

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Timo Keinänen

MUURATTAVIEN HARKKORAKENTEIDEN MITOITUSOHJE

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2014**  
**Rakennustekniikan**  
**koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
p. (013) 260 6800

Tekijä  
Timo Keinänen

Nimeke  
Muurattavien harkkorakenteiden mitoitusohje

Toimeksiantaja  
Lakan Betoni Oy

#### Tiivistelmä

Eurokoodeihin perustuva rakenteiden mitoitus on edennyt Suomessa nyt koskemaan myös kevytsoraharkkorakenteita. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Lakan Betoni Oy:lle eurokoodeihin perustuva muurattavien kevytsoraharkkojen suunnitteluohje mitoituspohjineen. Sen tarkoituksena on palvella kevytsoraharkkorakenteiden suunnittelijoita heidän suunnittelutyössään.

Rakenteiden mitoittaminen tapahtuu eurokoodien mitoitusohjeiden mukaisesti, joten yksi työn suurimmista osista oli laskentakaavojen syöttäminen laskentapohjiin. Työn kuluessa tehtiin eurokoodeihin perustuvat Excel-laskentapohjat erilaisia mitoitusilanteita varten. Laskentapohjiin liitettiin tarvittavat kaavat sekä niiden lähteet. Sen jälkeen tarkastettiin, että laskentapohjat toimivat oikein eurokoodien mukaisesti. Laskentapohjien avulla muodostettiin lisäksi suunnittelijoiden käyttöön kapasiteettitaulukot sekä ohjeet. Näiden työkalujen avulla suunnittelija voi suhteellisen nopeasti mitoittaa erilaisia kevytsoraharkkorakenteita.

Tuloksena syntyi viisi laskentapohjaa, joita voidaan käyttää mitoittaessa erilaisia kevytsoraharkkorakenteita. Pohjien on tarkoitus toimia suunnittelijoiden apuna heidän työssään, muistaen kuitenkin, että suunnittelija kantaa aina itse vastuun tekemistään suunnitelmista. Jatkossa kehittämiskohteena voisi olla laskentapohjien ulkoasun muotoileminen ja kenties laskentapohjien laajentaminen koskemaan myös betoniharkkoja.

Kieli  
suomi

Sivuja	38
Liitteet	-
Liitesivumäärä	-

Asiasanat  
mitoitus, suunnitteluohjeet, rakennesuunnittelu, harkot, muuraus,



**THESIS**  
**Spring 2014**  
**Degree Programme**  
**in Civil Engineering**

Karjalankatu 3  
FIN 80200 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260 6800

Author  
Timo Keinänen

Title  
Instructions for dimensioning for Masonry Bar Structures

Commissioned by  
Lakan Betoni Oy

#### Abstract

Nowadays Eurocode-based structure dimensioning involves cinder block structures, too. The purpose of this thesis was to provide Lakan Betoni Ltd with a Eurocode-based cinder block planning guide with a calculation application and is intended to serve cinder block construction designers in their design work.

As dimensioning of structures takes place with Eurocode dimensioning, one of the biggest parts of the research was entering the formulas for a calculating application. The formulas and their sources were then attached to Excel spreadsheet templates. After that the templates were inspected to ensure that they are functioning correctly in accordance with the Eurocodes. In addition, the templates created included capacity tables and instructions for designers. These tools allow the designer to scale a variety of cinder block structures relatively quickly.

As a result, five Excel spreadsheet templates which can be utilized in the design of a cinder block structure were created. The templates are intended to serve as an aid for designers in their work, remembering, however, that the designer is always responsible for his or her designs. In the future the development of the subject could involve improving the appearance of the templates and possibly include concrete blocks, as well.

Language	Pages	38
Finnish	Appendices	-
	Pages of Appendices	-

dimensioning, planning instruction, structural planning, blocks, masonry,

## Sisältö

1	Johdanto .....	7
2	Työn tarkoitus .....	8
3	Tietoja kevytsoraharkoista ja tarvikkeista.....	9
3.1	Harkkovalikoima .....	9
3.2	Harkkotarvikkeet .....	11
3.3	Harkkojen mitat ja tekniset ominaisuudet .....	14
4	Kevytsoraharkkojen käyttökohteet ja mitoitus .....	15
4.1	Mitoitusperusteet .....	16
4.2	Harkkoperustukset.....	16
4.3	Kantavien seinien mitoitus .....	17
4.4	Eristeharkkoseinien mitoitus .....	20
4.5	Ulkoseinien mitoitus tuulikuormalle.....	23
4.6	Aukonylityspalkit .....	28
4.7	Raudoituksen vähimmäispinta-ala ja peitepaksuus .....	32
5	Erilliskysymyksiä .....	33
5.1	Ikkuna- ja oviaasennukset Lakka-karmikulmalla.....	33
5.2	Liikuntasaumat.....	33
5.3	Jäykistävät seinät .....	33
6	Johtopäätökset .....	34
6.1	Kantavat seinät .....	34
6.2	Maanpaineseinät .....	35
6.3	Tuulenpaineseinät .....	36
6.4	Aukkopalkit .....	36
7	Pohdinta.....	37
	Lähteet.....	39

Keskeiset käsitteet:

aukkoryhmä	Eurokoodissa muurauskappaleet luokitellaan neljään aukkoryhmään. Ryhmittely tehdään aukkojen pinta-alan, aukkojen koon ja niiden lopullisessa rakenteessa olevan suunnan perusteella.
CEN	ransk. Comité Européen de Normalisation engl. European Committee for Standardization suom. eurooppalainen standardisointijärjestö
Eurokoodit	kantavien rakenteiden suunnittelustandardeja, jotka CEN laatii Euroopan komission toimeksiannosta
Kansallinen liite	sisältää tietoja, jotka on jätetty eurokoodissa auki kansallista valintaa varten ja joita käytetään kyseisessä maassa suunnitteluun
kantava seinä	seinä, jota pääasiassa käytetään kantamaan oman painon lisäksi hyötykuormaa
kategoria	Muurauskappaleet kuuluvat eurokoodin mukaan joko kategoriaan I tai II. Jako kategorioiden välillä on riippuvainen muurauskappaleen lujuuden määrittelytavasta. Kategoriassa I lujuus määritellään keskiarvona niin, että alitustodennäköisyys on enintään 5 %. Kategoriassa II lujuus määritellään keskiarvona.
muurattu rakenne	rakenne, joka on tehty muurauskappaleista ja laastista käyttäen limitystä
NA	National Annex, Kansallinen liite
rakosaumamuurattu	muurauskappaleet on muurattu kahdella lapepintojen ulkoreunoilla olevalla laastikarheella

rakosauman pienennyskerroin

huomioi muurin puristuslujuuden pienenemisen käytettyjen laastisaumojen leveyden mukaan

rakoseinä

seinä, joka koostuu kahdesta rinnakkaisesta yksinkertaisesta seinästä, jotka on tehokkaasti sidottu toisiinsa muuraussitein tai vaakasaumaraudoittein. Seinien välinen tila on jätetty joko tyhjäksi raoksi tai kokonaan tai osittain täytetty ei-kantavalla lämmöneristysmateriaalilla

SFS

Suomen Standardisoimisliitto, edustaa Suomea CENissä

SFS-EN xxxx

Suomessa vahvistettu CENin standardi

## 1 Johdanto

Harkkorakenteista puhuttaessa yleensä tarkoitetaan sekä betoniharkkoja että kevytsoraharkkoja. Tämän opinnäytetyön tarkastelun kohteena ovat pääosin muuratut harkot. Kevytsoraharkot muurataan, kun taas betoniharkot joko muurataan tai ladotaan ja sen jälkeen vielä valetaan täyteen. Esimerkiksi rakennuksen anturat voidaan tehdä betonisista valuharkoista ja niiden päälle tehdään kevytsoraharkoista muurattu sokkeli eli perusmuuri.

Kevytsoraharkkorakenteet ovat jollakin tavalla tuttuja lähes jokaiselle rakentajalle. Useimmiten ne ovat merkittävässä osassa rakennusten perustuksissa. Pienissä sauna- ja mökkirakennuksissa käytetään usein betonilla täyteen valettuja pilariharkkoja, joiden varaan rakennus rakennetaan.

Pientaloissa kevytsoraharkot ovat usein sokkelin eli perusmuurin materiaalina. Syy niiden suosioon on niiden keveys, helppo käsiteltävyys ja materiaalin pieni hukkaprosentti. Lisäksi ne ovat helposti muokattavissa erimuotoisia perustuksia tai seinärakenteita varten.

Lämpöeristettyjen harkkojen myötä harkkojen käyttö on lisääntynyt myös seinärakenteissa. Lämpöeristetyistä harkoista rakennetaankin nykyään niin matala-energiataloja kuin passiivienergiataloja. Harkoista massiivistenkin seinärakenteiden teko on yksinkertaista ja nopeaa.

Tähän asti harkkorakenteiden suunnittelun mitoitusperusteet on esitetty Ympäristöministeriön antamassa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa. Osa B5 on käsitellyt kevytbetoniharkkorakenteita ja osa B9 betoniharkkorakenteita. Lisäksi muurattavia rakenteita käsitteli myös osa B8 tiilirakenteiden osalta.

Ympäristöministeriön asetusluonnoksessa (10.10.2013) kantavista rakenteista 4 § määrittellään kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet seuraavasti:

Rakennuksen kantavia ja jäykistäviä rakenteita koskevat olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät, kun rakenteet suunnitellaan ja toteute-

taan eurokoodien sekä niitä koskevien ympäristöministeriön asetuksina annettujen kansallisten valintojen mukaan [1, 4. §].

Näin ollen harkkorakenteiden suunnittelun tulee jatkossa perustua eurokoodeihin. Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Standardien soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden (NA) laatimista. Suomessa näiden kansallisten liitteiden laatimisesta vastaa ympäristöministeriö talonrakentamisen osalta [2]. Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia.

Ympäristöministeriön asetusluonnoksen 14. § esittää kumottavaksi mm. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B5 Kevytbetoniharkkorakenteet. Tähän asti valmistajien antamat suunnitteluohjeet ovat perustuneet tähän ohjeeseen. Edellä mainitusta muutoksesta johtuen, kevytbetoniharkkorakenteille tarvitaan uudet eurokoodien ja kansallisten asetusten mukaiset harkkovalmistajien antamat suunnitteluohjeet tuotteilleen.

## **2 Työn tarkoitus**

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa Lakan Betoni Oy:lle eurokoodeihin perustuvat mitoitusohjeet muurattuja kevytsoraharkkorakenteita varten. Mitoitusohjeet muodostuvat erilaisten harkkorakenteiden mitoitukseen suunnitelluista Excel-laskentapohjista, joissa eurokoodien mukaiset laskentakaavat ja niiden perusteet ovat yksityiskohtaisesti suunnittelijoiden nähtävissä, näiden laskentapohjien avulla tehdyistä kapasiteettitaulukoista suunnittelijoiden käyttöön sekä kirjallisista ohjeista.

Opinnäytetyön yhteydessä on myös tarkoitus seurata, millaisia eroja eurokoodien mukainen laskenta aiheuttaa rakenteiden kapasiteetteihin aiempaan verrattuna ja mistä ne mahdollisesti johtuvat.



### 3 Tietoja kevytsoraharkoista ja tarvikkeista

#### 3.1 Harkkovalikoima

Kotimaiset Lakka-kevytsoraharkot valmistetaan luonnon kiviaineista: kevytsorasta, sementistä ja vedestä. Eristeharkoissa on valmiina lämmöneriste polystyreenistä (EPS).

Lakan Betoni Oy:n kevytsoraharkkovalikoimaan kuuluvat mm. seuraavat harkot (kuva 1):

UH-100



RUH-150



RUH-125



RUH-200



RUH-240



RUH-290



RUH-340



RUH-380



EH-240



LTP-300 PALKKIHARKKO



EH-300



EKO-350 GRAFIT



EKO-350 PALKKIHARKKO



VSH-150



Kuva 1. Harkkovalikoima [3, 4].

### 3.2 Harkkotarvikkeet

Harkkojen muurauksessa, sekä muurattuihin rakenteisiin liittyvien rakenneosien kiinnittämisessä käytetään tarvikkeita, jotka helpottavat työtä (kuvat 2–6):



Kuva 2. Muurauskelkka [5].

Karmikulma on tarkoitettu ovien ja ikkunoiden kiinnitykseen ja se on valmistettu kuumasinkitystä teräksestä.



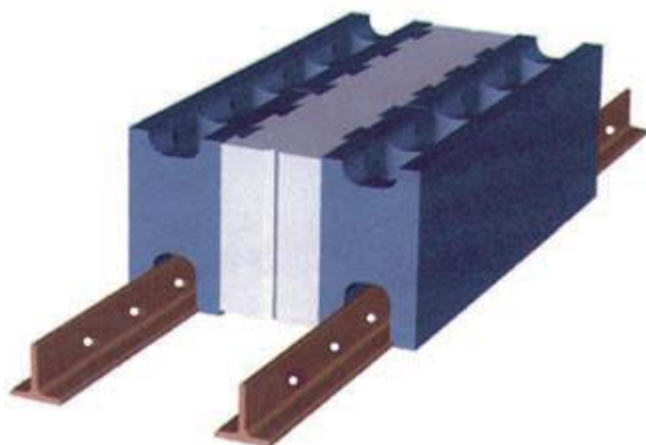
Kuva 3. Karmikulma [5].

Aukonylityslista on tarkoitettu kevyiden väliseinien aukkojen ylityksiin.



Kuva 4. Aukonylityslista [5].

Ulkoseinien aukonylityksissä palkkiharkkojen kanssa raudoitteena käytetään sinkittyä T-terästä.



Kuva 5. T-teräs aukonylityksiin [5].

Lämpöharkkojen vaakasaumoissa käytetään vähän paisuvaa PU-pistoolivaahtoa lämmöneristyksen parantamiseen. Vaihtoehtoisesti voi käyttää villakaistaa.



Kuva 6. Saumoissa käytetään uretaanivaahtoa [5].

### 3.3 Harkkojen mitat ja tekniset ominaisuudet

Taulukoissa 1. ja 2. on esitetty kevytsoraharkkojen mittoja ja teknisiä tietoja.

Taulukko 1. Kevytsoraharkkojen mittatiedot.

<b>PERUSTUSHARKOT Menekki 8,33 kpl/m<sup>2</sup></b>				
<b>Tuotetyyppi</b>	<b>Koko, mm lev.* pit.* kork.</b>	<b>Paino kg/kpl</b>	<b>Laastia kg/kpl</b>	<b>Paino kg/m<sup>2</sup></b>
H-75	75*590*190	7	3.6	88.3
UH-100	100*590*190	9	3.6	105.0
RUH-125	125*590*190	9	4	108.3
RUH-150	150*590*190	13	4.8	148.3
RUH-200	200*590*190	16	5.6	179.9
RUH-240	240*590*190	18	6.4	203.3
RUH-290	290*590*190	21	7.2	234.9
RUH-340	340*590*190	25	7.2	268.2
RUH-380	380*590*190	27	7.2	284.9
<b>LÄMPÖHARKOT Menekki 8,33 kpl/m<sup>2</sup></b>				
<b>Tuotetyyppi</b>	<b>Koko, mm lev.* pit.* kork.</b>	<b>Paino kg/kpl</b>	<b>Laastia kg/kpl</b>	<b>Paino kg/m<sup>2</sup></b>
EH-240	240*590*190	17	7.2	201.6
EH-300	300*590*190	20	7.2	226.6
LTP-300 palkkiharkko	300*590*190	29.5	7,2 betonia n. 8 l/kpl	
EKO-350 grafit	350*590*190	20	7.2	226.6
EKO-350 palkki grafit	350*598*198	27	2,5 betonia n. 13 l/kpl	
<b>VÄLISEINÄHARKOT Menekki 8,33 kpl/m<sup>2</sup></b>				
<b>Tuotetyyppi</b>	<b>Koko, mm lev.* pit.* kork.</b>	<b>Paino kg/kpl</b>	<b>Laastia kg/kpl</b>	<b>Paino kg/m<sup>2</sup></b>
VSH-150	150*598*198	16	0.3	135.8
BH-100 (tilaustuote)	100*590*190	17	3.6	171.6
BH-125 (tilaustuote)	125*590*190	16	4	166.6

Taulukko 2. Kevytsoraharkkojen tekniset tiedot [6].

LAKKA KEVYTSORAHARKKOJEN TEKNISET OMINAISUUDET				
	UH / RUH-HARKOT	EH- ja EKO-HARKOT	VSH-150	BH-HARKOT
<b>Puristuslujuus</b>				
Betoni (fb), MN/m <sup>2</sup>	3 / 2,7	4	6	6 / 4***
Laasti (fm), MN/m <sup>2</sup>	8	8	15	8
<b>Kuivatiheys</b>				
Betoni, kg/m <sup>3</sup>	700	750 / >1200*	>1200	>1200
<b>Kimmo kerroin (pitkäaikaiskerroin) K<sub>E</sub></b>	700	700	650	650
<b>Ulkoseinät</b>				
Lämmönjohtavuus, rakosaumat, W/(mK)	0,21	0,21	0,41	0,41
Lämmönjohtavuus eriste, W/(mK)		0,035 / 0,030		
<b>Kevytsorabetonin ominaislujuudet</b>				
Muurin puristuslujuus fk, täysin saumoin, MN/m <sup>2</sup>	2,08 / 1,89	2,69	1,68**	3,50 / 2,69***
Taivutusvetolujuus vaakasaumojen suuntaisessa murtotasossa f <sub>tk1</sub> , MN/m <sup>2</sup>	0,39	0,39	0,23	0,39
Taivutusvetolujuus vaakasaumojen suuntaa vastaan kohtisuorassa murtotasossa f <sub>tk2</sub> , MN/m <sup>2</sup>	0,42	0,42	0,42	0,42
Osavarmuusluku (kategoria I, aukkoryhmä 1 tai 2)	1,8	1,8	1,8	1,8
Kuivumiskutistuma, mm/m	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Lämpölaajeneminen, 1/K	6x10 <sup>-6</sup>	6x10 <sup>-6</sup>	6x10 <sup>-6</sup>	6x10 <sup>-6</sup>

\*EKO-350 palkkiharkko. \*\*Muuraus sivukannaksista (rakosauma). \*\*\*Kevytsoraharkkoja sisältävät BH-harkot.

#### 4 Kevytsoraharkkojen käyttökohteet ja mitoitus

Kevytsoraharkkojen käyttökohteita talonrakentamisessa ovat perustukset, ulkoseinät, väliseinät ja tukimuurit. Kevytsoraharkkoista rakennetaan omakotitaloja, rivitaloja, pienkerrostaloja, kouluja, päiväkotia, pienehköjä toimisto- ja liikeraennuksia sekä pienteollisuuden rakennuksia. [7.]

Lakka kevytsoraharkot (UH, RUH, EH, EKO) muurataan käyttämällä laastia vaak- ja pystysaumoissa. Laastina muurauksessa käytetään harkkolaastia M100/500 ja laastisauman nimellispaksuus on 10 mm. Harkkojen muuraus tehdään, 200 mm ja sitä leveämpien harkkojen osalta, pääsääntöisesti rakosaumalla. Kapeammat harkot ja eristeharkot muurataan aina täydellä laastisaumalla. [6, s. 3.]

Joissakin erikoistilanteissa suunnittelija voi myös ohjeistaa käyttämään em. RUH-harkkoilla täyttää laastisaumaa, jolloin muuratun rakenteen kapasiteetti kas-

vaa ja lämmöneristyskyky hieman heikkenee rakosaumamuuraukseen verrattuna.

#### **4.1 Mitoitusperusteet**

Muurattuja rakenteita koskevan standardin EN 1996 [11] mukaan muurattujen rakenteiden suunnittelun tulee olla standardissa EN 1990 [8] esitettyjen yleisten sääntöjen mukaista. Lisäksi muuratuissa rakenteissa sovelletaan seuraavaa:

- rajatilamenetelmää standardissa EN 1990 [8] esitettyä osavarmuuslukumenetelmää käyttäen
- standardissa EN 1991 [9] esitettyjä kuormia
- standardissa EN 1990 [8] esitettyjä kuormien yhdistelysääntöjä
- standardista EN 1992-1-1 [10] muurattuihin rakenteisiin liittyvien betoni-rakenteiden viruman ja kutistuman osavarmuusluvut
- standardissa EN 1996-1-1 [11] standardissa esitettyjä periaatteita ja soveltamissääntöjä.
- standardissa EN 1993-1 [12] T-terästen mitoitus aukonylityspalkissa.

Maanpaineseinissä on lisäksi huomioitu RIL 206-2010:n [13, s. 76] ohjeet täytömaan tiivistyksestä aiheutuvasta lisäpaineesta. Muurattuja rakenteita koskevat kansalliset liitteet on otettu huomioon käyttämällä mitoituksissa lisäksi suunnitteluohjetta RIL 206-2010 [13], jossa on yhdistetty standardien ohjeet ja muurattuja rakenteita koskevat kansalliset määräykset.

#### **4.2 Harkkoperustukset**

Perustusten tehtävänä on siirtää yläpuolisista rakenteista tulevat kuormat tasaisesti maaperään. Yläpuolisten rakenteiden kuormituksesta ja yläpuolisen seinän rakenteesta riippuen perustuksissa on käytettävissä valikoimassa olevien valettavien anturaharkkojen lisäksi erikokoisia kevytsoraharkkoja, RUH-125 – RUH-380, sekä lämpöharkot EH-240, EH-300 ja EKO-350 grafit.

Maanpaineen rasittamissa seinissä, kuten esimerkiksi kellarin seinissä, lämpöharkkoja voi viedä maan alle korkeintaan kaksi kerrosta, joiden alapuolella ole-



vat perustuksen osat tehdään perustusharkoilla. Maanpaineseinien mitoitus voidaan tehdä Excel-taulukolla ”Maanpaineseinän mitoitus”. Harkkojen mitoitus pystysuorille kuormille voidaan tehdä Excel-taulukolla ”Kantavan ulkoseinän mitoitus”.

Muuratuissa maanpaineseinissä vaakaraudoituksen, joka ulottuu poikittaiselle seinälle, tarkoitus on siirtää maanpaineen aiheuttamat vaakakuormat poikittain oleville jäykistäville ulko- ja väliseinille [13, s. 90]. Vaakaraudoitetulla maanpaineseinällä suositellaan, että seinän jännemitan ja seinän paksuuden suhde on  $\leq 25$  [13, s. 79]. Tällöin käyttörajatilan mukaista seinän taipuma- ja halkeilutarkastelua ei tarvitse tehdä erikseen.

Taulukossa 3 on esitetty maanpaineseinien enimmäistukivälit eri täyttökorkkeuksilla ja vaakaraudoituksilla. Laskennassa on käytetty pintakuormana arvoa  $2,5 \text{ kN/m}^2$  ja täyttökerroksen osalta tiivistetyn kitkamaan maanpaine arvoja. Täyttömaan tiivistys on oletettu tehtäväksi  $0,2 \text{ m}$  kerroksissa käyttäen  $100 \text{ kg:n}$  painoista tärylevyä (4 tiivistyskertaa / täyttökerros). Mikäli täytön tiivistämisessä käytetään suurempaa tärylevyä, tulee rakenteille aiheutuva maanpaine määrittää erikseen. Taulukossa ei ole huomioitu maanpaineseinän yläpuolisilta rakenteilta mahdollisesti tulevia kuormituksia.

Taulukko 3. Maanpaineseinien suurimmat sallitut jännevälit.

MAANPAINESEINIEN SUURIMMAT SALLITUT JÄNNEVÄLIT ERI TÄYTTÖKORKEUKSILLA								
Harkkotyyppi	RUH-240	RUH-240	RUH-290	RUH-290	RUH-340	RUH-340	RUH-380	RUH-380
Vaakaraudoitus	2T8 k200	2T8 k200	2T8 k200	2T8 k200	2T10 k200	2T10 k200	2T10 k200	2T10 k200
Täyttökorkuus	1-aukk.	2-aukk.	1-aukk.	2-aukk.	1-aukk.	2-aukk.	1-aukk.	2-aukk.
m	m	m	m	m	m	m	m	m
1.6	2.5	2.2	3.2	2.8	3.9	3.4	4.4	3.9
2.0	2.5	2.2	3.2	2.8	3.9	3.4	4.4	3.9
2.4	2.5	2.2	3.2	2.8	3.9	3.4	4.4	3.9

### 4.3 Kantavien seinien mitoitus

Kantavien seinien kestävyys pystykuormalle mitoitetaan murtorajatilassa. Murtorajatilassa raudoittamattomaan muurattuun seinään kohdistuvan mitoitusvoiman  $N_{Ed}$  tulee olla enintään yhtä suuri kuin seinän pystykestävyyden mitoitusarvon  $N_{Rd}$  [11, s. 50].

Yksinkertaisen seinän ja rakosaumamuuratun seinän tehollisena paksuutena,  $t_{ef}$ , käytetään seinän todellista paksuutta  $t$ . Muuratun seinän hoikkuusluku tulee määrittää jakamalla tehollinen korkeus  $h_{ef}$ , tehollisella paksuudella  $t_{ef}$ . Kun seinän pääasiallisena kuormana on pystysuora kuorma, seinän hoikkuusluku rajoitetaan arvoon 27. [11, s.43–44]

Kaavan termi  $h_{ef}$  on seinän tehollinen korkeus, joka voidaan olettaa nivelmallia, päistään nivelöity sauva, käytettäessä vaakarakenteiden vapaaksi väliksi. Seinän kestävyys tarkistetaan seinän päissä ja keskellä. [14, s. 100–101].

Edellinen tehollisen korkeuden laskentatapa johtaa laskennassa varmemmalle puolelle. Seinän teholliselle korkeudelle on olemassa myös tarkemmat laskentakaavat, jotka riippuvat seinän tuentatavoista. Ne löytyvät standardista SFS-EN 1996 [11, s. 41–43]. Seinän normaalivoiman kapasiteetti kasvaa kun seinän tuenta paranee.

Puristuskestävyyksissä on huomioitu rakosauman aiheuttama kapasiteetin heikkenys sekä standardin vaatimat alkuepäkeskisyys  $h_{ef}/450$  ja minimiepäkeskisyys  $e=0,05*t$ . Laskennassa ei ole huomioitu vaakavoimia, momenttia eikä rakenteen omaa painoa, jotka suunnittelijan tulee huomioida todellisen mitoituslanteen mukaisesti.

Taulukossa 4 on laskentapohjan avulla tehty kantavien seinien kapasiteettitaulukko suunnittelijoiden käyttöön.

Taulukko 4. Seinän normaalivoiman maksimikapasiteetit ilman vaakavoimia ja momenttia.

Seinän normaalivoiman NRd (kN/m) maksimikapasiteetti ilman vaakavoimia ja momenttia.											
e=0.05*t	UH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	VSH	BH	BH
h=h <sub>ef</sub>	100	125	150	200	240	290	340	380	150	100	125
2400	46	72	102	106	118	130	171	179	88	73	99
2500	42	69	99	104	117	129	170	178	85	66	94
2600	38	66	96	102	115	128	169	178	82	60	89
2700	35	62	92	100	114	127	168	177	79	54	85
2800	-	59	89	99	112	126	167	176	76	-	80
2900	-	56	86	97	111	125	166	175	73	-	75
3000	-	52	83	95	109	124	165	174	70	-	70
3100	-	49	80	93	108	123	164	173	67	-	65
3200	-	45	76	90	106	121	163	172	64	-	60
3300	-	42	73	88	104	120	162	171	61	-	55
3400	-	-	70	86	103	119	160	170	58	-	-
3500	-	-	66	84	101	118	159	169	55	-	-
3600	-	-	63	82	99	116	158	168	52	-	-
3700	-	-	59	80	98	115	156	167	49	-	-
3800	-	-	56	78	96	113	155	166	46	-	-
3900	-	-	53	76	94	112	154	165	43	-	-
4000	-	-	49	73	92	111	152	164	40	-	-

Kantavien väliseinien mitoituksessa tulee normaalivoiman lisäksi huomioida tuulenpaineesta johtuva rakennuksen sisäisten paine-erojen aiheuttama vaaka-kuorma ja seinän omapaino. Myös seinän puristuskestävyys paikallisten kuormien suhteen tulee tarkistaa.

Käytettäessä väliseinissä väliseinäharkkoja pystysaumassa ei käytetä yleensä laastia, koska harkot ovat pystypontattuja. Väliseinäharkot muurataan ohutsaumalaastilla.

Taulukossa 5 on esitetty osa suunnittelijoille tarkoitetusta laskentapohjasta kantavien seinien mitoitukseen.

## Taulukko 5. Suunnittelijoiden käyttöön tarkoitettu laskentapohja kantavien seinien mitoittamiseen.

KANTAVAN ULKOSEINÄN MITOITUS PÄISTÄÄN NIVELÖITYNÄ SAUVANA										
Syötä tarvittavat lähtöarvot keltaisiin ruutuihin.										
		UH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	RUH	VSH
Harkon tyyppi		100	125	150	200	240	290	340	380	150
Harkon koko		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seinän ulkokuoren paksuus	$t_1$	100	125	150	200	240	290	340	380	150
Seinän sisäkuoren paksuus	$t_2$	100	125	150	120	120	120	160	160	64
Laastikarheiden kokonaisleveys	$g$	1	1	1	0.60	0.50	0.41	0.47	0.42	0.43
Laastisauman suhteellinen leveys	$g/t$	40	50	60	80	96	116	136	152	60
Laastikarheiden minimileveys	$g_{min}$	1.00	1.00	1.00	0.67	0.58	0.51	0.56	0.52	0.52
Rakosauman pienennyskerroin										
Muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus	$f_b$	3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	6
Laastin maksimi puristuslujuus	$f_{m,max}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Muurauskappaleen puristuslujuus kaksinkertaisena	$2 \cdot f_b$	6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	12
Laastin puristuslujuus	$f_{m1}$	8	8	8	8	8	8	8	8	15
Laastin lujuuden mitoitusarvo	$f_m$	6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	12
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	$K$	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	$\alpha$	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.85
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	$\beta$	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0
Muurin puristuslujuuden ominaisarvo	$f_k$	2.08	1.89	1.89	1.26	1.10	0.97	1.06	0.98	1.68
Muurin lujuuden varmuusluku	$\gamma_M$	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Muurin puristuslujuuden mitoitusarvo	$f_d$	1.15	1.05	1.05	0.70	0.61	0.54	0.59	0.54	0.93
<b>SEINÄN KORKEUS (mm)</b>										
Seinän tehollinen korkeus	$h_{ef} = h$	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Seinän tehollinen paksuus	$t_{ef} = t$	100	125	150	200	240	290	340	380	150
Seinäpuolisokojen kimmokertoimien suhde	$E_1/E_2$									
Seinän hoikkusluku ( $\leq 27$ )	$\lambda$	24.00	19.20	16.00	12.00	10.00	8.28	7.06	6.32	16.00
<b>Seinän yläpään mitoituskestävyys</b>										
Alkuepäkeskisyyss	$e_{mit}$	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Vaakakuorman aiheuttama epäkeskisyyss seinän yläpäässä	$e_{he}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alkuepäkeskisyyss vähintään	$0,05 \cdot t$	5	6.25	7.5	10	12	14.5	17	19	7.5
Seinän yläpään epäkeskisyyss	$e_1$	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Vaaka- ja pystykuormista aiheutuva momentin mitoitusarvo seinän yläp.	$M_{1d}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pystysuoran kuorman mitoitusarvo	$N_{1d}$	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Seinän yläpään mitoitusepäkeskisyyss	$e_1$	5.33	6.25	7.50	10.00	12.00	14.50	17.00	19.00	7.50
Kestävyysden pienennyskerroin (hoikkuus ja epäkeskisyyss)	$\Phi_1$	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Seinän pystysuoran kestävyysden mitoitusarvo	$N_{1rd}$	103115	118108	141729	125982	132281	140154	179524	185823	125731
	$N_{1d} \leq N_{1rd}$	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>Seinän puolivälin mitoituskestävyys</b>										
Vaaka- ja pystykuormista aiheutuva momentin mitoitusarvo seinän puolivälissä	$M_{1nd}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seinän pystysuoran kuorman mitoitusarvo seinän puolivälissä	$N_{1nd}$	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Vaakakuorman aiheuttama epäkeskisyyss seinän korkeuden puolivälissä	$e_{hm}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuormien aiheuttama epäkeskisyyss	$e_m$	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Mitoitusepäkeskisyyss seinän korkeuden puolivälissä	$e_{mk}$	5.33	6.25	7.50	10.00	12.00	14.50	17.00	19.00	7.50
Kimmokerroin (pitkäaikainen)	$K_c$	700	700	700	700	700	700	700	700	650
Kimmokerroin	$E$	1454	1323	1323	882	772	677	739	685	1090
Apusuure	$\lambda_m$	0.907	0.726	0.605	0.454	0.378	0.313	0.267	0.239	0.628
Apusuure	$u$	1.264	0.987	0.807	0.582	0.469	0.372	0.303	0.262	0.841
Apusuure	$A_t$	0.893	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
Luonnollisen logaritmin kantaluku	$e$	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718
Kestävyysden pienennyskerroin (hoikkuus ja epäkeskisyyss)	$\Phi_m$	0.402	0.553	0.650	0.760	0.806	0.840	0.859	0.870	0.632
Seinän pystysuoran kestävyysden mitoitusarvo	$N_{1mrd}$	46362	72576	102359	106378	118501	130785	171443	179569	88297
	$N_{1m} \leq N_{1mrd}$	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>Seinän alapään mitoituskestävyys</b>										
Alapään kuormitus on keskinen, joten kestävyys on riittävä yläpään tulosten perusteella.										
<b>Seinän normaalivoiman maksimikapasiteetti annetuilla arvoilla</b>										
	$N_{Ra}$	46	72	102	106	118	130	171	179	88

### 4.4 Eristeharkkoseinien mitoitus

Eristeharkkoseinässä kumpikin harkkokuori mitoitetaan erikseen. Muuraus tehdään täysin pysty- ja vaakalaastisaumoin. Eristeen kohdalla käytetään pysty- ja vaakasaumassa pistooliuretaanivaahtoa. Ylin harkkokerros seinässä tehdään

palkkiharkolla, joka muodostaa suunnitelmien mukaisen raudoituksen ja betonivalun kanssa yhtenäisen rengaspalkin seinän yläpään. [6, s.5]

Eristeharkkorakenteissa, joissa ulkokuori on kiinni eristeen välityksellä sisäkuoreissa ja kuorien välistä yhteistoimintaa käytetään hyväksi mitoituksessa pystykuormalle, muuraussiteiden vähimmäismäärä on 4 kpl/m<sup>2</sup>. [13, s. 181].

Muuraussiteitä suositellaan käytettäväksi kaikissa yli 2700 mm korkeissa seinissä (4 kpl/seinä-m<sup>2</sup>), aukkopielissä joka saumassa 1 kpl (k200) sekä seinän yläpään palkkiharkon ja eristeharkon välisessä saumassa joka harkossa (k600). [6, s.5]

Eristeharkkoseinien puristuskestävyys on laskettu sekä yhdelle harkkopuoliskolle, että ottaen huomioon toisen harkkopuolen vaikutus teholliseen paksuuteen, kun molemmat puoliskot on sidottu toisiinsa muuraussitein. Tällöin tehollinen paksuus määritellään standardin kaavalla 5.11 [11, s. 44].

Taulukossa 6 on esitetty laskentapohjan avulla tehty kapasiteettitaulukko eristeharkkoseiniä varten. Taulukossa 7 on esitetty laskentapohjasta eristeharkkojen laskentaan tarkoitettu osa.

Taulukko 6. Eristeharkkoseinien normaalivoiman maksimikapasiteetit.

Seinän normaalivoiman NRd (kN/m) maksimikapasiteetti.						
Siteet	4 kpl/m <sup>2</sup>		4 kpl/m <sup>2</sup>		4 kpl/m <sup>2</sup>	
e=0.05*t	EH	EH	EH	EH	EKO	EKO
h=h <sub>ef</sub>	240	240	300	300	350	350
2400	52	74	52	74	52	74
2500	48	70	48	70	48	70
2600	-	66	-	66	-	66
2700	-	61	-	61	-	61
2800	-	57	-	57	-	57
2900	-	53	-	53	-	53
3000	-	49	-	49	-	49
3100	-	46	-	46	-	46
3200	-	42	-	42	-	42
3300	-	-	-	-	-	-

Taulukko 7. Suunnittelijoiden käyttöön tarkoitettu laskentapohjan osa eriste-harkkojen laskentaa varten.

KANTAVAN ULKOSEINÄN MITOITUS PÄISTÄÄN NIVELÖITYNÄ SAUVANA							
Syötä tarvittavat lähtöarvot keltaisiin ruutuihin.							
		SITEET			SITEET		SITEET
		4 kpl/m <sup>2</sup>			4 kpl/m <sup>2</sup>		4 kpl/m <sup>2</sup>
Harkon tyyppi		EH	EH	EH	EH	EKO	EKO
Harkon koko		240	240	300	300	350	350
Seinän ulkokuoren paksuus	t <sub>1</sub>	0	96	0	96	0	96
Seinän sisäkuoren paksuus	t <sub>2</sub>	96	96	96	96	96	96
Laastikarheiden kokonaisleveys	g	1	192	192	192	192	192
Laastisauman suhteellinen leveys	g/t	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Laastikarheiden minimileveys	g <sub>min</sub>	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4	38.4
Rakosauman pienennyskerroin							
Muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus	f <sub>b</sub>	4	4	4	4	4	4
Laastin maksimi puristuslujuus	f <sub>m,max</sub>	20	20	20	20	20	20
Muurauskappaleen puristuslujuus kaksinkertaisena	2*f <sub>b</sub>	8	8	8	8	8	8
Laastin puristuslujuus	f <sub>m1</sub>	8	8	8	8	8	8
Laastin lujuuden mitoitusarvo	f <sub>m</sub>	8	8	8	8	8	8
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	K	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	α	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Muurin puristuslujuuden laskentakerroin	β	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Muurin puristuslujuuden ominaisarvo	fk	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
Muurin lujuuden varmuusluku	γ <sub>M</sub>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Muurin puristuslujuuden mitoitusarvo	fd	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
<b>SEINÄN KORKEUS (mm)</b>							
Seinän tehollinen korkeus	h <sub>ef</sub> = h	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Seinän tehollinen paksuus	t <sub>ef</sub> = t	96	121	96	121	96	121
Seinäpuoliskojen kimmokertoimien suhde	E1/E2		1		1		1
Seinän hoikkusuulu (≤ 27)	λ	25.00	19.84	25.00	19.84	25.00	19.84
<b>Seinän yläpään mitoituskestävyys</b>							
Alkuepäkeskisyyss	e <sub>init</sub>	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Vaakuormien aiheuttama epäkeskisyyss seinän yläpäässä	e <sub>he</sub>	0	0	0	0	0	0
Alkuepäkeskisyyss vähintään	0,05*t	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
Seinän yläpään epäkeskisyyss	e <sub>i</sub>	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Vaaka- ja pystykuormista aiheutuva momentin mitoitusarvo seinän yläp.	M <sub>id</sub>	0	0	0	0	0	0
Pystysuoran kuorman mitoitusarvo	N <sub>id</sub>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Seinän yläpään mitoituspäkeskisyyss	e <sub>i</sub>	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Kestävyys pienennyskerroin (hoikkuus ja epäkeskisyyss)	Φ <sub>i</sub>	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Seinän pystysuoran kestävyys mitoitusarvo	N <sub>Rd</sub>	127606	127606	127606	127606	127606	127606
	N <sub>id</sub> ≤ N <sub>Rd</sub>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>Seinän puolivälin mitoituskestävyys</b>							
Vaaka- ja pystykuormista aiheutuva momentin mitoitusarvo seinän puolivälissä	M <sub>md</sub>	0	0	0	0	0	0
Seinän pystysuoran kuorman mitoitusarvo seinän puolivälissä	N <sub>md</sub>	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Vaakuormien aiheuttama epäkeskisyyss seinän korkeuden puolivälissä	e <sub>hm</sub>	0	0	0	0	0	0
Kuormien aiheuttama epäkeskisyyss	e <sub>m</sub>	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Mitoituspäkeskisyyss seinän korkeuden puolivälissä	e <sub>mk</sub>	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33	5.33
Kimmokerroin (pitkäaikainen)	K <sub>E</sub>	700	700	700	700	700	700
Kimmokerroin	E	1884	1884	1884	1884	1884	1884
Apusuure	λ <sub>m</sub>	0.945	0.750	0.945	0.750	0.945	0.750
Apusuure	u	1.326	1.033	1.326	1.033	1.326	1.033
Apusuure	A <sub>1</sub>	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889
Luonnollisen logaritmin kantaluku	e	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718	2.718
Kestävyys pienennyskerroin (hoikkuus ja epäkeskisyyss)	Φ <sub>m</sub>	0.369	0.521	0.369	0.521	0.369	0.521
Seinän pystysuoran kestävyys mitoitusarvo	N <sub>mRd</sub>	52962	74840	52962	74840	52962	74840
	N <sub>md</sub> ≤ N <sub>mRd</sub>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
<b>Seinän alapään mitoituskestävyys</b>							
Alapään kuormitus on keskinen, joten kestävyys on riittävä yläpään tulosten perusteella.							
<b>Seinän normaalivoiman maksimikapasiteetti annetuilla arvoilla</b>							
	N <sub>Rd</sub>	52	74	52	74	52	74

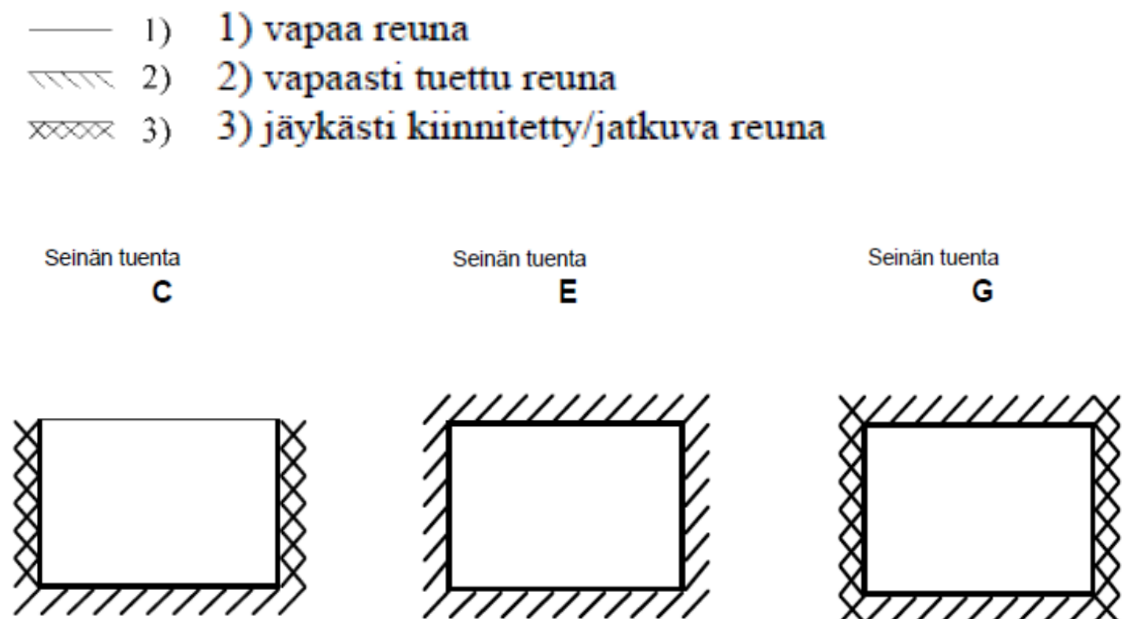
#### 4.5 Ulkoseinien mitoitus tuulikuormalle

Tuulikuormien määrittäminen tulee tehdä aina tapauskohtaisesti perustuen eurokoodiin SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 ja kansallisen liitteen määräyksiin. Tuulikuormaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tuulennopeuden perusarvo, ympäröivän maaston kaltevuus ja maastoluokat. Lisäksi mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti myös se miten seinä on tuettu.

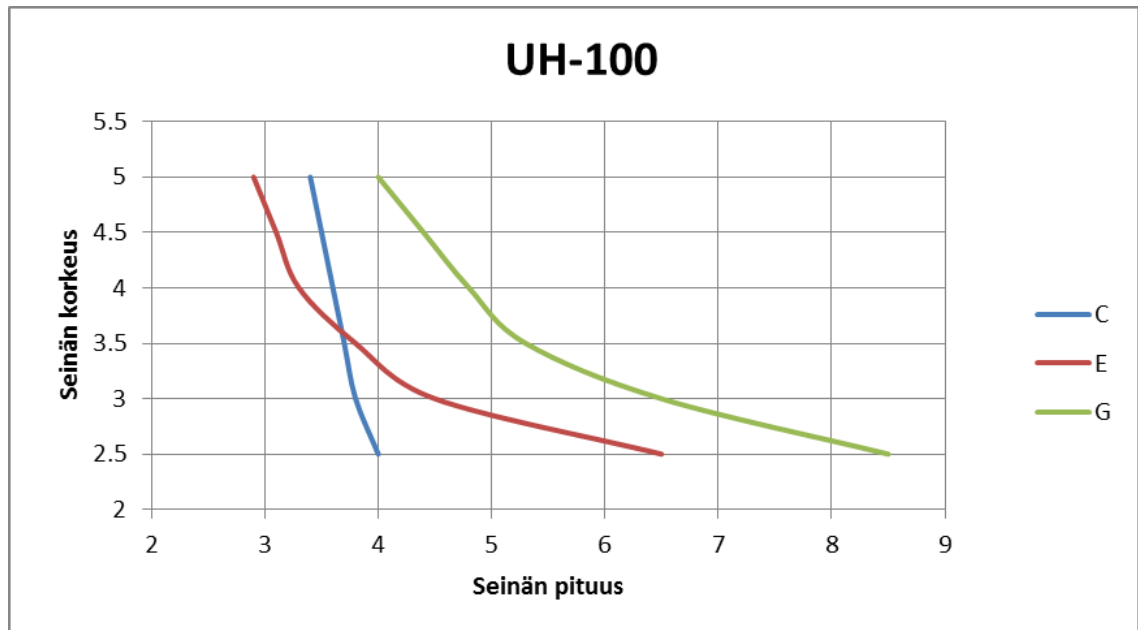
Koska seinien mitoitus tuulenpainelle on riippuvainen niin monista eri tekijöistä, on mitoitusta varten tehty Excel-pohjainen laskentataulukko ”Seinän mitoitus tuulenpainelle”. Taulukossa on mitoitusmahdollisuus kolmelle yleisimmälle tuentatapaukselle.

Kapasiteettikäyrien laskennassa on käytetty näitä kolmea eri tuentatapausta ja useimmille pienrakennuksille maastoluokassa kolme soveltuvaa tuulikuormaa  $0,675 \text{ kN/m}^2$ . Excel-tilin avulla on tehty kapasiteettikäyrät harkkokohtaisesti kullekin kuormitustapaukselle (kuvat 7-15).

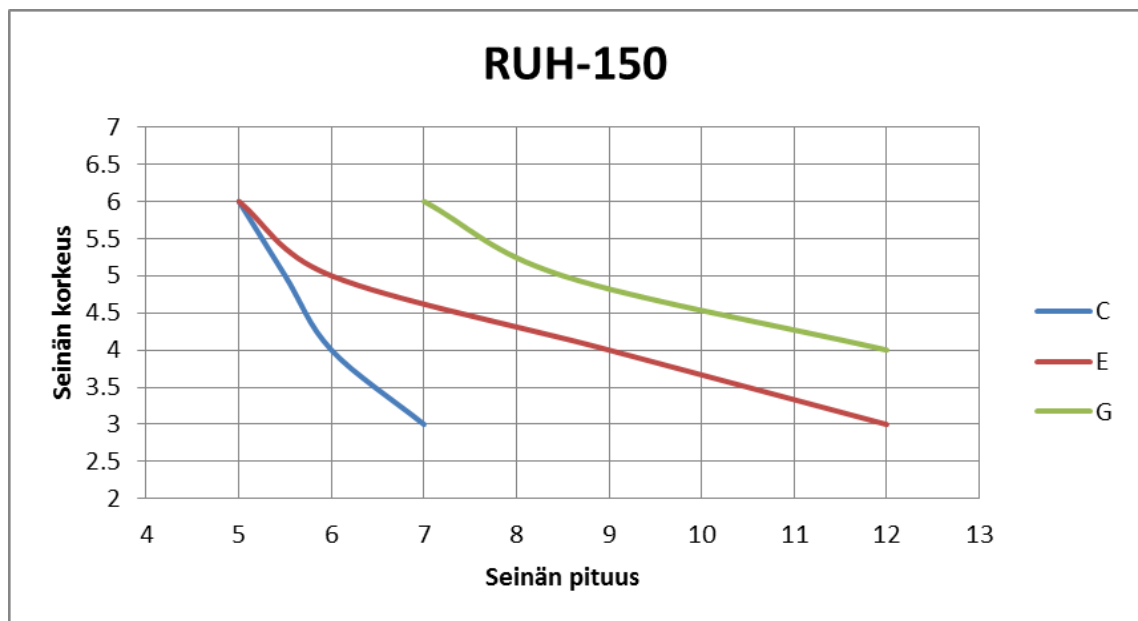
Kun maasto- tai tuuliolosuhteet ovat erilaiset, suunnittelija voi käyttää apunaan laskentapohjaa oikean tuotteen selvittämiseksi kyseisiin olosuhteisiin.



Kuva 7. Tuentatapaukset ja niiden merkkien selitykset.

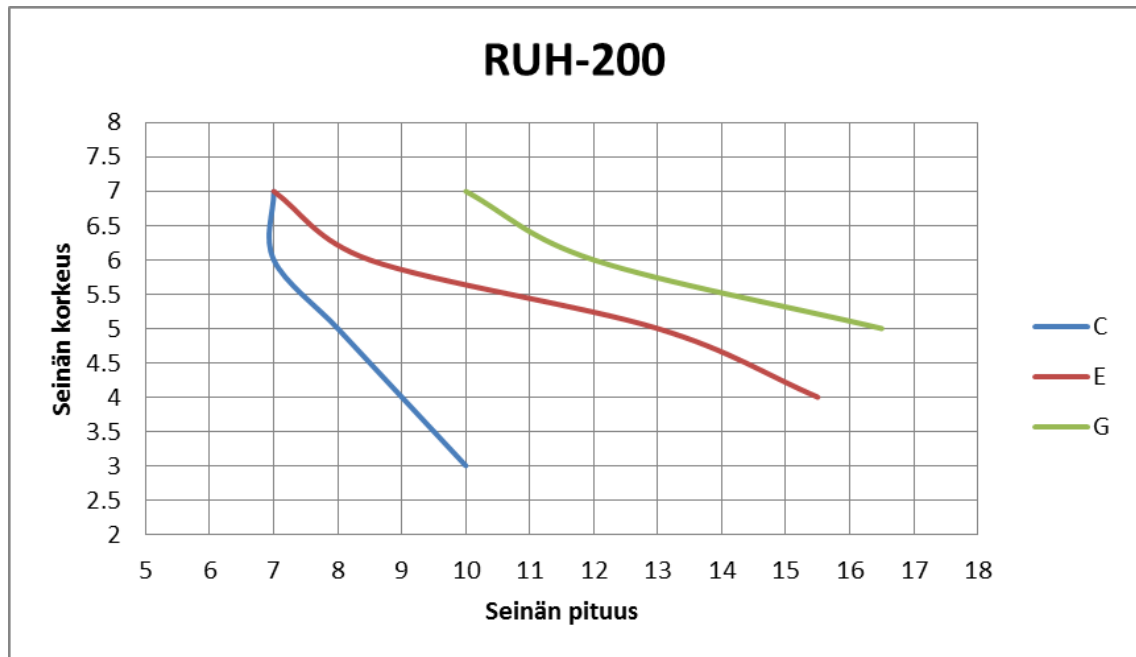


Kuva 8. Kevytsoraharkon UH-100 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.

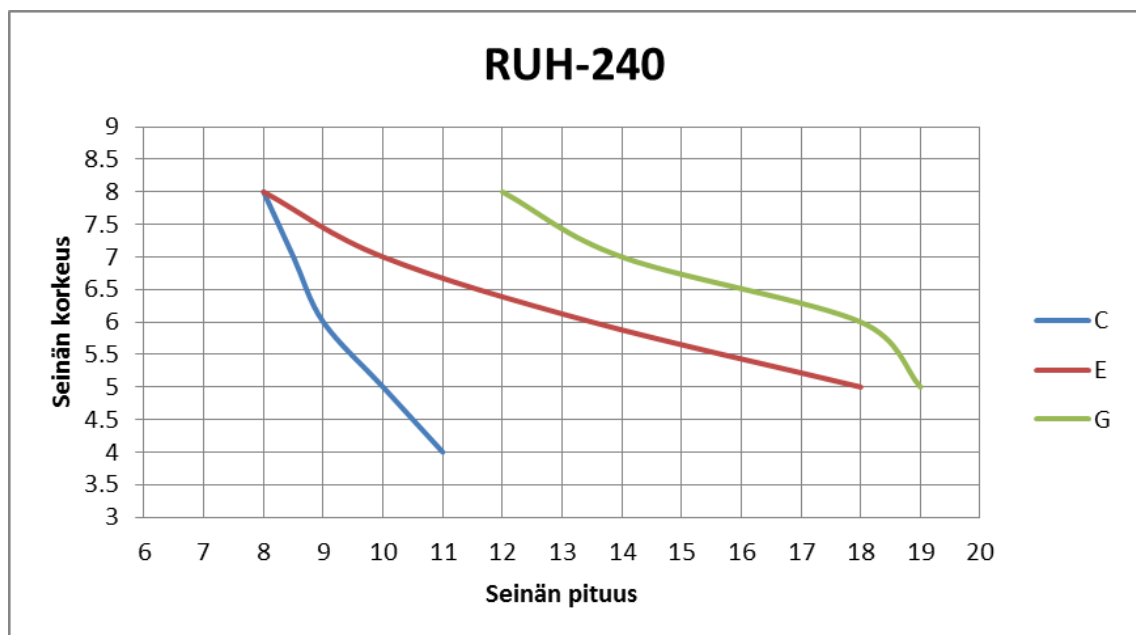


Kuva 9. Kevytsoraharkon RUH-150 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.

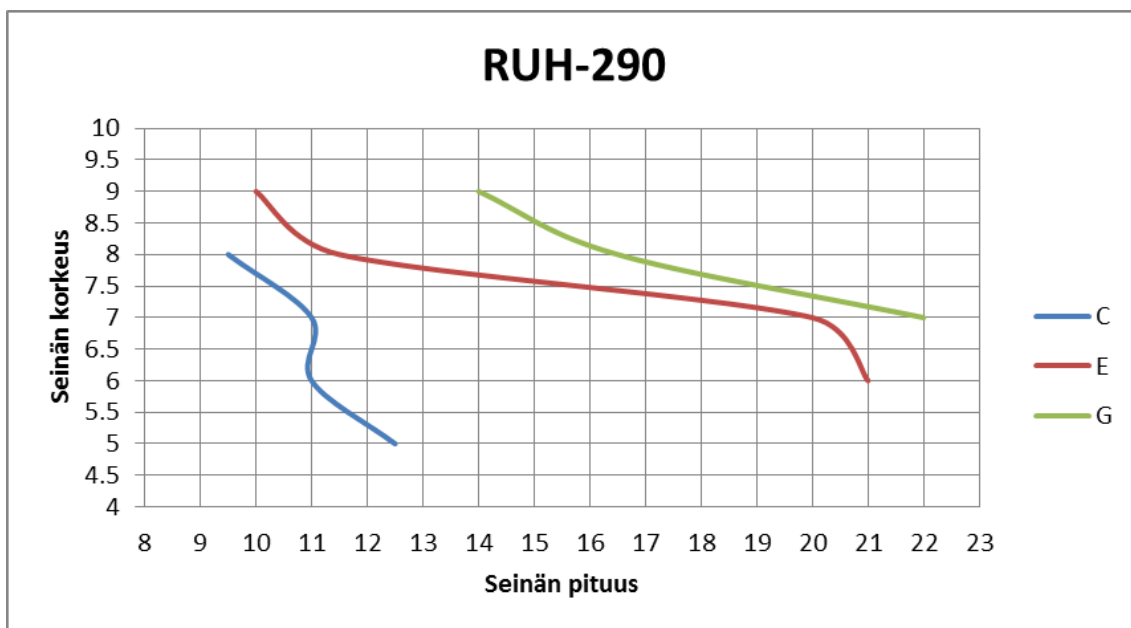




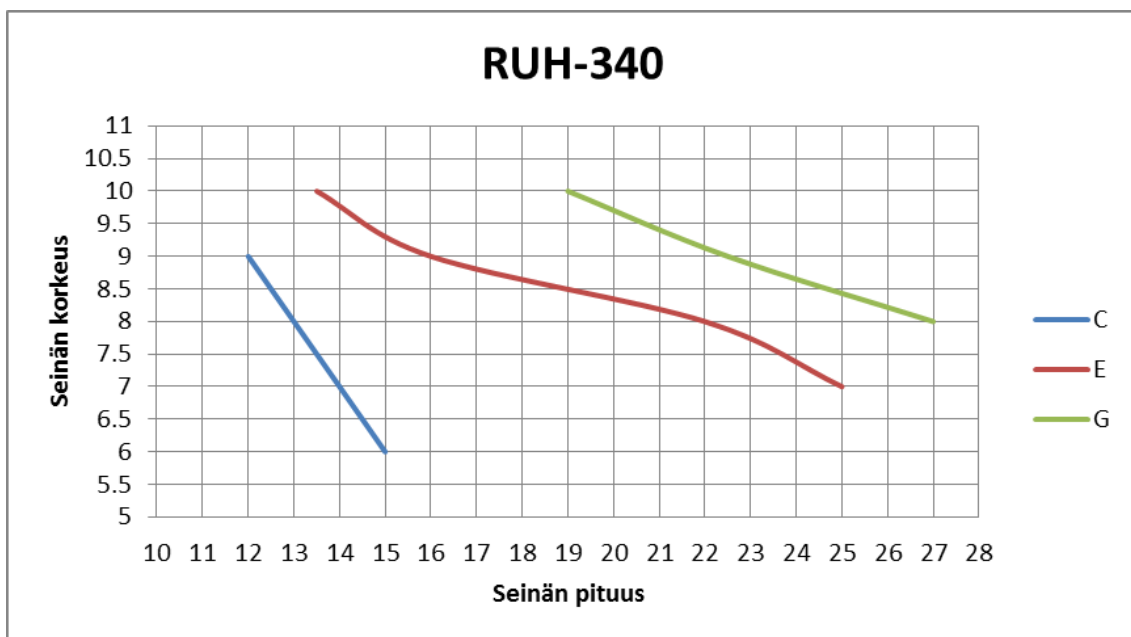
Kuva 10. Kevytsoraharkon RUH-200 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.



Kuva 11. Kevytsoraharkon RUH-240 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.



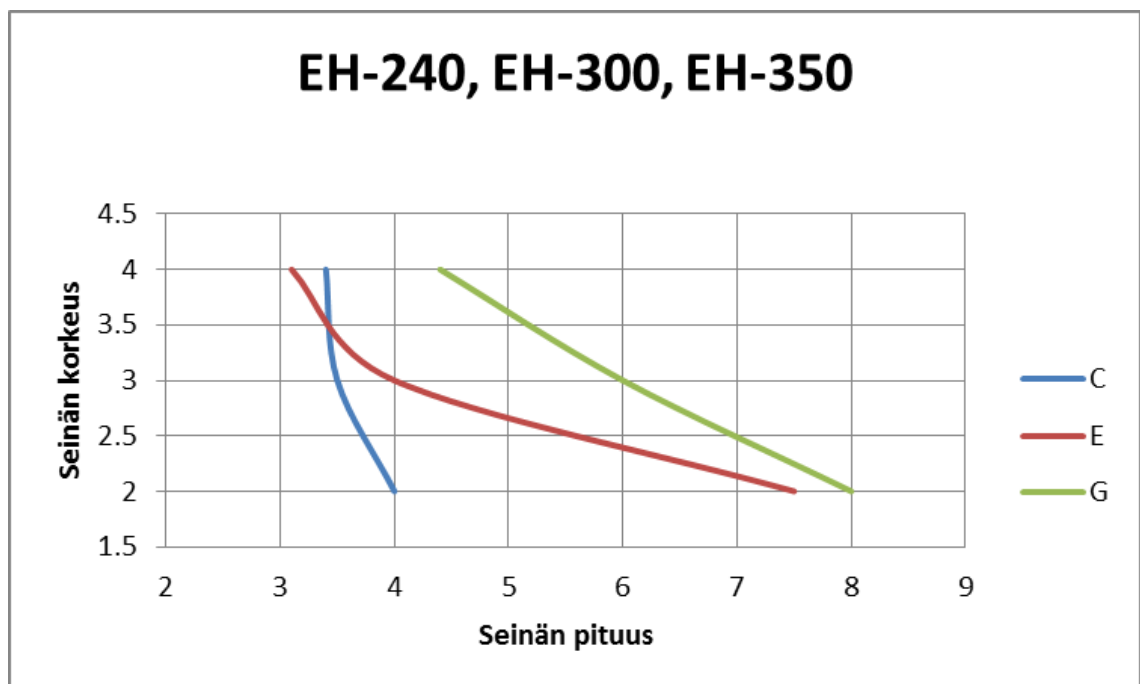
Kuva 12. Kevytsoraharkon RUH-290 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.



Kuva 13. Kevytsoraharkon RUH-340 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.



Kuva 14. Kevytsoraharkon RUH-380 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.



Kuva 15. Kevytsoraharkkojen EH-240, EH-300, EH-350 kapasiteettikäyrät tuulikuormalle.

#### 4.6 Aukonylityspalkit

Muuratuissa Lakka harkkorakenteissa voidaan aukkoylitykset tehdä käyttäen muottiharkkoja, teräspalkkeja tai työmaalla muottiin valettavia betonipalkkeja. Yleisin tapa tehdä aukonylitykset työmaalla on käyttää palkkien alapinnan teräksenä t-teräsprofiileja, joita voi tilata tehtaalta harkkotoimituksen yhteyteen. [6, s.10].

Liittopalkkiratkaisuissa palkkiharkot asennetaan sinkittyjen t-teräsprofiilien päälle. Harkkojen välisissä vaakasaumoissa käytetään n. 2 mm:n ohutlaastisaumaa. Muurauksen jälkeen palkkiharkot valetaan betonimassalla, jonka lujuus on vähintään C25/30 (K30-2). Lakan valmisbetoneista voidaan käyttää esim. S30 sementtilaastia tai Juotosbetonia K40. Kantava aukkopalkki muodostuu alapinnan teräsprofiilin, laastin ja betonin muodostamasta harkkopalkista. Liittopalkkien kapasiteetit tasaiselle kuormalle on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Mitoituksessa on sovellettu muurattujen harkkorakenteiden ja teräsrakenteiden eurokoodimitoitusta. Taulukon arvot ovat voimassa, kun palkit tehdään työmaalla kuvien 20 ja 21 mukaisesti. [6, s. 10–11].

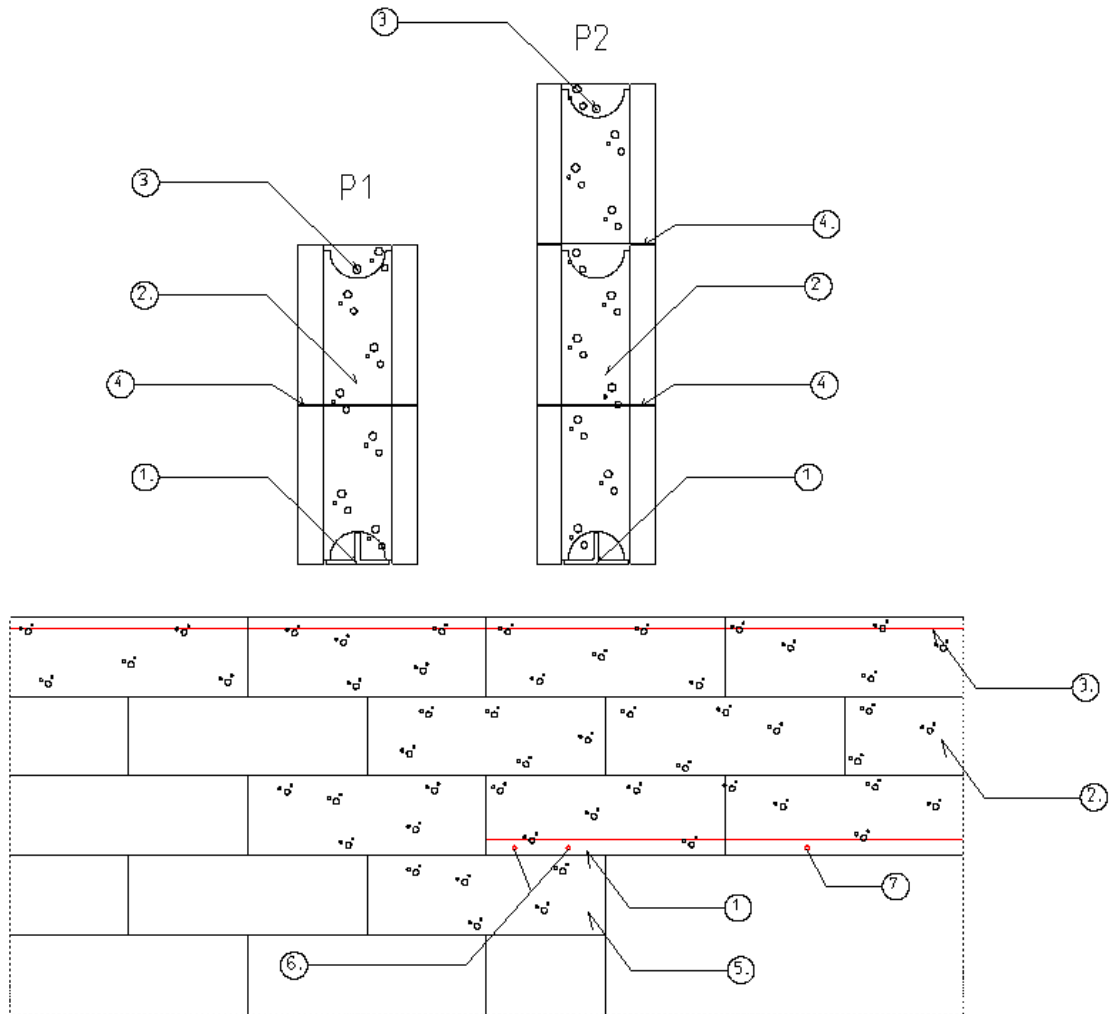
Taulukko 8. VSH-150 aukkopalkkien tasaisen kuorman mitoitusarvot ilman palkin omaa painoa [6, s. 12].

Tasaisen kuorman kestävyden mitoitusarvot					
	P1	P2			
MRd	15,6 kNm	25,1 kNm			
VRd	28,2 kN	28,2 kN			
<b>Aukko</b>	<b>qd kN/m</b>	<b>qd kN/m</b>			
<b>L (m)</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>			
<b>0,9</b>	56	56			
<b>1,2</b>	45	45			
<b>1,5</b>	36	37			
<b>1,8</b>	26	32			
<b>2,1</b>	20	28			
<b>2,4</b>	16	25			
<b>2,7</b>	-	21			
Tuki	300 mm	300 mm			

Taulukko 9. EKO-350P aukkopalkkien tasaisen kuorman mitoitusarvot yhdelle harkkopuoliskolle ilman palkin omaa painoa [6, s. 14].

<b>Tasaisen kuorman kestävyden mitoitusarvot</b>					
	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>		
MRd (kNm)	3,68	17,67	40,18		
VRd (kN)	18,77	41,11	45,67		
<b>Aukko</b>	<b>qd kN/m</b>	<b>qd kN/m</b>	<b>qd kN/m</b>	<b>qd kN/m</b>	
<b>L (m)</b>	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P2</b>	
<b>0,9</b>	25	64	64	79	
<b>1,2</b>	-	51	51	64	
<b>1,5</b>	-	40	43	54	
<b>1,8</b>	-	30	36	46	
<b>2,1</b>	-	23	32	41	
<b>2,4</b>	-	18	28	36	
<b>2,7</b>	-	-	25	30	
<b>3,0</b>	-	-	23	25	
TUKI	300 mm	300 mm	300 mm	400 mm	

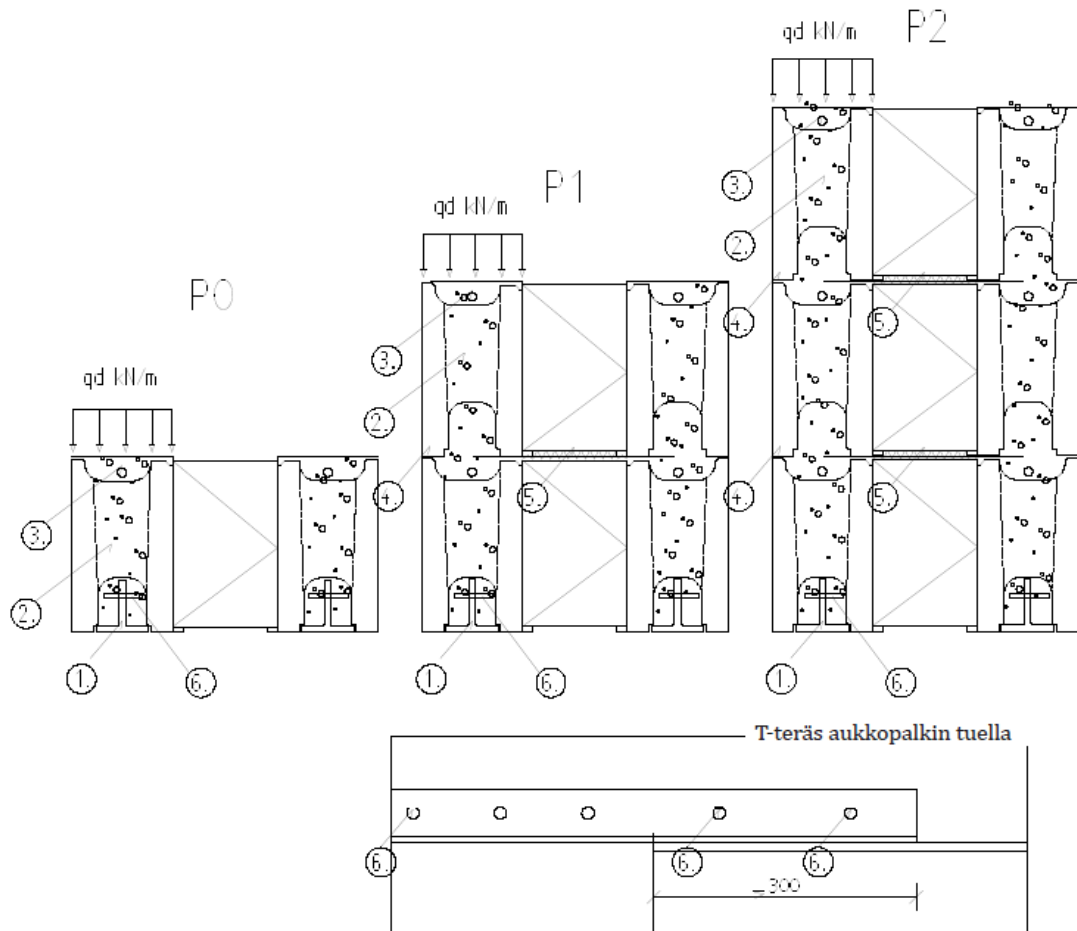
Taulukoiden 8 ja 9 kuormituskestävyyksissä ei ole huomioitu tuen paikallista puristuskestävyyttä eikä aukon alapuolisen seinän kuormituskestävyyttä, jotka tulee tarkistaa tapauskohtaisesti riippuen seinän mitoista. Lisäksi tulee kuormien laskennassa huomioida palkin oma paino vallitsevan kuormitusyhdistelmän mukaisesti [6, s. 12, 14].



Kuva 16. Aukkoylityspalkin VSH-150 toteutus [6, s. 11].

Kuvan 16 selite:

1. T-teräs 80x40 asennetaan tuella ohutsaumalaastiin ja tuodaan tuelle vähintään 300 mm.
2. Harkon ontelot valetaan betonilla esim. Lakka sementtilaasti S30 tai juotosbetoni K40
3. Yläpinnan harjateräs T10 ja betonivalu koko ylimmän harkkokerroksen osalla
4. Muuraus harkon sivukannaksista Lakka ohutsaumalaastilla
5. Palkin tuella harkon ontelot valetaan betonimassalla esim. S30 tai JB K40
6. Palkin tuella asennetaan terästapit 2 kpl T12 L=50 mm t-teräksen pystylaipan rei'itykseen
7. Aukon kohdalla asennetaan 50 mm pitkät terästapit T12, 300 mm:n välein (k300) t-teräksen pystylaipan rei'itykseen.



Kuva 17. Aukkoylityspalkin EKO-350P toteutus [6, s. 13].

Kuvan 17 selite:

1. T-teräs 60x60 asennetaan tuella märkään laastisaumaan ja tuodaan tuelle vähintään 300 mm.
2. Harkon ontelot valetaan betonilla esim. Lakka sementtilaasti S30 tai juotosbetoni K40.
3. Yläpinnan harjateräs T10.
4. Muuraus harkon sivukannaksista Lakka ohutsaumalaastilla.
5. Palkkiharkon vaakasaumoissa muurausside RST 4 mm k600.
6. Palkin tuella asennetaan terästapit 2 kpl T12 L=50 mm ja aukkoilyksen kohdalla k300 t-teräksen pystylaipan rei'itykseen.

## 4.7 Raudoituksen vähimmäispinta-ala ja peitepaksuus

Standardissa [11, s. 71–72] määritellään raudoituksen vähimmäispinta-ala ja peitepaksuus seuraavasti:

### 8.2.3 Raudoituksen vähimmäispinta-ala

(1) Palkkina mitoitetussa raudoitettuun muuratettuun rakennusosassa (kuorma vaikuttaa rakenteen tasossa), pääraudoituksen vähimmäispinta-ala on vähintään 0,05 % muuratun rakenteen tehollisen leveyden ja tehollisen korkeuden tulona lasketusta poikkipinta-alasta.

(2) Kun seinien vaakasaumoissa käytetään raudoitusta parantamaan kestävyyttä vaakakuormia vastaan  $|AC>$  (kuorma vaikuttaa kohtisuoraan seinän tasoa vastaan)  $<AC|$ , raudoituksen kokonaispinta-ala on vähintään 0,03 % seinän bruttopoikkipinta-alasta (0,015 % kummassakin pinnassa).

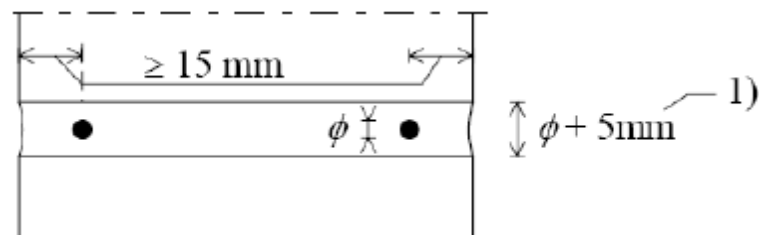
(3) Kun muuratun rakenteen vaakasaumoissa käytetään raudoitusta halkeilun hallintaan tai sitkeyden aikaansaamiseen, tällaisen raudoituksen kokonaispinta-ala on vähintään 0,03 % seinän bruttopoikkipinta-alasta.

### 8.2.2 Raudoituksen peitepaksuus

(1) Kun  $|AC>$  kohdan 4.3.3(3) mukaisesti  $<AC|$  valittu rauditus on sijoitettu vaakasaumoihin, raudoituksen tartuntalujuus saavutetaan edellyttäen, että:

- laastipeitteen vähimmäismitta raudoitteesta muuratun rakenteen pintaan on 15 mm (ks. kuva 8.2)

- yleis- ja kevytlaasteja käytettäessä vaakasaumaan sijoitetun raudoituksen ylä- ja alapuolella olevan laastipeitteen paksuus valitaan siten, että sauma on vähintään 5 mm paksumpi kuin raudoitusteräksen läpimitta.



Kuva 8.2



## **5 Erilliskysymyksiä**

### **5.1 Ikkuna- ja oviaseennukset Lakka-karmikulmalla**

Lakka karmikulman käytöstä on valmistettu erillinen ohje, jossa on esitetty yksityiskohtaisesti piirrosten avulla karmikulman käyttö kevytsoraharkkorakenteissa. Tällöin vältetään tukipuiden kiinnitykseltä ikkuna- ja ovikarmeja varten.

### **5.2 Liikuntasaumat**

Eri materiaalit ja rakenteet elävät eri tavalla. Niinpä eri materiaalien liittymäkohdat, ja kohdat joissa harkon koko muuttuu, ovat alttiita halkeamien syntymiselle. Halkeamien syntymistä voidaan estää käyttämällä yhtenäisillä pinnoilla samaa materiaalia. Vaihtoehtoisesti voidaan materiaalien saumakohtaan tehdä liikuntasäuma elastisella massalla. Myös pintamateriaali ja -käsittely, esimerkiksi maali, tulee katkaista liikuntasäuman kohdalla. [15, s. 80.]

Seinässä olevaa liikuntasäumaa pidetään seinän vapaana reunana, jossa leikkausvoima tai taivutusmomentti ei siirry. On myös olemassa erikoisliittimiä, joiden avulla momentti ja/tai leikkausvoima voidaan siirtää liikuntasäuman yli. [11, s.49.]

### **5.3 Jäykistävät seinät**

Kun vaakakuormitetut seinät on limitetty pystykuormitettuihin seiniin (ks. 8.1.4), tai kun ne kannattavat raudoitettua betonilaatastoa, rakenteen voidaan katsoa olevan jatkuva. Kapillaarikatkon kohdalla rakenteen katsotaan olevan vapaasti tuettu. Seinän liittyessä pystyreunoilta sitein pystykuormitettuun kantavaan seinään tai muuhun soveliaaseen rakenteeseen, voidaan seinän pystyreunoilla olettaa olevan osittainen kiinnitysaste ja jatkuvuus edellyttäen, että siteiden lujuus on osoitettu riittäväksi. [ 11. s. 49.]

## 6 Johtopäätökset

Koin opinnäytetyön tekemisen suhteellisen haastavana tehtävänä, sillä koulutuksessamme harkkorakenteiden mitoitus ei käsitelty lainkaan. Aloitin tutustumisen aiheeseen Harkkokäsikirjan laskelmien kautta, jonka jälkeen otin tarkasteltavaksi, sekä eurokoodin 1996 ja RIL 206-2010 teoksen, joka sisältää myös kansallisen liitteen huomautukset yhdistettynä eurokoodiin ja joitakin esimerkkilaskelmia.

Aluksi perehdyin peruskäsitteisiin ja niiden merkityksiin. Samanaikaisesti aloin syöttää tietoja Excel-pohjiin ja muodostin vähitellen eurokoodin mukaiset laskentakaavat, verraten saamiani tuloksia esimerkkilaskelmien tuloksiin. Näin pyrin varmistamaan laskentapohjien oikean toiminnan. Myös molemmat ohjaajat ovat käyneet laskentapohjat läpi, jotta mahdolliset laskentavirheet olisi havaittu. Lopulta laskentapohjia kertyi kaikkiaan viisi erilaista.

- Kantavan ulkoseinän mitoitus päästään nivelöitynä sauvana
- Maanpaineseinän mitoitus
- Seinän mitoitus tuulenpaineelle
- Aukkopalkin mitoitus
- Seinän mitoitus aukkojen kohdalla

### 6.1 Kantavat seinät

Kantavien harkkoseinin osalta havaitsin käytännölliseksi sijoittaa kaikki harkot samaan laskentataulukkaan, jolloin suunnittelija annettuaan muutaman perusarvon voi heti nähdä, mikä tuote sopisi parhaiten hänen suunnittelemaansa kohteeseen.

Verratessani saatuja tuloksia, rakennusmääräyskokoelman B5 perusteella vuonna 2005 opinnäytetyössä [19, liite 6, s. 2] saatuihin tuloksiin, huomasin eurokoodien mukaan laskettujen kapasiteettien olevan selkeästi pienemmät kuin aiemmat kapasiteetit.

Tutkittuani asiaa huomasin laskennassa olevan monia pieniä eroja aiheuttavia tekijöitä, jotka vaikuttivat tuloksissa suuntaa tai toiseen, mutta merkittävin muutoksen aiheuttaja näyttää olevan eurokoodilaskennassa käytettävä rakosauman pienennyskerroin [11, s. 29]. Aiemmassa laskennassa [19, s. 47] ei ole ollut käytössä rakosauman pienennyskerrointa. Aiemmin on otettu huomioon ainoastaan leveämpien harkkojen onteloiden, joita on noin 20 % harkkojen pinta-alasta, vaikutus kertoimella 0,8. Kun käytin vastaavaa kerrointa laskentapohjan rakosauman pienennyskerrointa tilalla, kapasiteetit olivat hyvin samankaltaisia aiemman laskennan kanssa.

## 6.2 Maanpaineseinät

Maanpaineseinien kohdalla oli hämmästyttävää huomata, ettei esimerkkilaskelmissa otettu lainkaan huomioon maaperän tiivistämisen aiheuttamaa maanpaineen kasvua rakenteita kohtaan. Käytännössä maaperä työmailla yleensä tiivistetään, jolloin rakenne jäisi alimitoitetuksi siihen kohdistuviin rasituksiin nähden jos tiivistämisen aiheuttamaa maanpaineen kasvua ei huomioida. Maanpaineen suuruus vaihtelee jonkin verran riippuen tiivistystavasta. Mitä raskaampi tiivistyslaitteisto on, sitä suurempi maanpaine rasittaa rakenteita.

Seinän takana vaikuttavien maanpaineiden määrittämisessä tulee ottaa huomioon taustatäytön lisäämisestä muodostuva lisäpaine ja käytetty tiivistysmenetelmä [18, s. 94]. Tiivistetyn kitkamaan synnyttämä maanpaine mitoitetaan kokemusperäisesti. Mitoituspohjassa tämä on huomioitu antamalla kolme eri vaihtoehtoa maan tiivistystavoille ja niiden mukaiset maanpaineet laskentaan [17, s. 246].

Maanpaineseinillä jännemitan ja seinän paksuuden suhde on oltava  $\leq 25$ . Käytännössä maanpaineseinissä perinteisesti käytetyillä harkoilla (RUH-240 – 380), seinän jännemittaa tulee rajoittamaan jo huomattavasti aiemmin mm. maanpaineseinän leikkauskapasiteetti. Osaltaan tähän vaikuttaa em. tiivistetyn kitkamaan aiheuttama maanpaineen huomioiminen, jota kaikissa laskelmissa ei ole huomioitu.

### 6.3 Tuulenpaineseinät

Seinien mitoituksessa tuulenpaineelle eteen tuli taas uudenlaisia haasteita. Laskennassa on monia samanaikaisesti vaikuttavia tekijöitä. Ensinnäkin oli huomioitava käyttörajatilassa korkeuden ja pituuden raja-arvot suhteessa rakenteen paksuuteen. Nämä arvot ovat riippuvaisia seinän tuentatavasta. Koska tämän tarkistamiseksi ei käytössä olleissa lähdeaineistoissa ollut saatavilla laskentakaavoja, joutuu nämä tarkistukset tekemään manuaalisesti, eurokoodin liitteen F tuentatapausten mukaisten käyrien avulla [11, s. 93]. Nämä käyrät on sijoitettu laskentapohjaan tarkistuksen helpottamiseksi.

Toinen erittäin työläs ja viriheherkkä vaihe on vaakakuormitetun seinän taivutusmomenttien kertoimien hakeminen eurokoodin liitteen E tuentatapausten mukaisista taulukoista [11, s. 88]. Erilaisia tuentatapausta taulukoissa on esitetty kaikkiaan kaksitoista, mutta ohjaajien kanssa päädyimme ottamaan laskentapohjaan vain kolme yleisintä tapausta. Liitteen painettujen taulukkojen arvot on esitetty suhteellisen harvalla jaolla, joten katsoin tarpeelliseksi tehdä laskentapohjaan lisätaulukot, joissa myös väliarvot olisivat saatavilla riittävän tarkasti. Valitettavasti arvojen hakeminen lisätaulukoista laskentapohjaan ei onnistunut perinteisillä Excel-komennoilla jotka itse hallitsin. Niinpä jouduin turvautumaan asiantuntijan apuun, jonka kanssa saimme VBA-ohjelmoinnin avulla tehtyä tarvittavat hakurutiinit. Näin nuo arvot voidaan nyt hakea ainoastaan yhdellä hiiren klikkauksella laskentapohjaan, joka laskee tulokset automaattisesti.

### 6.4 Aukkopalkit

Aukkopalkkien mitoitus oli myös hyvin haasteellinen, sillä eurokoodi ei sisällä ohjeita muiden kuin perinteisten pyörö- ja harjaterästen käytölle. Lakan Betoni Oy on kuitenkin käyttänyt jo aiemmin aukonylityspalkkien raudoituksena sinkittyjä T-teräksiä, jotka toimivat palkin asennusaikaisena tukena että pääasiallisena raudoituksena.

Laskennan etenemisen myötä kävi ilmi, että eurokoodin mukaisella laskennalla ja perinteisellä raudoituksella jäävät aukkopalkkien kapasiteetit alhaisiksi. Tämä johtui muuratun aukkopalkin laskennasta, jossa ei voitu huomioida työmaalla

valettavan betonin lujuutta, vaan rakenne mitoitettiin harkkomassan lujuuden mukaisena. Seuraavaksi tutkittiin kapasiteetit betoninormin mukaisella laskennalla, jossa huomioitaisiin perinteisen raudoituksen lisäksi vain palkin valettu osuus. Myös siinä kapasiteetit jäivät alhaisiksi. Lopulta päädyttiin liittorakenteena mitoittamiseen siten, että T-teräksen mitoitus tehtiin teräsrakenteita koskevan eurokoodin mukaan [12] ja harkkorakenne puolestaan muurattujen rakenteiden eurokoodin mukaan [11].

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön yhteydessä syntyneitä aineistoa, kuten kapasiteettitaulukoita ja Excel-laskentapohjia tullaan käyttämään Lakan Betoni Oy:n tuotteita käyttävien suunnittelijoiden apuvälineenä kevytsoraharkkorakenteiden mitoittamisessa.

Pääosiltaan laskennat perustuvat suoraan eurokoodeihin ja kansallisiin liitteisiin. Rakenteiden mitoituksessa on kuitenkin joitakin osa-alueita, joihin muurattuja rakenteita koskeva eurokoodi ja kansallinen liite eivät anna selkeitä laskentaohjeita. Esimerkiksi aukonylityspalkin ja käytettävän T-teräksen mitoittamisesta ei ole selviä ohjeita, vaan laskennassa on sovellettu teräsrakenteita koskevaa standardia T-teräksen osalta ja muurattuja rakenteita koskevaa standardia palkkiharkon suhteen.

Aukkopalkit on mitoitettu liittorakenteena. Luotettavimmat tulokset liittorakenteiden osalta saataisiin testauksen kautta, jolloin yhteistoiminta teräsprofiilin, harkon ja betonivalun välillä perustuisi todelliseen kuormitustilanteeseen. Aukkopalkeille on mahdollista hakea myös tuotehyväksyntämenettelyn kautta varmennustodistusta [16], joka vahvistaa rakennustuotteen luotettavuuden. Varmennustodistus voi perustua laskennalliseen mitoitukseen ja/tai testaukseen.

Jatkokehitysmahdollisuuksia ovat mahdollisten varmennustodistusten yhteydessä tehtävät testaukset, betoniharkkojen suunnitteluohjeiden laatiminen sekä Excel-pohjien visuaalisen ilmeen parantaminen esimerkiksi VBA-ohjelmoinnilla.

Lopuksi haluan esittää kiitokseni opinnäytetyön ohjaajina toimineille Jukka Hirvoselle Karelia ammattikorkeakoululta sekä Jani Huoviselle Lakan Betoni Oy:stä. Erityisasiantuntija Timo Tikanoja Rakennusteollisuus Oy:stä antoi arvokasta apua aukkopalkkien mitoitukseen liittyvissä erikoiskysymyksissä. Luonnontieteiden kandidaatti Hanna Lindholm puolestaan avusti tuulenpainemitoituspohjan tietojen hakuominaisuuksien kehittämisessä VBA ohjelmoinnin avulla.

## Lähteet

1. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista, luonnos 10.10.2013. 10.10.2013. [http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Valmisteilla\\_olevat\\_rakentamismaarayskokoelman\\_osat](http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Valmisteilla_olevat_rakentamismaarayskokoelman_osat). Luettu 15.10.2013.
2. Rakennusteollisuus RT ry, Ympäristöministeriö, Liikennevirasto, SKOL ry, MetSta, SFS ry, RIL ry. Eurokoodi Help Desk. 1.11.2007. <http://www.eurocodes.fi>. Luettu 20.12.2013.
3. Lakan Betoni Oy. Perustusarkot. <http://www.lakka.fi/app/product/list/-/id/29>. Luettu 9.1.2014.
4. Lakan Betoni Oy. Lämpöharkot–eristeharkot. <http://www.lakka.fi/app/product/list/-/id/30>. Luettu 9.1.2014.
5. Lakan Betoni Oy. Harkkotarvikkeet. <http://www.lakka.fi/app/product/list/-/id/44>. Luettu 9.1.2014.
6. Lakan Betoni Oy. Muurattavat harkot, Suunnitteluohje 17.3.2014, Eurokoodi 6. <http://www.lakka.fi/binary/file/-/fid/3697>. 17.3.2014. Luettu 18.3.2014.
7. Betoniteollisuus ry. Kevytsoraharkot. <http://www.betoni.com/betonituotteet/harkot/kevytsoraharkot>. Luettu 24.3.2014
8. SFS-EN 1990. Rakenteiden suunnitteluperusteet. 2006.
9. SFS-EN 1991. Rakenteiden kuormat. 2002.
10. SFS-EN 1992. Betonirakenteiden suunnittelu. 2005.
11. SFS-EN 1996. Muurattujen rakenteiden suunnittelu. 2013.
12. SFS-EN 1993. Teräsrakenteiden suunnittelu. 2005.
13. RIL 206-2010. Muurattujen rakenteiden suunnitteluohje. 2010.
14. Kevytsoraharkkorakenteiden eurokoodimitoitus. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry. Rakentajain kalenteri 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy.
15. Palolahti T. & Mäki T. 2010. Harkkokäsikirja. Helsinki: Betoniteollisuus ry
16. Ympäristöministeriö. Varmennustodistus. 1.7.2013. [http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Rakennustuotteiden\\_tuotehyvaksynta/Kansalliset\\_hyvaksyntamenettelyt/Varmennustodistus](http://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Kansalliset_hyvaksyntamenettelyt/Varmennustodistus). Luettu 19.4.2014.

17. Rantamäki M., Jääskeläinen R. & Tamminen M. 1979. Geotekniikka. Helsinki: Otatieto.
18. SFS-EN 1997. Geotekninen suunnittelu. 2005.
19. Malinen M. & Karvinen A. 2005. EKO-350 matalaenergiarahkorakenteiden suunnitteluohje. Joensuu: Opinnäytetyö, Rakennustekniikka, Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu



