



# Betonin paikallinen puristuslujuus ja halkaisuvoimat

Eemil Kautto

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhteiskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

KAUTTO, EEMIL:

Betonin paikallinen puristuslujuus ja halkaisuvoimat

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Toukokuu 2020

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:lle selkeä tietopaketti betonin paikallisesta puristuslujuudesta ja halkaisuvoimista. Tämän lisäksi toimeksiantajalle laadittiin Excel-pohjainen mitoitustyökalu suunnittelutyötä nopeuttamaan. Työssä tehtiin vertailua vanhan Rakentamismääräyskokoelman osion B4 ja nykyisin käytettävän eurokoodistandardin EN-1992-1-1 välillä. Molempien ohjeiden mukaan on tehty myös laskuesimerkkejä. Tässä työssä Rakentamismääräyskokoelman B4 osiosta käytetään nimitystä RakMK B4 ja EN-1992-1-1 eurokoodistandardista EC2.

Opinnäytetyössä perehdytään betonirakenteiden suunnittelua koskeviin määräyksiin ja ohjeisiin sekä työn taustalla olevaan teoriaan. Tavoitteena oli syventyä aiheeseen ja sitä koskeviin suunnitteluohjeisiin. Lisäksi työssä on tehty esimerkkilaskelmat paikallisen puristuslujuuden määrittämisestä sekä mitoitettu halkaisuvoimia vastaanottavat raudoitukset. Työ on pyritty tekemään mahdollisimman selkeäksi ja helppolukoiseksi. Toimeksiantajalla ei ennestään ollut erillisiä ohjeita paikallisen puristuslujuuden ja halkaisuvoimien määrittämiseen ja tarvittavien raudoitusten mitoitukseen.

Työn tuloksena syntyi koostettu tietopaketti betonin paikallisesta puristuksesta sekä halkaisuvoimista ja lisäksi mitoitustyökalu puristuskapasiteetin ja halkaisuraudoitusten määrittämiseen.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

KAUTTO, EEMIL:  
Local Concrete Compression Capacity and Splitting Forces

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 1 page  
May 2020

---

The purpose of this thesis was to collect information about local concrete compression capacity and splitting forces into one guide and produce an Excel-based designing tool for structure designing. The thesis was made for TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy. The main sources of data were Eurocode standard EN-1992-1-1 and National Building Code of Finland section B4.

This thesis introduces instructions concerning the design of concrete structures as well as the theory behind the work. In addition, example calculations were made for the determination of compression capacity. Calculations were also made for determining the correct reinforcement solution according to the splitting force it will receive. The aim was to make this thesis as clear and user-friendly as possible, because TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy did not already have a guide for determining the local compressive strength and splitting forces and calculating the required reinforcements.

The result of the work was compiled information on the local compression of concrete and the splitting forces concrete receives. In addition, a designing tool was created for structure designers to help and quicken their work.

---

Key words: compression capacity, splitting forces, concrete

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	TAUSTATEORIA .....	8
	2.1. Ohjeet ja määräykset .....	8
	2.1.1 RakMK B4 .....	9
	2.1.2 Eurokoodit .....	9
	2.2. Betonin paikallinen puristus .....	10
	2.2.1 Jännitysten jakaantuminen .....	11
	2.2.2 Keskeinen puristus .....	12
	2.2.3 Epäkeskeinen puristus .....	15
	2.3. Useita paikallisia puristusvoimia.....	16
	2.4. Halkaisuvoimat.....	17
	2.5. Kuormitustason nurkan vetovoimat.....	25
	2.6. Halkaisuraudoitus.....	26
	2.7. Excel-mitoitustyökalu .....	28
3	LASKENTAESIMERKIT RakMK B4.....	29
	3.1. Esimerkkitalanne .....	29
	3.1.1 Lähtötiedot.....	30
	3.2. Paikallinen puristus .....	30
	3.2.1 Keskeinen puristus .....	30
	3.2.2 Epäkeskeinen puristus .....	31
	3.3. Halkaisuvoimat.....	32
	3.3.1 Keskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima .....	32
	3.3.2 Epäkeskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima.....	32
	3.3.3 Nurkkien vetovoimat .....	33
	3.3.4 Halkaisuraudoitusten mitoitus.....	33
	3.3.5 Raudoitukset nurkkien vetovoimille .....	34
4	MITOITUS/LASKENTAESIMERKIT EC2.....	35
	4.1. Lähtötiedot .....	35
	4.2. Paikallinen puristus .....	35
	4.2.1 Keskeinen puristus .....	35
	4.2.2 Epäkeskeinen puristus .....	36
	4.3. Halkaisuvoimat.....	38
	4.3.1 Keskeinen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima .....	38
	4.3.2 Epäkeskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima.....	38
	4.3.3 Nurkkien vetovoimat .....	38
	4.3.4 Halkaisuraudoitusten mitoitus.....	39

4.3.5 Raudoitukset nurkkien vetovoimille .....	40
5 POHDINTA .....	41
LÄHTEET .....	42
LIITTEET .....	43
Liite 1. Excel-laskentatyökalu.....	43

## LYHENTEET JA TERMIT

$a$	Rakenteen sivumitta
$a_0$	Kuormitetun pinnan sivumitta (RakMK B4)
$a_1$	Kuorman jakautumispinnan sivumitta (RakMK B4)
$A_c$	Betonin poikkileikkausala
$A_{c0}$	Kuormitetun pinnan ala
$A_{c1}$	Kuorman jakautumispinnan ala
$A_{sw}$	Vaadittava teräspinta-ala halkaisuraudoitukselle
$b_0$	Kuormitetun pinnan sivumitta (RakMK B4)
$b_1$	Kuormitetun pinnan sivumitta (EC2); Kuorman jakautumispinnan sivumitta (RakMK B4)
$b_2$	Kuorman jakautumispinnan sivumitta (EC2)
$d_1$	Kuormitetun pinnan sivumitta (EC2)
$d_2$	Kuorman jakautumispinnan sivumitta (EC2)
$f_{cd}$	Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
$F_d$	Kuorman laskenta-arvo
$F_x$	Nurkan vetovoima x-suunnassa
$F_y$	Nurkan vetovoima y-suunnassa
$F_{yd}$	Epäkeskisyyden aiheuttama reunavetovoima
$f_{yd}$	Teräksen laskentalujuuden arvo
$h$	Poikkileikkauksen korkeus
$k$	Kerroin; Tekijä; Luku
$n$	Kuormanvaihtoluku
$\alpha$	Kulma; suhde
$\rho_c$	Betonin tiheys

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Nykyään rakennetaan yhä korkeampia taloja. Tämän takia myös kuormat alimille rakenneosille kasvavat ja rakenteilta vaaditaan entistä suurempaa kantokykyä. Kun kerroksia on enemmän kuin kuusi, mitoituksessa on huomioitava paikallinen puristuskestävyys sekä mitoitettava hakateräkset puristusvoimista aiheutuille halkaisuvoimille. Tämä aihe on tärkeä, kun Suomessa korkea rakentaminen yleistyy.

Tämä opinnäytetyö on tehty TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:n toimeksiantosta. Työn taustalla oli tarve yksinkertaistaa ja nopeuttaa rakennesuunnittelijan työtä paikallisen puristuskestävyyden ja halkaisuraudoitteiden mitoituksessa. Toimeksiantajalla ei ennestään ole ollut selkeää laskentapohjaa kyseistä mitoitusta varten, vaan laskenta on tehty käsin. Työssä on tehty vertailua vanhan RakMK B4 normin ja nykyisin käytettävien eurokoodien välillä.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on tuottaa toimeksiantajalle rakennesuunnittelijan työtä helpottava, mahdollisimman selkeä ja yksinkertainen Excel -laskentapohja paikallisen puristuksen sekä halkaisuvoimia vastaanottavan raudoituksen mitoitukseen. Tavoitteena on myös perehtyä asiaan ilmiönä ja kirjoittaa siitä selkeä teoria vertailun eurokoodia ja rakentamismääräyskokoelman ohjetta B4. Laskentapohja on laadittu soveltaen eurokoodia.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain tapauksia, joissa paikallinen puristus vaikuttaa vain yhdessä pisteessä. Ulkopuolelle jää esimerkiksi tilanne, jossa on samanaikaisesti useita paikallisen puristuksen vaikutuspisteitä sekä jännevoimista aiheutuvat puristus- ja halkaisuvoimat.

## 2 TAUSTATEORIA

### 2.1. Ohjeet ja määräykset

Betonirakentamiseen, kuten rakentamiseen yleisesti, liittyy paljon ohjeita ja määräyksiä. Suomessa rakentamista ohjaa Maankäyttö- ja rakennuslaki ja ympäristöministeriön laatima Suomen rakentamismääräyskokoelma.

Ympäristöministeriö määrittelee Maankäyttö- ja rakennuslain seuraavasti:

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, MRL) määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, olennaiset tekniset vaatimukset sekä rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta. Olennaiset tekniset vaatimukset koskevat rakenteiden lujuutta ja vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyttä, käyttöturvallisuutta, esteettömyyttä, meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. Lain 117 §:ssä annetaan olennaisten teknisten vaatimusten lisäksi asetuksenantovaltuutus koskien rakennusten käyttö- ja huolto-ohjetta. Tarkemmat rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet kootaan Suomen rakentamismääräyskokoelmaan (Ympäristöministeriö, 2019).

Suomen rakentamismääräyskokoelma on tarkentava maankäyttö- ja rakennuslakia täydentävä kokoelma ohjeita ja määräyksiä. Määräykset koskevat kaikkia osapuolia ja niitä on noudatettava. Ohjeet ovat esimerkkejä toteutustavoista.

Näiden lisäksi kantavien rakenteiden suunnittelua ohjaa Euroopan standardointikomitean laatimat EN-suunnittelustandardit yhdessä Suomen kansallisten liitteiden kanssa. EN-suunnittelustandardeista käytetään tässä opinnäytetyössä nimeä eurokoodit.

Eurokoodeja ei saa käyttää yhdessä muiden normien, määräysten ja ohjeiden kanssa, jos sitä ei ole erikseen sallittu. Muiden suunnitteluohjeiden käyttö on sen sijaan sallittu, kunhan ne eivät ole ristiriidassa eurokoodien kanssa esimerkiksi tapauksissa, joissa suunnittelukohdetta koskevaa ohjeistusta ei suoraan löydy eurokoodeista (RIL 202-2011,11).



### **2.1.1 RakMK B4**

Rakentamismääräyskokoelman B-sarja sisältää kantavien rakenteiden suunnittelun ohjeet ja määräykset. Rakentamismääräyskokoelman B-sarjan osio 4, lyhyemmin RakMK B4, oli ympäristöministeriön asetus betonirakenteista. Kyseinen asetus tuli voimaan 1.1.2005, ja se kumosi aikaisemman 29.10.2000 annetun asetuksen.

Näissä ohjeissa esitetään rajatilatarkasteluihin perustuva mitoitusmenetelmä kantavien betonirakenteiden suunnittelua varten sekä menetelmä betonirakenteiden valmistamiseksi. Yhtenä kokonaisuutena toimivat rakenneosat mitoitetaan yhtä menetelmää käyttäen. Määräysten edellyttämä rakenteiden varmuustaso ja säilyvyys katsotaan saavutetuksi, kun rakenteet suunnitellaan ja valmistetaan sekä niiden kelpoisuus osoitetaan näiden ohjeiden mukaisesti (Suomen RakMK B4 2005, 5).

Rakentamismääräyskokoelma kumottiin vuonna 2014 ja se korvattiin ympäristöministeriön asetuksilla.

Tässä työssä käytetään Rakentamismääräyskokoelman B4 osiota. RakMK B4 mitoitukset perustuvat rajatilamenetelmään.

### **2.1.2 Eurokoodit**

Eurokoodit ovat eurooppalaisia kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka tulivat voimaan 2014 samaan aikaan, kun Rakentamismääräyskokoelma kumottiin. Eurokoodien laatimisen tarkoituksena oli saada aikaan yhdenmukaiset säännöt rakennusten suunnittelua varten ja rakennusteollisuuden kilpailukyvyyn kasvattamiseksi (Suomen Standardoimisliitto SFS, N.d.). Suomessa eurokoodien julkaisijana toimii Suomen Standardoimisliitto SFS.

Suomessa kansalliset liitteet ovat ympäristöministeriön antamia asetuksia. Ensimmäiset kansalliset liitteet julkaistiin Ympäristöministeriön toimesta loppuvuonna 2007. Tässä erässä olivat tavanomaisessa talonrakennuksessa tarvittavat eurokoodiosien liitteet. Loput liitteet julkaistiin vuosina 2008 ja 2009. Eurokoodeja voitiin käyttää rinnakkain Rakentamismääräyskokoelman B-sarjan kanssa vuoteen 2014 (Rakennusteollisuus, 2019, 7, 8). Nykyään suunnittelussa käytetään yksinomaan eurokoodeja.

Tässä työssä käytetään eurokoodistandardia EN-1992-1-1, joka sisältää betonirakenteiden suunnittelua koskevat säännöt. Standardi perustuu rajatilamenetelmään ja osavarmuusmenettelyyn.

## **2.2. Betonin paikallinen puristus**

Paikallinen puristus tarkoittaa, että puristava voima kuormittaa vain tiettyä osaa tarkasteltavan rakenteen poikkileikkauspinnasta, jolloin tulee tarkistaa rakenteen paikallinen puristuskapasiteetti. Paikallisen puristuksen aiheuttajat ovat tavallisesti ulkoisia kuormia, mm. jännevoimat, tangon ankkuroinnit tai laakereiden kautta tulevat tukivoimat (RIL 125 1986, 192). Paikallinen puristus tulee myös tarkistaa pilarin koon muuttuessa, jolloin yläpuolinen pilari on pienempi poikkileikkaukseltaan. Puristuskapasiteetin laskennassa kaikissa tapauksissa pätee sama laskukaava.

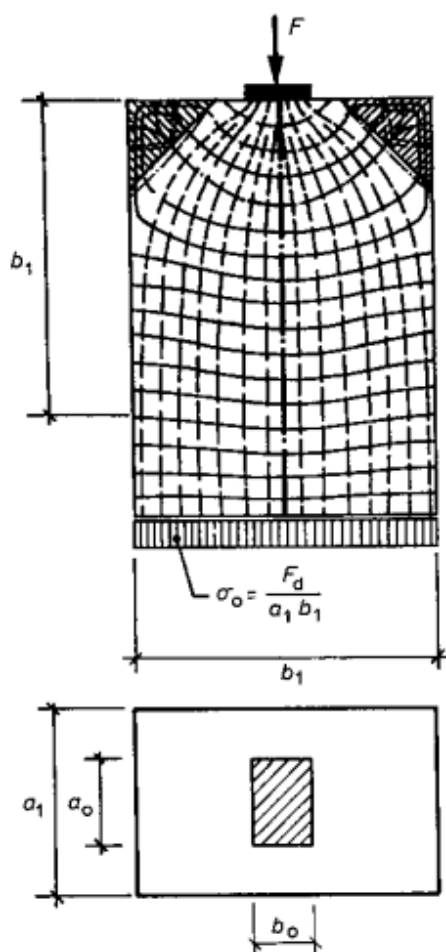
Mikäli betonirakenne on raudoitettu poikittaisia halkaisuvoimia vastaan, paikallinen puristuskapasiteetti voi olla suurempi kuin betonin kuutiopuristuslujuus (RIL 125 1986, 192).

Paikallisen puristuskapasiteetin laskennassa on hyvin vähän eroja eurokoodin ja vanhan betoninormin B4 välillä. Mahdolliset erot laskennan tuloksissa aiheutuvat varmuuskertoimien eroista kuormituksessa ja materiaalissa. Lisäksi eurokoodissa ei ole ohjeistusta epäkeskisen puristuskapasiteetin ja halkaisuvoimien määrittämiseen. Näiltä osin työssä on sovellettu B4:n ohjeita.

## 2.2.1 Jännitysten jakaantuminen

Rakenne on puristettu silloin, kun siihen kohdistuu puristavia normaalivoimia. Nämä puristavat voimat aiheuttavat puristusjännityksiä rakenteeseen. Koko poikkileikkauksen ollessa puristettu puristusjännitys on yhtä suuri koko poikkileikkauksen alueella.

Jännitystila voiman vaikutuspisteen läheisyydessä on riippuvainen kuormitusalan ja poikkileikkausalan välisestä suhteesta sekä voiman vaikutuspisteestä silloin, kun puristava voima vaikuttaa paikallisesti vain osalla betonipinnasta. Voiman leviämismatkan jälkeen puristusjännitys jakautuu koko poikkileikkausalueelle kuvan 1 mukaisesti (RIL 125 1986, 192).



Kuva 1. Puristusjännityksen jakaantuminen (RIL 125 1986, 193)

## 2.2.2 Keskeinen puristus

Keskeinen puristus on kyseessä silloin, kun kuorma vaikuttaa keskeisesti poikki-leikkaukseen nähden kuvan 1 mukaisesti.

Paikallinen puristuskapasiteetti  $F_u$  lasketaan vanhan RakMK B4 normin mukaan kaavasta (Suomen RakMK B4 2005, 28):

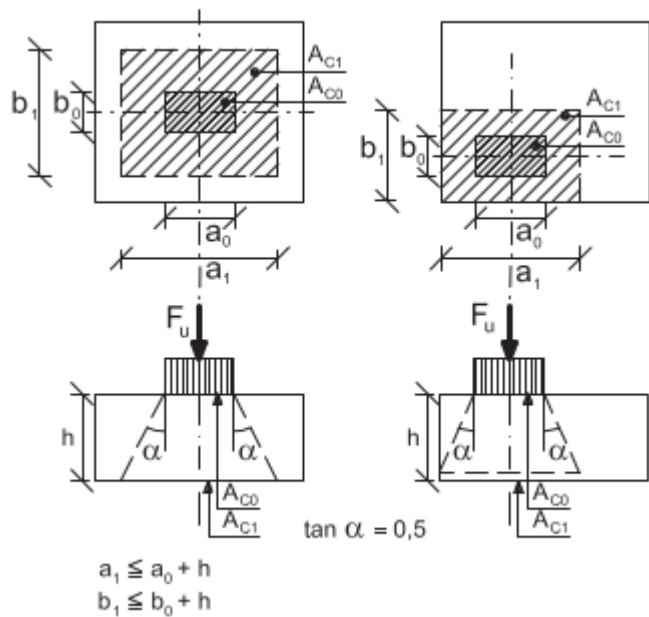
$$F_u = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt[n]{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq k * A_{c0} * f_{cd} \quad (2)$$

, missä	$A_{c0}$	on kuormitetun pinnan ala $a_0 * b_0$
	$A_{c1}$	on kuorman jakautumispinnan ala $a_1 * b_1$
	$f_{cd}$	on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
	$k$	= 3 ja $n = 2$ , kun $\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$
	$k$	= 2,5 ja $n = 2,5$ , kun $1800 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_c < 2400 \text{ kg/m}^3$
	$k$	= 2 ja $n = 3$ , kun $\rho_c < 1800 \text{ kg/m}^3$

B4-normin kaavan käytön ehtoina on, että (kuva 2)

- jakaantumispinnan painopisteen tulee olla kuormittavan voiman vaikutus-suoralla
- jakaantumispinnan sivumittoja ei saa otaksua suuremmaksi kuin  $a_1 \leq a_0 + h$  ja  $b_1 \leq b_0 + h$ , missä  $h$  on jakautumis- ja kuormituspinnan välinen etäisyys
- kuormitetun pinnan ja jakaantumispinnan välillä ei rakenteessa saa olla heikennyksiä
- Halkaisuvoimat vastaanotetaan tarvittaessa raudoituksella (Suomen RakMK B4 2005, 28).

Kuorma jakautuu rakenteessa kuvan 2 mukaisesti siten, että  $\tan \alpha = 0,5$ , joka on  $26,6^\circ$  tai 1:2.



Kuva 2. Paikallisen puristuksen mitoitusalueiden jakautuminen keskeisen ja epäkeskeisen kuorman vaikuttaessa (Suomen RakMK B4 2005, 28)

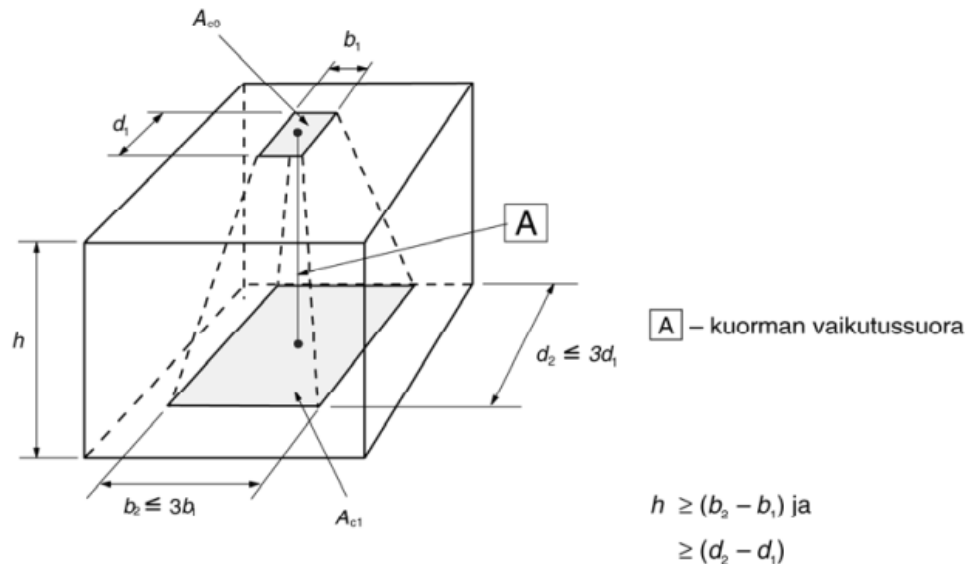
EC2:n mukaan paikallinen puristuskapasiteetti raudoitettu rakenteelle  $F_{Rdu}$  lasketaan kaavasta (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 110):

$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 * f_{cd} * A_{c0} \quad (3)$$

, missä  $A_{c0}$  on kuormitetun pinnan ala  $b_1 * d_1$   
 $A_{c1}$  on kuorman jakautumispinnan ala  $b_2 * d_2$   
 $f_{cd}$  on betonin kuormituslujuuden mitoitusarvo

EC2-kaavan käytön ehtona on, että (kuva 3)

- Kuorman jakautumiskorkeus vastaa kuvan 3 mukaisia ehtoja.
- Mitoituksessa käytettävän jakautumisalueen  $A_{c1}$  keskipiste on kuorman vaikutussuoralla, joka kulkee kuormitusalueen  $A_{c0}$  keskipisteen kautta.
- Jos betonipoikkileikkaukseen vaikuttaa vähintään kaksi puristuskuormaa, eivät mitoitusjakautumisalueet saa limittyä keskenään (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 110).



Kuva 3. Paikallisen puristuksen mitoitusalueet (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015, 111)

Eurokoodissa jakautumispinnan mittojen ehdot on määritelty eri tavoin kuin vanhassa B4-normissa. Käytännössä ne ovat kuitenkin samat.

Lisäksi EC2-kaavassa on tehty yksinkertaistus. Kerroin  $k$  on poistettu ja tilalle on tullut luku 3. Tämä johtuu siitä, että jakaantumispinta on enintään kolminkertainen kuormituspintaan nähden. Teräsbetonin tiheys oletetaan myös olevan yleisesti  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Vanhan B4-normin kaavassa on vaihtoehdot valita kertoimet betonin tiheyden mukaan. Tämä on todennäköisesti peruja niiltä ajoilta, kun betonin ja raudoitusten laatu vaihteli.

Betonin puristuslujuus ei voi kasvaa äärettömästi, joten sille on asetettu ehto. Paikallisen puristuslujuuden on oltava alle tai yhtä suuri kuin maksimi puristuslujuus. Jos tämä ehto ylittyy, käytetään mitoituksessa paikallisen puristuslujuuden maksimiarvoa.

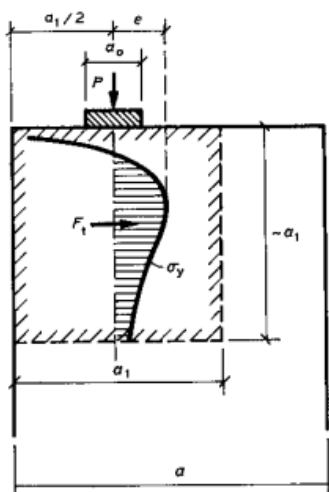
$$F_{Rdu} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} \leq 3,0 * f_{cd} * A_{c0}$$

Jos sinisellä ympyröidyn lausekkeen arvoksi tulee suurempi kuin maksimiarvosta (pun. ympyröity), käytetään maksimiarvoa.

### 2.2.3 Epäkeskeinen puristus

Epäkeskeinen puristus on kyseessä silloin, kun kuorma vaikuttaa rakenteen reunaan. Epäkeskeisen puristuskapasiteetin laskennassa menetellään samoin kuin kyseessä olisi keskeinen puristusvoimakapasiteetti. Voiman jakautumiskulma on puristetuissa rakenteissa sama  $26,6^\circ$  riippumatta kuorman sijainnista.

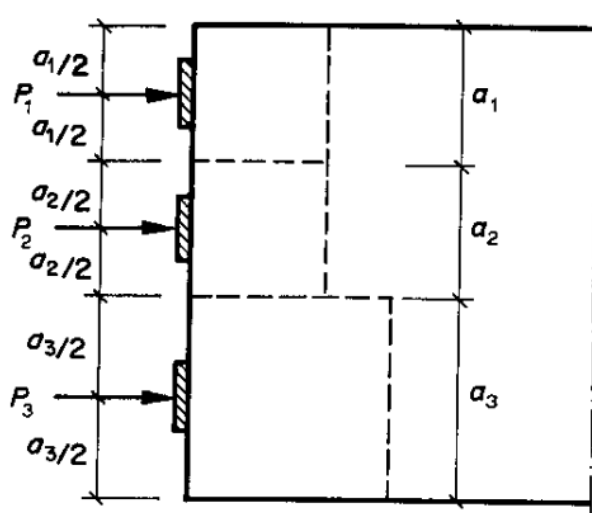
Epäkeskeisen puristuksen vallitessa halkaisuvoimien suuruus on pienempi kuin keskeisen puristuksen tapauksessa. Jännitykset keskittyvät silloin pääosin toiseen reunaan, joten halkaisuvoimat ja paikallinen puristus voidaan määrittellä korvikeprisman (kuva 4) avulla (RIL 125 1986, 95). Jakautumispinta-alan oletetaan olevan sillä kohdalla, missä voiman jakaantumislinja ensiksi leikkaa rakenteen sivun, kuten kuvassa 2 on esitetty. Täten  $a_1$  mitta on 2 kertaa voiman reunaetäisyys. Toisin sanoen korvikeprismalla epäkeskeinen kuormitus ”muutetaan” keskeiseksi.



Kuva 4. Korvikeprisma (RIL 125 1986, 97)

### 2.3. Useita paikallisia puristusvoimia

Kun rakenteessa vaikuttaa useita paikallisia puristusvoimia, poikkipinta jaetaan voimien vaikutuspisteiden kanssa samankeskisiin osa-alueisiin kuvan 5 tavoin. Kunkin osa-alueen puristuskapasiteetti ja halkaisuvoimat määritetään samoin kuin muissakin tapauksissa. On kuitenkin huomioitava, että puristuksen jakautumisalueet eivät saa limittyä keskenään. (RIL 125 1986, 96,98)



Kuva 5. Rakenteen poikkipinnan jakaminen osa-alueisiin useiden puristusvoimien vaikuttaessa (RIL 125 1986, 98)

Mikäli rakenteen koko poikkipinta-alaa ei voida jakaa pistevoimille samankeskisiksi osapinnoiksi, rakenne jaetaan korvikeprismoiksi, kuten kuvassa 6 on esitetty (RIL 125 1986, 96, 98). Korvikeprismojen mitat voidaan määrittää kuorman jakautumiskulman avulla samoin kuin epäkeskeisessä tapauksessa.





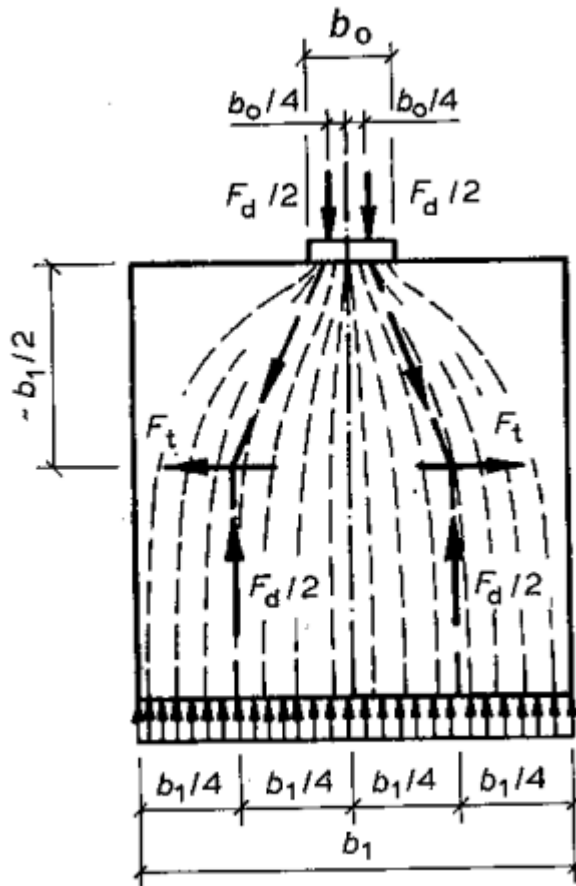
RakMK B4 normin mukaan halkaisuraudoitusten tarpeen määrittely voidaan tehdä yksinkertaisen kaavan avulla, sillä yleisesti otaksutaan, että halkaisuraudoitusta ei tarvita eli halkaisukapasiteettiä ei ylitetä, jos seuraava ehto täyttyy (Suomen RakMK B4 2005, 28):

$$\frac{1,2 \cdot F_d}{A_{co}} \leq f_{cd} \quad (4)$$

, missä  $F_d$  on kuorman laskenta-arvo

Jos ehto ei toteudu tai kuormitus on epäkeskeinen, on käytettävä halkaisuraudoitusta. Lisäksi, jos kuorma sijaitsee reunalla, on huomioitava lohkeiluvaara (Suomen RakMK B4 2005, 28).

Tätä ehtoa (kaava 4) ei ole eurokoodissa määritelty.



Kuva 7. Halkaisuvoiman määrittäminen. (RIL 125 1986, 193)

Keskeisen kuormituksen vaikuttaessa halkaisuvoiman likiarvo voidaan laskea kaavasta, joka perustuu kuvan 7 oletuksiin (RIL 125 1986, 193).

$$F_t = 0,25 * F_d \left(1 - \frac{b_0}{b_1}\right) \quad (5)$$

, missä

$b_0$  on kuormituspinnan tarkasteltavan suunnan sivumitta  
 $b_1$  on jakaantumispinnan tarkasteltavan suunnan sivumitta  
 (huom. Rakenteen laippoja tai ulkonemia ei huomioida)  
 (Suomen RakMK B4 2005, 28).

"Mikäli rakenteessa esiintyy kuormittavaan voimaan nähden poikittaisia puristusjäännityksiä, saa näiden vaikutuksen ottaa huomioon halkaisuvoimia laskettaessa." (Suomen RakMK B4 2005, 28)

Halkaisuvoima neliön muotoiselle poikkileikkaukselle, suorakaidepoikkileikkaukselle ja epäkeskeisen puristuksen vallitessa voidaan myös määrittää tarkemmin kuvien 9, 10 ja 11 avulla. Kyseisestä kaaviosta selviää lisäksi jännityksen nollassa kohdan ja maksimiarvon sijainti (RIL 125 1986, 194).

Eurokoodeihin ja kansallisiin liitteisiin perustuvassa RIL 202-2011 ohjeessa halkaisuvoiman laskentaan on täysin sama kaava kuin B4-normissa. Mahdolliset erot laskennan tuloksissa johtuvat varmuuskertoimien eroista kuormituksessa ja materiaalissa.

Halkaisuvoiman määrittäminen voidaan tehdä myös statiikan avulla.

Esimerkkinä kuvaan 8 perustuva laskentaesimerkki, kun  $F_d$  on 50 kN ja  $b_1$  on 350 mm sekä  $b_0$  on 50 mm.:

Tasapainoehto:

$$F_3 = Fd/2$$

$$\uparrow: F_2 * \sin(63,4^\circ) - F_3 = 0 \rightarrow F_2 = 28kN \quad (6)$$

$$\rightarrow: F_2 * \cos(63,4^\circ) - F_1 = 0 \rightarrow F_1 = 12,5kN \quad (7)$$

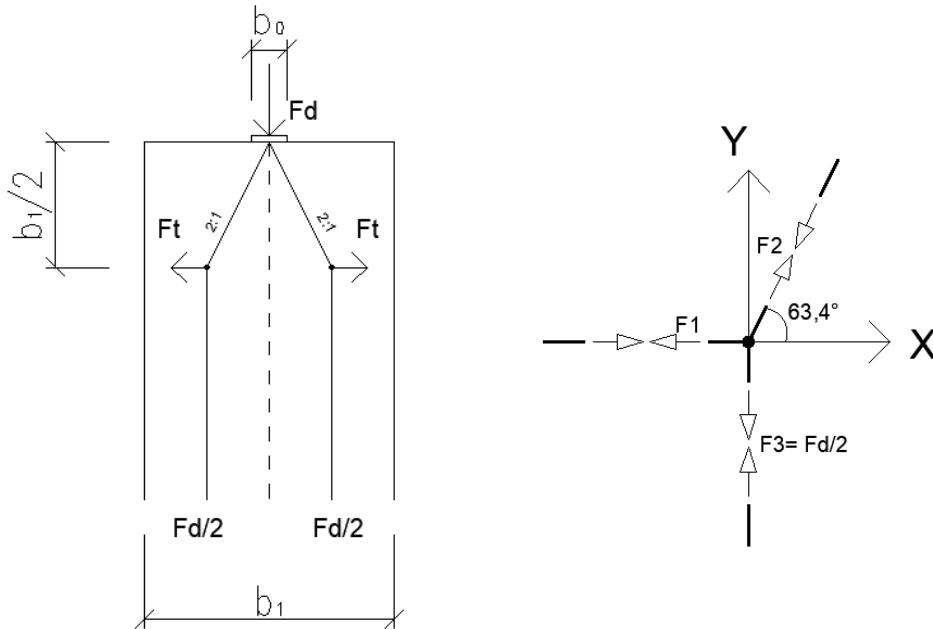
$$\frac{12,5kN}{50kN} = 0,25 \rightarrow 25\% \quad (8)$$

Solmupisteen tasapainoehdolla laskettaessa halkaisuvoimaksi saadaan 25 % kuorman arvosta.

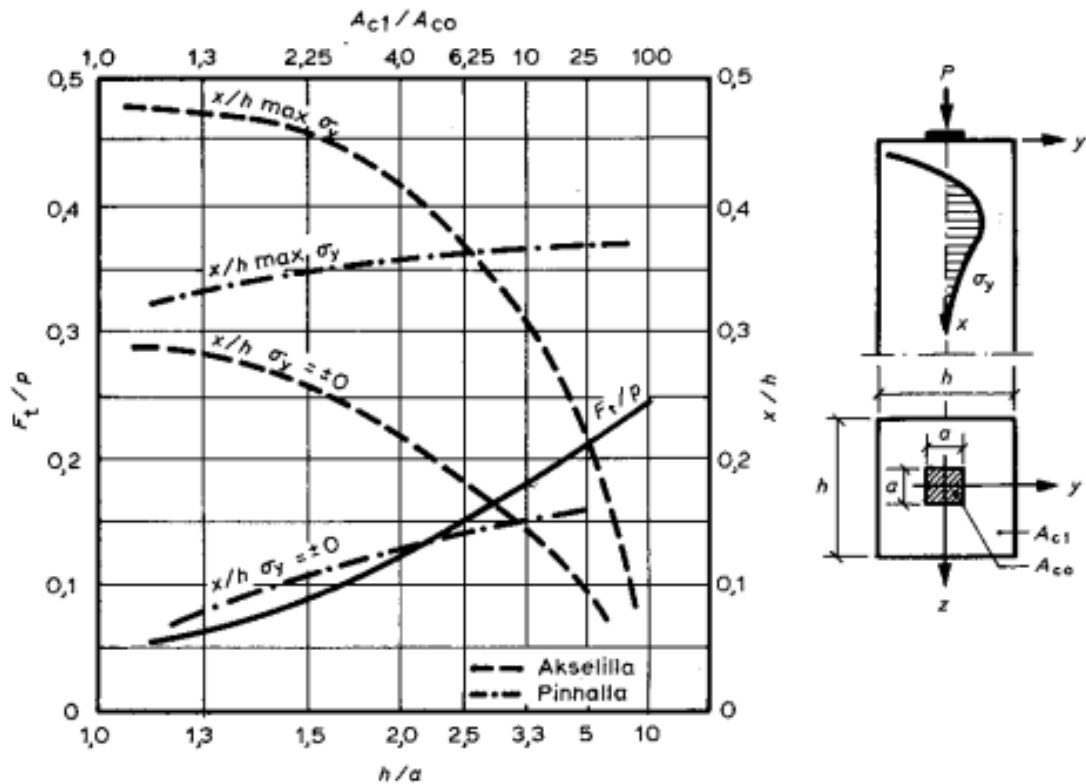
Kaavalla 5 laskettaessa halkaisuvoimaksi saadaan 10,7 kN. Ero selittyy sillä, että kaavassa 5 huomioidaan puristus- ja jakaantumispinta-alojen suhde.

Halkaisuvoima on näin ollen enintään 25 % kuormittavan pystykuorman arvosta, kun tapaus on kuvan 8 mukainen. On erikoistapauksia, joissa halkaisuvoima voi

olla suurempi kuin 25 %. Esimerkiksi usean paikallisen puristavan voiman vaikuttaessa yhtä aikaa, kun rakenteeseen syntyy tämän takia häiriötila. Tässä työssä ei käsitellä erikoistapauksia, vaan keskitytään perustapauksiin.



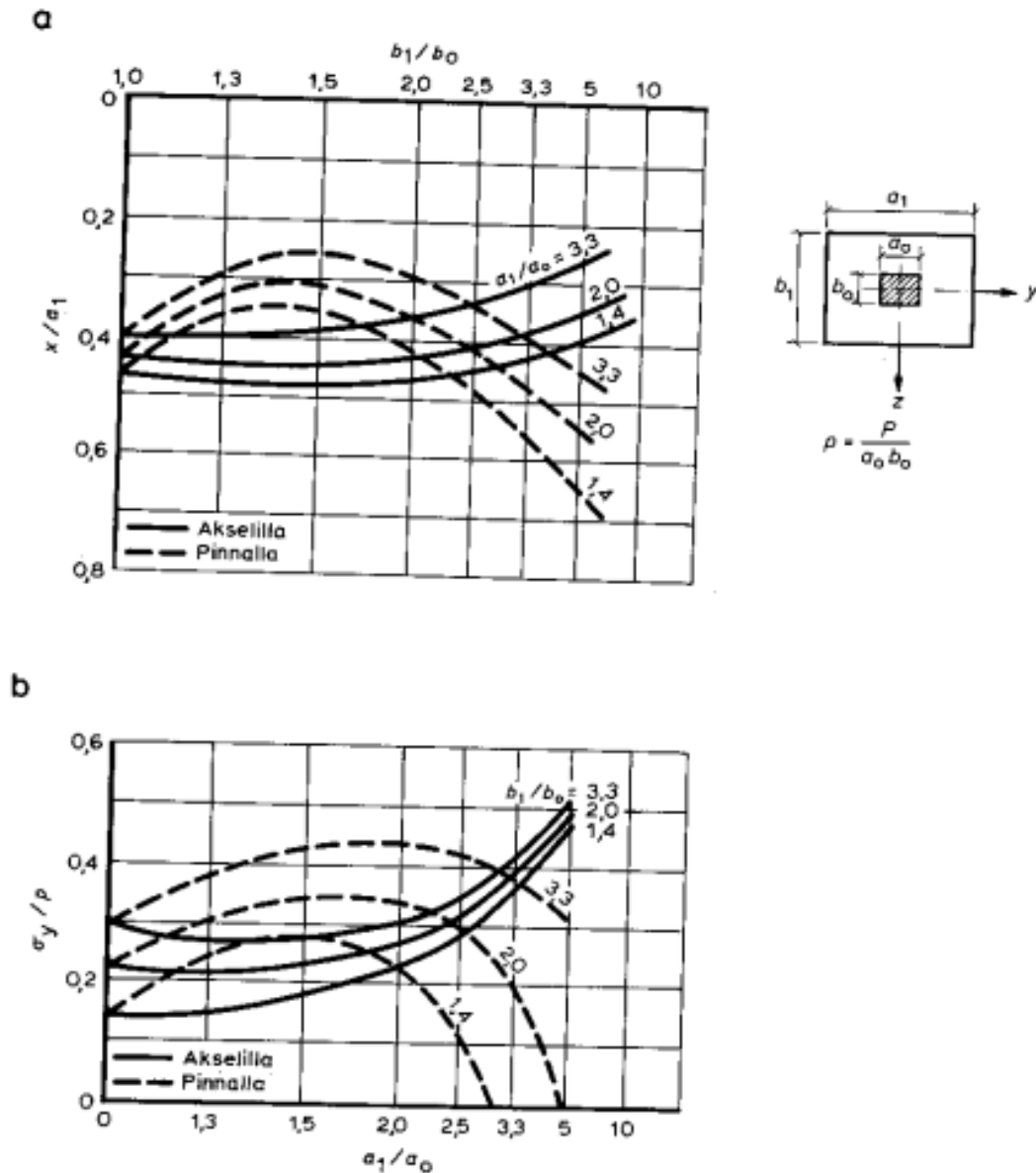
Kuva 8. Halkaisuvoiman määrittäminen statiikan avulla



Kuva 9. Poikkileikkaukseltaan neliön muotoisen sauvan halkaisuvoimien suuruus sekä suurimman vetojännityksen ja poikittaisen jännityksen 0-kohdan paikka (RIL 125 1986, 95)

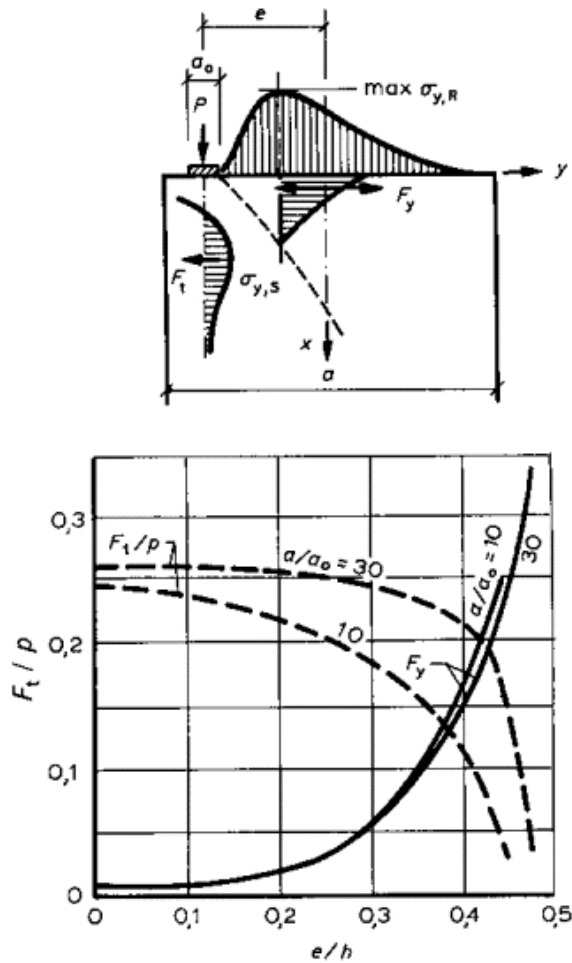
Kuvasta 9 selviää poikkileikkaukseltaan neliön muotoisen sauvan halkaisuvoiman maksimiarvo sekä suurimman vetojännityksen ja poikittaisen jännityksen 0-kohdan paikka, kun tiedetään pinta-alojen suhdeluku tai vastaavasti jakautumispinnan ja kuormituspinnan suhdeluku.

Kuormituspinnan ja jakautumispinnan suhteen ollessa pieni ( $h/a$  kuvassa 9), halkaisuvoimat ovat suurempia rakenteen pituusakselilla kuin ulkopinnalla. Sen sijaan, jos  $a/h$  on suurempi kuin 0,4, halkaisujännitykset ovat rakenteen ulkopinnalla suurempia kuin sisäosissa.



Kuva 10. Suurimman halkaisujännityksen suuruus ja sijainti poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisessa sauvassa (RIL 125 1986, 96)

Suorakaidepoikkileikkauksen halkaisujännitysten tarkemmassa määrittämisessä käytetään yllä olevia kaavioita. A-kaaviosta selviää suurimman halkaisujännityksen sijainti poikkileikkauksen ja kuormituspinnan lyhyempien sivumittojen suhteen avulla. B-kaaviossa on esitetty suurimman halkaisujännityksen suuruus poikkileikkauksen ja kuormituspinnan pidempien sivujen suhteen avulla.



Kuva 11. Epäkeskeisen puristusvoiman aiheuttaman halkaisuvoiman suuruus (RIL 125 1986, 97)

Kuvan 11 kaaviosta selviää halkaisuvoiman suuruus epäkeskeisyyden  $e$  ja poikkileikkauksen leveyden  $h$  suhdeluvun avulla.

Epäkeskeisen puristusvoiman vaikuttaessa halkaisuvoiman sijainnin määrittämisessä voidaan käyttää hyväksi kuvan 4 korvikeprismaa. Tämän takia halkaisuvoimien nollakohdan ja maksimiarvon määrittämisessä voidaan käyttää myös kuvan 9 tai 10 kaavioita riippuen poikkileikkauksen muodosta.



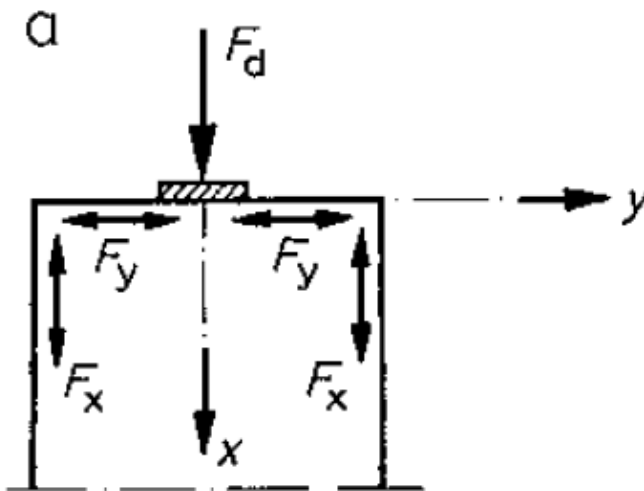
## 2.5. Kuormitustason nurkan vetovoimat

Kuormitetun rakenteen nurkissa esiintyy vetovoimia, jotka pyrkivät lohkaisemaan nurkan. Nämä voimat voidaan laskea kaavoista (RIL 125 1986, 194):

$$F_y = 0,015 * F_d \quad (9)$$

ja

$$F_x = 0,010 * F_d \quad (10)$$



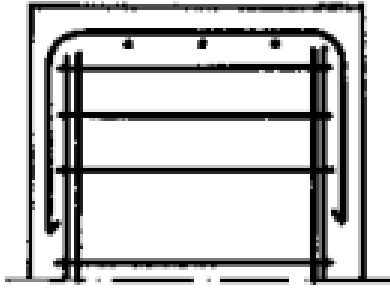
KUVA 12. Nurkkia irrottavat vetovoimat  $F_y$  ja  $F_x$  (RIL 125 1986, 194)

Epäkeskisyyden aiheuttamat reunavetovoimat voidaan laskea kaavalla

$$F_{yd} = \frac{0,015 * F_d}{1 - \sqrt{\frac{2e}{a}}} \quad (11)$$

, missä  $e$  on voiman epäkeskisyys  
 $a$  rakenteen tarkasteltavan suunnan sivumitta

Halkeilun estämiseksi voidaan käyttää kuvan 13 mukaista raudoitusta, jossa hakaset asennetaan molempiin suuntiin. Tarvittava teräsmäärä halkeilua vastaan voidaan laskea kaavasta 12.



Kuva 13. Raudoitus halkeilua vastaan (RIL 125 1986, 194)

## 2.6. Halkaisuraudoitus

Halkaisuvoimat otetaan vastaan halkaisuraudoituksella. Halkaisuraudoituksella tarkoitetaan normaalia rakenteen hakaraudoitusta. Seinissä lisäraudoitus halkaisuvoimille sijoitetaan kuvan 14 mukaisesti.

Halkaisuvoimien vaatima teräspinta-ala voidaan laskea yksinkertaisesti kaavasta:

$$A_{s,req,d} = \frac{F_t}{f_{yd}} \quad (12)$$

, missä  $f_{yd}$  on teräksen laskentalujuus

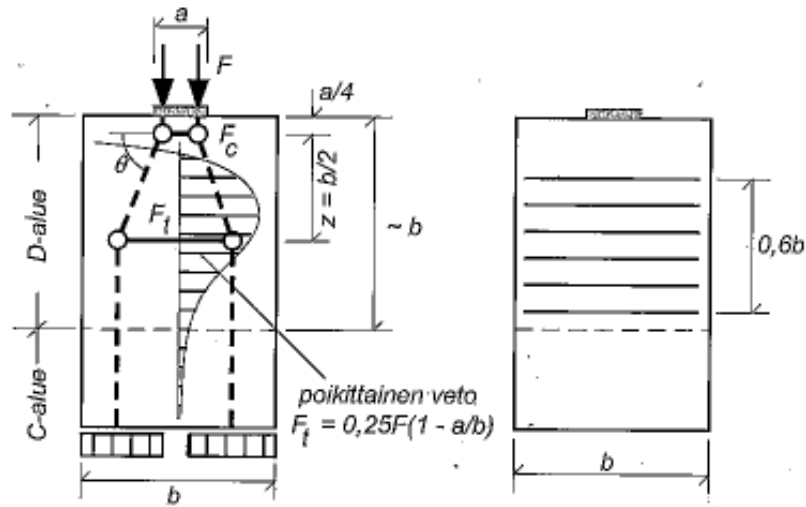
Pilareissa hakojen välisissä maksimietäisyyksissä suositeltava arvo on pienin seuraavista

- 20 kertaa päätankojen pienin halkaisija
- pilarin pienin sivumitta
- 400 mm

ja seinissä vaakaraudoitusten jakoväli saa olla maksimissaan 400 mm.

Hakaraudoitus asennetaan tiheämmin rakenteen puristettuun päähän. Ohjearvona EC2:n mukaan on pienentää mitoitettua hakaväliä kertoimella 0,6 halkaisuvoimien esiintymismatkalla, joka on yhtä suuri kuin poikkileikkauksen suurempi sivumitta. (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015,160,161).

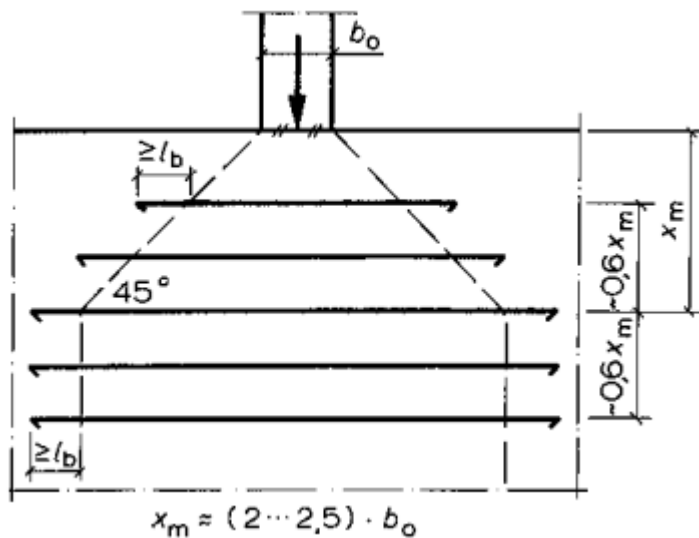
Jos halkaisuvoimille ei riitä ohjearvolla tihennetty haoitus, niin erikseen mitoitettut haat sijoitetaan keskeisesti halkaisuvoimaan nähden alueelle, joka on 0,6 kertaa poikkileikkauksen suurempi sivumitta (kts. kuva 14).



Kuva 14. Halkaisuvoima ja raudoituksen sijoittelu (BY 210 2008, 436)

Hakaraudoituksen vähimmäishalkaisija on suurempi seuraavista

- 6 mm
- 25% päätangon halkaisijasta (SFS-EN 1992-1-1+A1+AC 2015,160).



Kuva 15. Seinän halkaisuraudoitus (RIL 125 1986, 194)

## 2.7. Excel-mitoitustyökalu

Tämän työn teorian pohjalta on laadittu Excel-mitoitustyökalu. Mitoituksessa on noudatettu eurokoodistandardia SFS-EN-1992-1-1 1C+AC.

Mitoitustyökalu on tehty vain omaan ja TSO RAKENNESUUNNITTELU Oy:n käyttöön.

Mitoitustyökalu on pyritty tekemään mahdollisimman helppokäyttöiseksi. Siksi työkaluun on sisällytetty erikseen mitoituksen ohjeet, joita seuraamalla mitoitus on helppo tehdä. Perusideana työkalua laatiessa oli, että sitä olisi nopea käyttää, ja kaikki erikseen etsittävä tieto olisi ohjeissa tai pudotusvalikosta valittavana. Lopuksi mitoitus vaiheineen on mahdollista saada tulosteena.

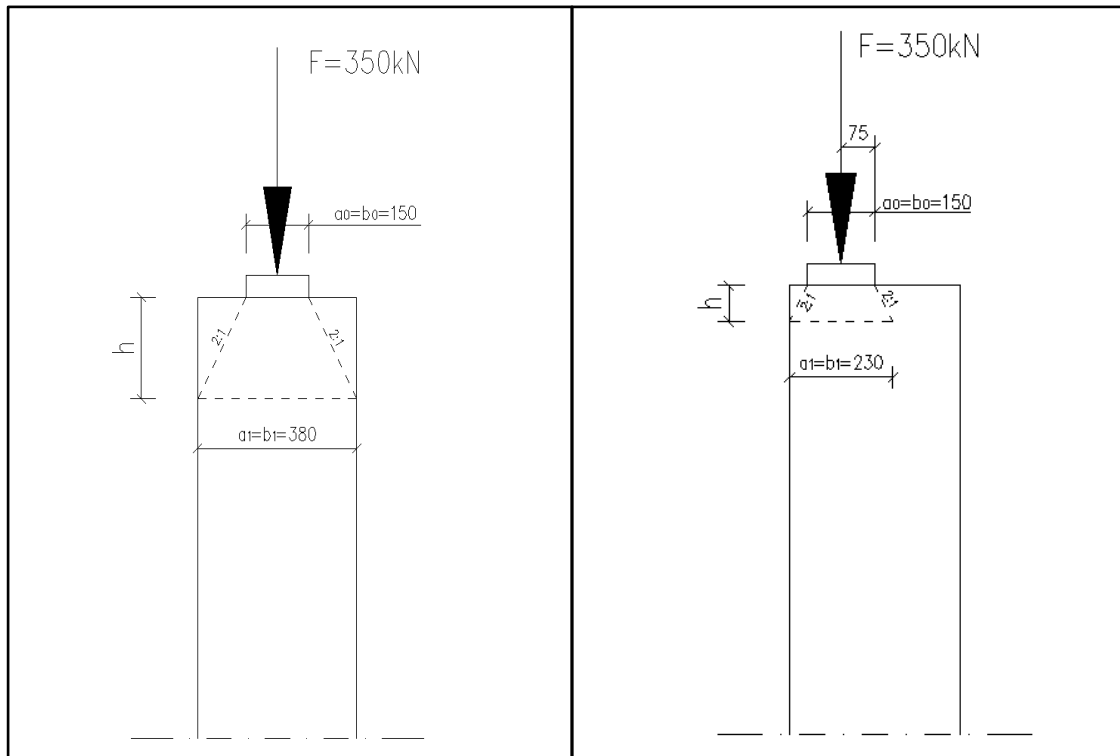
Mitoitustyökalu sisältää pohjan kolmelle eri tapaukselle: keskeinen puristus nelio-poikkileikkauksessa, keskeinen puristus suorakaidepoikkileikkauksessa ja epäkeskeinen puristus. Syöttämällä tiedot rakenteesta ja kuormituksesta laskentapohjaan saadaan tietoon paikallinen puristuskapasiteetti ja halkaisuvoima sekä tarvittavat raudoitukset.

### 3 LASKENTAESIMERKIT RakMK B4

Laskelmat on tehty RakMK B4-normin mukaisesti. Esimerkkilaskelmat on tehty vain keskeiselle ja epäkeskeiselle kuormitustapaukselle neliöpilarille. Sama laskentaperiaate on soveltuva suorakaidepoikkileikkaukselle. Myös monen voiman vaikutukselle voidaan soveltaa prismamenetelmää.

#### 3.1. Esimerkkitalanne

Tässä esimerkkitalanteessa tarkastellaan 380 mm x 380 mm pilarin yläpäätä, kun sitä kuormittaa voima  $F_d$ , joka on suuruudeltaan 350 kN. Kuormitusalueen koko on 150 mm x 150 mm.



Kuva 16. Esimerkkitalanteet

Kyseisen pilarin paikallinen puristuslujuus tarkistetaan keskeisenä ja epäkeskeisenä tapauksena sekä mitoitetaan rauditus halkaisuvoimille ja nurkkien vetovoimille.

### 3.1.1 Lähtötiedot

Betonin lujuus: K30 (C25/30)

Betonin tiheys:  $\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$

Betonin puristuslujuus:  $f_{cd} = 14 \text{ N/mm}^2$

Pilarin pääraudoitus: 4T20

Pilarin haat T8 k300

Kuorman jakaantumiskulma on 2:1

Teräslaatu A500HW

Teräksen laskentalujuus  $f_{yd} = 417 \text{ N/mm}^2$

### 3.2. Paikallinen puristus

#### 3.2.1 Keskeinen puristus

B4-normin kaavan käytön ehdot täyttyvät

- jakaantumispinnan painopiste on kuormittavan voiman vaikutussuoralla
- kuormitetun pinnan ja jakaantumispinnan välillä ei ole heikennyksiä

$$a_1 = b_1 = 380 \text{ mm}$$

$$a_0 = b_0 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = 225000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 144400 \text{ mm}^2$$

$$h = 230 \text{ mm}$$

Jakaantumispinnan ehdot:

- $a_1 \leq a + h \rightarrow 380 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} + 230 \text{ mm} = 380 \text{ mm}$  OK!
- $b_1 \leq b_0 + h \rightarrow 380 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} + 230 \text{ mm} = 380 \text{ mm}$  OK!

Paikallisen puristuskestävyyden määrittäminen kaavalla 2 keskeisessä kuormitustapauksessa:

$$F_u = 22500 \text{ mm}^2 * 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \sqrt{\frac{144400 \text{ mm}^2}{22500 \text{ mm}^2}} \leq 3 * 22500 \text{ mm}^2 * 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rightarrow F_u = 798000 \text{ N} \leq 945000 \text{ N}$$

Paikallinen puristuslujuus pistekuormalle on 798 kN ja maksimijännityksen raja-arvo on 945 kN.

$$\text{Käyttöaste paikalliselle puristukselle: } \frac{350 \text{ kN}}{789 \text{ kN}} = 44\%$$

### 3.2.2 Epäkeskeinen puristus

B4-normin kaavan käytön ehdot täyttyvät

- jakaantumispinnan painopiste on kuormittavan voiman vaikutussuoralla
- kuormitetun pinnan ja jakaantumispinnan välillä ei ole heikennyksiä

$$a_1 = b_1 = 230 \text{ mm}$$

$$a_0 = b_0 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = 225000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 52900 \text{ mm}^2$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

Jakaantumispinnan ehdot:

- $a_1 \leq a + h \rightarrow 230 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} + 80 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$  OK!
- $b_1 \leq b_0 + h \rightarrow 230 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} + 80 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$  OK!

Paikallisen puristuskestävyyden määrittäminen kaavalla 2 epäkeskisessä kuormitustapauksessa:

$$F_u = 22500 \text{ mm}^2 * 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \sqrt{\frac{52900 \text{ mm}^2}{22500 \text{ mm}^2}} \leq 3 * 22500 \text{ mm}^2 * 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rightarrow F_u = 483000 \text{ N} \leq 945000 \text{ N}$$

Paikallinen puristuslujuus pistekuormalle on 483 kN ja maksimijännityksen raja-arvo on 945 kN.

Käyttöaste paikalliselle puristukselle:  $\frac{350 \text{ kN}}{483 \text{ kN}} = 72\%$

### 3.3. Halkaisuvoimat

Halkaisuraudoituksen tarpeen määrittäminen kaavan 4 mukaisesti:

$$\frac{1,2 * 350 \text{ kN}}{22500 \text{ mm}^2} \leq 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rightarrow 18,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ehto ei täyty, joten rauditus tarvitaan.

#### 3.3.1 Keskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima

Halkaisuvoiman likiarvo lasketaan kaavasta 5:

$$F_t = 0,25 * 350\,000 \text{ N} * \left(1 - \frac{150 \text{ mm}}{380 \text{ mm}}\right) = 52960 \text{ N} \approx 53 \text{ kN}$$

#### 3.3.2 Epäkeskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima

Halkaisuvoiman likiarvo lasketaan myös kaavasta 5:

$$F_t = 0,25 * 350\,000 \text{ N} * \left(1 - \frac{150 \text{ mm}}{230 \text{ mm}}\right) = 30435 \text{ N} \approx 30 \text{ kN}$$



### 3.3.3 Nurkkien vetovoimat

Nurkkien vetovoimat lasketaan kaavoilla 9 ja 10:

$$F_y = 0,015 * 350 \text{ kN} = 5,25 \text{ kN}$$

$$F_x = 0,010 * 350 \text{ kN} = 3,5 \text{ kN}$$

### 3.3.4 Halkaisuraudoitusten mitoitus

Halkaisuraudoituksen vaatima teräspinta-ala keskeiselle tapaukselle lasketaan kaavasta 12

$$A_{s,req,d} = \frac{53000 \text{ N}}{417 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 127 \text{ mm}^2$$

Valitaan umpihaat 2T8 k110  $A_s = 201,2 \text{ mm}^2$

Sovellus: Ylhäältä asti umpihaat T8 k110.

Halkaisuraudoituksen vaatima teräspinta-ala epäkeskeiselle tapaukselle lasketaan kaavasta 12:

$$A_{s,req,d} = \frac{30000 \text{ N}}{417 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 72 \text{ mm}^2$$

Valitaan umpihaka 2T6 k110  $A_s = 113,2 \text{ mm}^2$

Sovellus: Ylhäältä asti umpihaat T6 k110.

Haat sijoitetaan halkaisujännitysten vaikutusalueelle kuvan 14 mukaan ylös asti.

### 3.3.5 Raudoitukset nurkkien vetovoimille

Raudoitus nurkkien vetovoimille määritellään myös kaavalla 12:

$$A_{s,n,d} = \frac{5250 \text{ N}}{417 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 12,6 \text{ mm}^2$$

Nurkan vetovoimille riittää minimiraudoitus eli U-T6 k100 kuvan 13 mukaisesti sijoittaen.

Nurkkien raudoitusten jaolle ei ole yleistä ohjetta, vaan jako on määritelty eri suunnittelutoimiston omien käytäntöjen mukaan. Suositus on käyttää tiheää hakaväliä esimerkiksi k100.

## 4 MITOITUS/LASKENTAESIMERKIT EC2

Laskelmat EC2 mukaisesti. Tilanteet ovat samat kuin RakMK B4 laskentaesimerkissä.

### 4.1. Lähtötiedot

Betonin lujuus: C25/30

Betonin tiheys:  $\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$

Betonin puristuslujuus:  $f_{cd} = 14,2 \text{ N/mm}^2$

Pilarin pääraudoitus: 4T20

Pilarin haat T8 k300

Kuorman jakaantumiskulma on 2:1

Teräslaatu B500B

Teräksen laskentalujuus  $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$

### 4.2. Paikallinen puristus

#### 4.2.1 Keskeinen puristus

EC2-kaavan käytön ehdot täyttyvät

- jakaantumispinnan painopiste on kuormittavan voiman vaikutussuoralla
- kuormitetun pinnan ja jakaantumispinnan välillä ei ole heikennyksiä

$$d_2 = b_2 = 380 \text{ mm}$$

$$d_1 = b_1 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = 225000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 144400 \text{ mm}^2$$

$$h = 230 \text{ mm}$$

Jakaantumispinnan ehdot:

- $b_2 \leq 3 * b_1 \rightarrow 380 \text{ mm} \leq 3 * 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$  OK!
- $d_2 \leq 3 * d_1 \rightarrow 380 \text{ mm} \leq 3 * 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$  OK!
- $h \geq (b_2 - b_1)$  ja  $h \geq (d_2 - d_1)$   
 $\rightarrow 230 \text{ mm} \geq 380 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$  OK!

Paikallisen puristuskestävyyden määrittäminen kaavalla 3 keskeisessä kuormitustapauksessa:

$$F_{Rdu} = 22500 \text{ mm}^2 * 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \sqrt{\frac{144400 \text{ mm}^2}{22500 \text{ mm}^2}} \leq 3,0 * 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 22500 \text{ mm}^2$$

$$809400 \text{ N} \leq 958500 \text{ N}$$

Paikallinen puristuslujuus pistekuormalle on 809,4 kN ja maksimijännityksen raja-arvo on 958,5 kN.

$$\text{Käyttöaste paikalliselle puristukselle: } \frac{350 \text{ kN}}{809,4 \text{ kN}} = 43\%$$

#### 4.2.2 Epäkeskeinen puristus

Tätä ei ole eurokoodissa määritetty, joten se lasketaan soveltaen RakMK B4-normin ohjeita.

EC2-kaavan käytön ehdot täyttyvät

- jakaantumispinnan painopiste on kuormittavan voiman vaikutussuoralla
- kuormitetun pinnan ja jakaantumispinnan välillä ei ole heikennyksiä

$$d_2 = b_2 = 230 \text{ mm}$$

$$d_1 = b_1 = 150 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = 225000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 52900 \text{ mm}^2$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

Jakaantumispinnan ehdot:

- $b_2 \leq 3 * b_1 \rightarrow 230 \text{ mm} \leq 3 * 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$  OK!
- $d_2 \leq 3 * d_1 \rightarrow 230 \text{ mm} \leq 3 * 150 \text{ mm} = 450 \text{ mm}$  OK!
- $h \geq (b_2 - b_1)$  ja  $h \geq (d_2 - d_1)$   
 $\rightarrow 80 \text{ mm} \geq 230 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$  OK!

Paikallisen puristuskestävyyden määrittäminen kaavalla 3 keskeisessä epäkeskeisessä kuormitustapauksessa:

$$F_{Rdu} = 22500 \text{ mm}^2 * 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \sqrt{\frac{52900 \text{ mm}^2}{22500 \text{ mm}^2}} \leq 3,0 * 14,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 22500 \text{ mm}^2$$

$$489900 \text{ N} \leq 958500 \text{ N}$$

Paikallinen puristuslujuus pistekuormalle on 489,9 kN ja maksimijännityksen raja-arvo on 958,5 kN.

Käyttöaste paikalliselle puristukselle:  $\frac{350 \text{ kN}}{489,9 \text{ kN}} = 71\%$

### 4.3. Halkaisuvoimat

Eurokoodissa ei ole mainintaa halkaisuraudoituksen tarpeen määrittelystä, kuten vanhassa normissa. Oletuksena on, että halkaisuvoimille mitoitetaan rauditus.

#### 4.3.1 Keskeinen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima

Halkaisuvoiman likiarvo lasketaan samalla kaavalla kuin vanhassa RakMK B4-normissa:

$$F_t = 0,25 * 350\,000\,N * \left(1 - \frac{150\,mm}{380\,mm}\right) = 52960\,N \approx 53\,kN$$

#### 4.3.2 Epäkeskeisen puristuksen aiheuttama halkaisuvoima

Halkaisuvoiman likiarvo lasketaan myös samalla kaavalla kuin vanhassa normissa:

$$F_t = 0,25 * 350\,000\,N * \left(1 - \frac{150\,mm}{230\,mm}\right) = 30435\,N \approx 30\,kN$$

#### 4.3.3 Nurkkien vetovoimat

Nurkkien vetovoimien määrittelyyn eurokoodi ei ota kantaa. Sovelletaan siis vanhaa normia.

Nurkkien vetovoimat lasketaan siis kaavoilla 9 ja 10:

$$F_y = 0,015 * 350\,kN = 5,25\,kN$$

$$F_x = 0,010 * 350\,kN = 3,5\,kN$$

#### 4.3.4 Halkaisuraudoitusten mitoitus

Halkaisuraudoituksen vaatima teräspinta-ala keskeiselle tapaukselle lasketaan kaavasta 12:

$$A_{s,req,d} = \frac{53000 \text{ N}}{435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 121,8 \text{ mm}^2$$

Valitaan umpihaat 2T8 k110  $A_s = 201,2 \text{ mm}^2$

Sovellus: Ylhäältä asti umpihaat T8 k110.

Raudoitusten sijoittelu kuvan 14 mukaan tasaisesti jaettuna ylös asti halkaisujännityksen vaikutusalueelle.

Halkaisuraudoituksen vaatima teräspinta-ala epäkeskeiselle tapaukselle lasketaan myös kaavasta 12:

$$A_{s,req,d} = \frac{30000 \text{ N}}{435 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 69 \text{ mm}^2$$

Valitaan umpihaka 2T6 k110  $A_s = 113,2 \text{ mm}^2$

Sovellus: Ylhäältä asti umpihaat T6 k110.

Sijoittelu samoin kuin keskeisessä tapauksessa.

### 4.3.5 Raudoitukset nurkkien vetovoimille

Raudoitus mitoitetaan suuremmalle nurkan vetovoimalle.

Raudoitus nurkkien vetovoimille määritellään myös kaavalla 12:

$$A_{s,n,d} = \frac{5250 N}{435 \frac{N}{mm^2}} = 12,1 mm^2$$

Nurkan vetovoimille riittää minimiraudoitus eli U-T6 k100 kuvan 13 mukaisesti sijoittaen.

Nurkkien raudoitusten jaolle ei ole yleistä ohjetta, vaan jako on määritelty eri suunnittelutoimiston omien käytäntöjen mukaan. Suositus on käyttää tiheää hakaväliä esimerkiksi k100.



## 5 POHDINTA

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli tuottaa toimeksiantajayritykselle koostettu tietopaketti paikallisesta puristuksesta ja halkaisuvoimista. Lisäksi työhön kuului Excel-laskentatyökalun laatiminen halkaisuraudoitusten ja paikallisen puristuskapasiteetin mitoittamista nopeuttamaan. Työ onnistui hyvin ja tavoitteet täyttyivät. Tuloksena saatiin selkeästi koostettu aineisto aiheesta sekä laskentapohjat kolmelle eri tapaukselle.

Opinnäytetyön tekeminen alkoi kyseisen aiheen teoriaan sekä betonirakenteiden suunnitteluohjeisiin ja määräyksiin perehtymällä. Työssä on käytetty lähteinä vanhaa betoninormia RakMK B4 ja nykyään suunnittelussa pääosin käytettävää SFS-EN 1992-1-1 A1+AC standardia eli lyhyemmin EC2. Näiden välillä on tehty vertailua. Laskentapohjat on tehty EC2 mukaisesti. RakMK B4 ja EC2 eivät sisällä selityksiä sisältämistään suunnittelumääräyksistä, joten työssä erittäin hyvänä apuna oli kyseisiin normeihin perustuvat RIL 125 ja RIL 202-2011 kirjat. Näistä erityisesti RIL 125 oli hyödyllinen.

Vanhan normin ja eurokoodin välillä on eroja, vaikka ne ovatkin suhteellisen pieniä. Eroja on mm. paikallisen puristuslujuuden laskentakaavassa ja puristuslujuuden mitoitusarvossa. Nämä erot johtuvat pääosin materiaaleista, jotka nykyään ovat tasalaatuisempia sekä laskennassa käytettävistä varmuuskertoimista, jotka muuttuivat eurokoodien voimaantulon myötä. Osaltaan mitoituksessa voidaan vieläkin soveltaa vanhaa normia, jos eurokoodissa ei ole ohjeistusta tietyn asian laskennassa. Esimerkiksi nurkkien vetovoimien laskennassa ja puristuskapasiteetin laskennassa epäkeskeisen kuormituksen vaikuttaessa voidaan soveltaa vanhan normin ohjeistusta.

Aiheen parissa olisi mahdollisuuksia jatkaa kehittämistyötä. Esimerkiksi raudoitusten valinnassa moni suunnittelija kokee taulukkomitoituksen helpommaksi, joten sitä varten voisi laatia taulukot. Lisätutkimuksia voisi tehdä myös usean paikallisen puristusvoiman vaikutuksista samaan rakenteeseen sekä seinärakenteen mitoittamisesta paikalliselle puristukselle ja halkaisuvoimille.

## LÄHTEET

Rakennusteollisuus. Eurokoodit – Eurooppalaiset kantavien rakenteiden suunnittelustandardit. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS, 2019. Luettu 18.3.2020

SFS-EN 1992-1-1 A1+AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2015

SKOL. Eurokoodien ja RakMk:n nykyisen B-sarjan rinnakkaiskäytön pelisäännöt kantavien rakenteiden suunnittelussa. SKOL, 2010.  
[https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23626/EC\\_RakMK\\_rinnakkaiskaytto\\_v1.0\\_100630.pdf](https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23626/EC_RakMK_rinnakkaiskaytto_v1.0_100630.pdf). Luettu 18.3.2020

Suomen Betoniyhdistys ry. BY 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy, 2008

Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry. RIL 125 Teräsbetonirakenteet. Helsinki, 1986.

Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry/Suomen Betoniyhdistys ry. RIL 202-2011 Betonirakenteiden suunnitteluohje. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry/Suomen Betoniyhdistys ry, 2011.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, B4 Betonirakenteet, Ympäristöministeriö, 2005.

Suomen Standardoimisliitto SFS, Eurokoodit, N.d. Luettu 20.3.2020  
<https://www.sfs.fi/aihealueet/eurokoodit>

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ympäristöministeriö, 2019. [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma). 18.3.2020

**LIITTEET**

Liite 1. Excel-laskentatyökalu

Liitettä 1 ei julkaista.