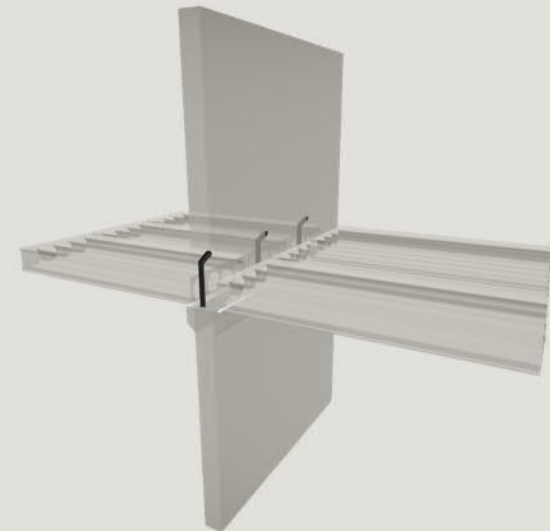
- Seinäelementtien vaakasaumat mitoitetaan rajapinnassa vaikuttaville voimille, jotka voivat olla vetäviä, puristavia, leikkaavia tai näiden yhdistelmiä
- Laasti- tai valusaumojen mitoituksissa ei ole eroa
- Kuitenkin laasti- ja valusaumojen ohjeellisissa detaljimitoissa ja täytyvyydessä on eroja, jotka tulee huomioida saumojen suunnittelussa
- Vaakasaumojen mitoituksessa tulee huomioida, minkälaiset voimat saumassa vaikuttavat, kun se vaikuttaa sauman mitoitukseen.
 - Onko mitoitettava vaakasauma puristusvoimaliitos, leikkausvoimaliitos, puristus- ja leikkausvoimaliitos, vetoliitos, veto- leikkausvoimaliitos vai näiden yhdistelmiä
- Laaditussa ohjekortissa on esitetty kaavat, joilla em. liitokset voidaan mitoittaa



Kuvassa jäykistysseinä, jossa vaakavoimat siirretään betonivaarnalla ja vetovoimat seinäkengillä tai harjateräsjatkoksilla

Elementtiliitokset

- Suomessa yli 12. kerroksissa rakennuksissa vaakarakenteet toteutetaan valtaosin paikallavalutekniikalla
- Ontelolaatoilla voidaan toteuttaa myös korkeita rakennuksia
- Ontelolaattojen laajempaa käyttöä korkeissa rakennuksissa on pääsääntöisesti rajoittanut selkeiden detaljien ja suunnitteluohjeiden puuttuminen
- Ontelolaatan ja seinän välisen liitoksen toimivuuteen tulee kiinnittää erityistä huomioita.
- Yhtenä ratkaisuna voisi olla, että ontelolaattoja ei asenneta seinäelementtien väliin vaan seinäelementin yläpäässä olevien betonikonsolien varaan.
 - Liitoksen tulee olla sellainen, että ontelolaatan kiertyminen ei ole estetty ja näin ollen ontelolaatan päähän ei pääse syntymään negatiivista momenttia, joka voisi aiheuttaa ontelolaatan päihin halkeamia



Elementtiliitoksien toteutus

- Työmaalla on laadittava betonointisuunnitelma myös voimia siirtävissä saumojen saumauksesta
 - Työmaalla sekoitettavien laasti- ja kuivabetonituotteiden betonin lujuus tulee määrittää standardien SFS-EN 12390-1, SFS-EN 12390-2 ja SFS-EN 12390-3
 - Työmaakoekappaleiden otto, olosuhdesäilytys ja testaus tehdään EN206 +SFS 7022 ja BY65 mukaisesti
 - Työmaakoekappaleiden testaus tulee suorittaa akkreditoitussa testauslaitoksessa
- Pumpattavien pystysaumojen tyypillisiä työvirheitä ovat saumassa esiintyvät harvuus ja vajaatäyttö, jota ei välttämättä havaitse silmämääräisesti valmiista laastisaumanpinnasta.
 - Yhtenä laadunvarmistustoimenpiteenä pumpattavissa voimia siirtävissä laastisaumoissa on ottaa poranäyte vaijerilenkkikoteloparin kohdalta niin, että näytteen mukana tulee koko vaijerilenkkikotelopari
 - Suunnittelussa ja mitoituksessa tulee huomioida poistettava vaijerilenkkikotelopari



Tarkempi ohjeistus on esitettävä suunnittelijan laatimissa työselostuksissa sekä työmaan laatimissa työsuunnitelmissa.

Sidejärjestelmät

- Onnettomuustilanteiden sidevoimien laskenta ei poista normaalitilanteiden sidevoimien laskennan tarvetta, ja päin vastoin
- Rakennuksen sideteräkset mitoitetaan aina sekä normaali- että onnettomuustilanteen sidevoimille ja käytettävä sideteräsmäärä määräytyy kyseisen mitoitusilanteen mukaisesti
- Onnettomuustilanteen suunnittelun periaatteena on lisätä merkittävästi rakenteen sitkeyttä onnettomuustilanteessa. Samalla pyritään kuitenkin välttämään ylimitoitusta
- CC3b rakennuksen sidevoimia mitoittaessa voi käyttää CC3a kaavoja, jollei riskiarvioinnin perusteella ole määritelty suurempia sidevoimia liitoksille
 - Seuraamusluokan CC3b rakennuksissa on tehtävä lisäksi rakennuksen järjestelmällinen riskinarviointi, jolloin otetaan huomioon sekä ennakoitavissa olevat että ennakoimattomat vaaratilanteet
- Julkisivuilta tulevat vaakavoimat tulee sitoa vaakatasoihin. Suunnittelussa tulee varmistaa, että tasoilla on riittävä kyky siirtää kuormat jäykistäville pystyrakenteille



Jatkuvan sortuman estämisen ohjekortti löytyy elementtisuunnittelu.fi sivustolta

Aukkopalkit

- Teräsbetonirakenteessa halkeilu vaikuttaa rakenneosien jäykkyyksiin
- Rakennuksen kuormat jakaantuvat rakenneosille jäykkyyksien mukaisesti, jolloin on oleellista, että rakenneosien jäykkyydet on määritelty rakennelaskentamalliin mahdollisimman oikein todellisen toimintavan mukaisesti
- Tyypillinen virhe on, ettei eri rakenneosien jäykkyyksiä ole määritelty lainkaan tai ne on määritelty virheellisesti rakennuksen kustannustehokkaan jäykistyksen kannalta
- Tarkastettava että rakennelaskentamalli laskee virheettömästi läpi ja esim. ominaistajuudet ovat järkeviä myös matalammissa taloissa.
- Rakennemallista laadittava kaksi erillistä mallia ns. halkeilematon laskentamalli ja halkeillut laskentamalli eli redusoitumalli

Table 6.6.3.1.1(a)—Moment of inertia and cross-sectional area permitted for elastic analysis at factored load level

Member and condition	Moment of Inertia	Cross-sectional area	
Columns	$0.70I_g$	$1.0A_g$	
Walls	Uncracked		$0.70I_g$
	Cracked		$0.35I_g$
Beams	$0.35I_g$		
Flat plates and flat slabs	$0.25I_g$		

EN 1992-1-1 H.1.2 (3) Jos jäykkyyttä ei arvioida tarkemmin, voidaan jäykistävälle rakenneosalle, jonka poikkileikkaus on halkeillut, käyttää likiarvojäykkyyttä:

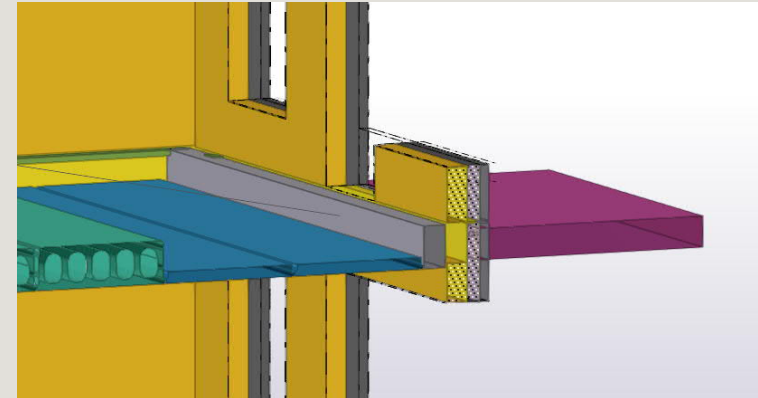
$$EI = 0,4E_{cd}I_c = \frac{0,4}{1,2}E_{cm}I_c = 0,33E_{cm}I_c$$

Luonnos- ja yleissuunnitteluvaiheessa voidaan halkeilleessa mallissa käyttää alustavia jäykkyyskertoimia.

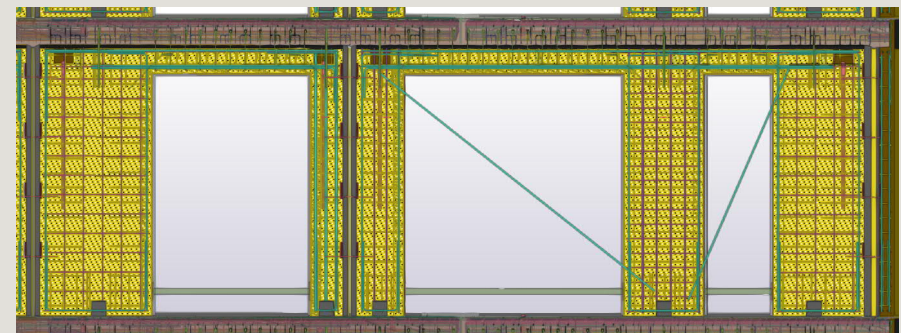
- ACI-/ASCE -ohjeista löytyvät yleisesti käytetyt jäykkyyskertoimet

Aukkopalkit

- Tyypillisesti aukkopalkkeilla tarkoitetaan ikkuna- ja oviaukkojen yläpuolelle jääviä palkkirakennetta
- Aukkopalkkien mitoituksessa tulee huomioida, toimiiko aukkopalkki osana rakennuksen jäykistysjärjestelmää vai mitoitetaanko aukkopalkit ainoastaan pystykuorman aiheuttamille momentti- ja leikkausvoimille
 - Matalimmissa rakennuksissa ei aukkopalkkeja yleensä oteta osaksi jäykistysjärjestelmää
- Korkeammassa rakennuksessa aukkopalkit huomioidaan jäykistysjärjestelmän leikkausseinissä eli jäykistävässä seinässä
 - Jos yhdistetyt leikkausseinät keräävät rakennuksen kokonaisjäykistyskuormista huomattavan osan, on myös leikkausseinä yhdistävissä aukkopalkkeissa suuret voimat.
- Aukkopalkkien suunnittelussa tulee huomioida myös palkkien toiminta palotilanteessa.
 - Ensimmäiseksi tulee suunnitella, mitkä aukkopalkit ovat rakennuksen onnettomuustilanteen toimintakyvyn kannalta välttämättömiä
 - Yleensä aukkopalkkien palomitoitus kannattaa tehdä EN 1992-1-2 taulukkomitoituksella



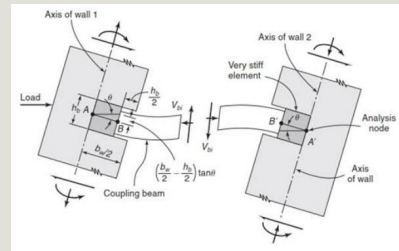
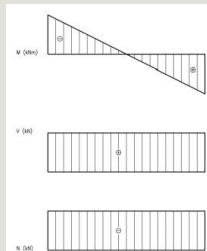
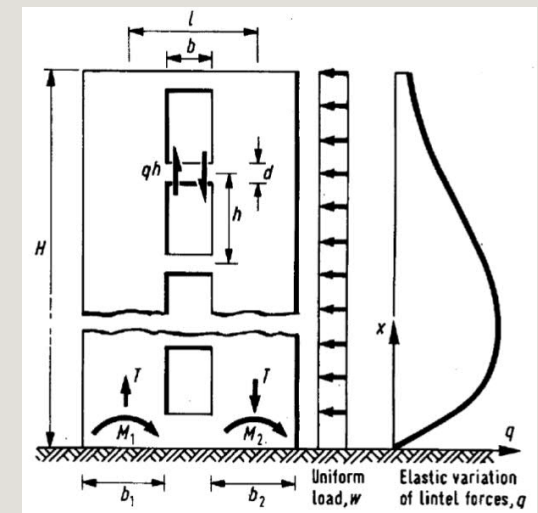
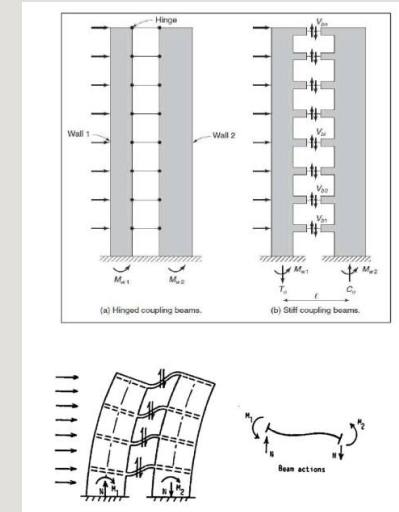
Ontelolaattavälipohja kohteissa "ei kantavien" julkisivujen seinissä tulee huomioida myös ulokeparvekkeiden vastapainon kuorma, joka on vähintään ulokeparvekkeen omapaino huomioiden hyötykuorma.



Pielen raudoituksissa tulee huomioida, oletetaanko pieli seinäksi ($>4 \cdot h$) vai pilariksi

Aukkopalkit

- Aukkopalkit kytkevät erilliset seinät yhteen, jolloin seinistä muodostuu jäykempi rakennekokonaisuus
 - Jäykistykseen osalta ratkaisevaa on juuri jäykistävän seinälinjan pituus, kun lasketaan seinän jäyhyysmomenttia $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$
- Stabiiliteettilaskennassa aukkopalkkeja voidaan käsitellä nivelellisinä tai jäykkinä.
- Vaakakuormat aiheuttavat jäykästi tuettuun aukkopalkkiin taivutusmomenttia, leikkausvoimaa sekä normaalivoimaa.
- Aukkopalkkien voimasuureiden suuruus riippuu palkkien jäykkyyksistä.
- Rasitetuimmat aukkopalkit sijaitsevat yleensä $0,15H \dots 0,5H$
- Kuvassa on esitetty aukkopalkkien leikkausrasitusten muuttuminen rakennuksen korkeussuunnassa
- Ilmiö johtuu kehämäisen ja seinämäisen jäykisterakenteen yhteistoiminnasta



Vinkkejä aukkopalkkien mitoitukseen

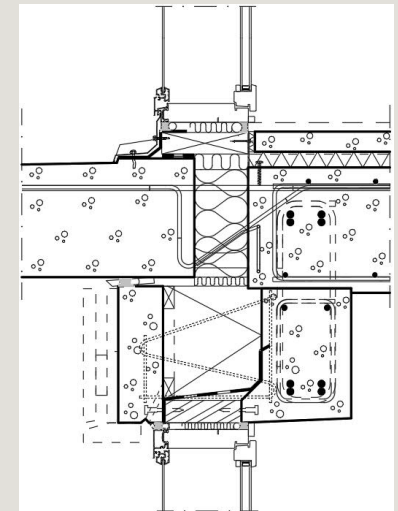
Osana jäykistysjärjestelmää toimivien aukkopalkkien mitoitus

1. Aukkopalkit mitoitetaan jäykästä, halkeilemattomasta, laskentamallista saataville rasituksille
2. Redusoidaan aukkopalkkien jäykkyyttä alustavilla redusointikertoimilla.
3. Selvitetään, halkeavatko jäykän laskentamallin mukaisesti mitoitettut poikkileikkaukset murtorajatilassa muodostuville rasituksille
4. Mitoitetaan aukkopalkit sekä muut rakenneosat, joihin jäykkyyden redusointi vaikuttaa, haljenneen tai halkeamattoman laskentamallin rasituksille pahimman tapauksen mukaisesti



Yksinkertaistettu tapa mitoittaa aukkopalkit julkisuilla

1. Valitaan palkkiin taloudellinen ja järkevät raudoitus
2. Raudoitukselle lasketaan momentti- ja leikkausvoimakestävyys sekä halkeamamomentti sallitulla halkeiluleveydellä.
3. Lasketaan halkeilleen poikkileikkauksen redusointikerroin $K = \frac{EI_{cr}}{EI}$
4. Syötetään redusointikerroin rakennelaskentamalliin.
 - Halkeilleiden aukkopalkkien rasitukset pienevät ja siirtyvät suhteessa jäykemmille rakenteille.
5. Tarkastetaan halkeilleen rakennuksen laskentamallista, pysyvätkö voimasuureet alle laskettujen kestävyyksien.





KIITOKSIA,
KYSYTTÄVÄÄ /
KOMENTOITAVAA