

Harkkokäsikirja 2016

MUURATTUJEN HARKKORAKENTEIDEN MITOITUSOHJE

(liite 1)



betoni
BETONITEOLLISUUS ry

Sisällysluettelo

3.1 Eurokoodin perusteet	3
3.1.1 Kansalliset liitteet	3
3.1.2 Kuormat	3
3.2 Muurattujen rakenteiden perusteet eurokoodilla	3
3.2.1 Yleistä mitoitukselta	4
3.3 Materiaaliominaisuudet	5
3.3.1 CE-merkintä	5
3.3.2 SFS 7001	5
3.3.3 Materiaaliominaisuuksien mitoitussarvot	5
3.3.4 Lujuudet	6
Muurin puristuslujuus	6
Muuratun rakenteen leikkauslujuus	7
Muuratun rakenteen taivutuslujuus	8
Raudoituksen tartuntalujuus	9
3.3.5 Kimmokerroin	9
3.4 Maanpaineseinän mitoitus	10
3.4.1 Taivutusmitoitus	10
3.4.2 Leikkausmitoitus	12
3.4.3 Vetoterästen ankkurointi	12
3.4.4 Vetoterästen jatkospituus	14
3.5 Muuratun seinän mitoitus puristukselle ja taivutukselle	14
3.5.1 Seinän tehollinen korkeus	14
3.5.2 Seinän tehollinen paksuus	16
3.5.3 Seinän hoikkuus	16
3.5.4 Kuorman alkuepäkeskisyys	16
3.5.5 Seinän kestävyys	16
3.6 Muuratun seinän mitoitus pääasiassa taivutukselle	20
3.6.1 Seinän kestävyys	20
3.7 Jäykistävät seinät	22
3.8 Paikallinen puristuskestävyys	23
3.9 Esimerkkitalon mitoitus	25
3.9.1 Kellarin maanpaineisiin	26
3.9.2 Alakerran kantavan seinän mitoitus puristukselle ja taivutukselle	29
3.9.3 Yläkerran päätyseinän mitoitus tuulenpaineelle	38
3.9.4 Yläkerran seinän mitoitus aukkojen kohdalla	41

3.1 Eurokoodin perusteet

Harkkorakenteisen pientalon suunnittelussa tarvittavia EN-standardeja ovat:

- EN 1990 Rakenteiden suunnitteluperusteet
- EN 1991 Rakenteiden kuormat
- EN 1996 Muurattujen rakenteiden suunnittelu
- EN 1997 Geotekninen suunnittelu

3.1.1 Kansalliset liitteet

EN-standardeihin kuuluvat kansalliset liitteet joissa esitetään arvoja kansallisesti valittaville parametreille.

3.1.2 Kuormat

Eurokoodin mukaiset kuormat esitetään standardin EN 1991 eri osissa ja niiden kansallisissa liitteissä. Eurokoodin mukainen murtorajatilan määräävä kuormitusyhdistelmä Suomessa saadaan kaavoista:

$$\frac{1,15K_{FI}}{0,9} \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1,5K_{FI} Q_{k,1} + 1,5K_{FI} \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (1)$$

kuitenkin vähintään

$$\frac{1,35K_{FI}}{0,9} \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \right\} \quad (2)$$

Kaavoissa:

K_{FI}	on seuraamusluokasta riippuva kuormakerroin. Kuormakertoimen arvot löytyvät standardin EN1990 kansallisen liitteen taulukosta A1.2(B) (FI). Seuraamusluokat löytyvät saman kansallisen liitteen taulukosta B1 (FI). Pientalot kuuluvat seuraamusluokkaan CC2 ja sitä vastaavan kuormakertoimen K_{FI} arvo on 1,0
$G_{k,j}$	on rakenteen oman painon ominaisarvo
$Q_{k,1}$	on määräävän muuttuvan kuorman ominaisarvo
$\psi_{0,i}$	on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin. Kertoimen arvot eri kuormille löytyvät standardin EN 1990 kansallisen liitteen taulukosta A1.1 (FI)
$Q_{k,i}$	on muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien ominaisarvot

3.2 Muurattujen rakenteiden perusteet eurokoodilla

Muurattuja rakenteita koskevat seuraavat eurokoodit:

- EN 1996-1-1: Raudoitettuja ja raudoittamattomia muurattuja rakenteita koskevat yleiset säännöt
- EN 1996-1-2: Rakenteellinen palomitoitus
- EN 1996-2: Muurattujen rakenteiden suunnittelu, materiaalien valinta ja työnsuoritus
- EN 1996-3: Muuratun rakenteen yksinkertaistetut laskentamenetelmät

Näitä eurokoodeja sovelletaan raudoittamattomien, raudoitettujen, esijännitettyjen ja vahvistettujen muurattujen rakenteiden suunnittelussa talonrakennuksessa ja maa- ja vesirakentamisessa. Ne käsittelevät ainoastaan rakenteiden kuormituskestävyys-, käyttökelpoisuus- ja säilyvyysvaatimuksia. Muita, esim. lämmön- ja ääneneristystä koskevia vaatimuksia, ei käsitellä.

Standardissa EN 1996-1-1 esitetään yleiset perusteet rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelemiseksi raudoittamattomana ja raudoitettuna muurattuna rakenteena silloin, kun raudoitusta on käytetty rakenteessa sitkeyden tai kestävyuden saavuttamiseksi tai käyttökelpoisuuden parantamiseksi. Kyseinen standardi ei käsittele muurattua rakennetta, jonka vaakapinta-ala on pienempi kuin 0,04 m². Standardissa EN 1996-1-1 esitetään yksityiskohtaisia sääntöjä, jotka soveltuvat pääasiassa tavanomaisiin rakennuksiin. Näiden sääntöjen soveltamisalaa on saatettu rajoittaa käytännön syiden tai yksinkertaistusten takia. Kaikki tarvittavat soveltamisalan rajoitukset on esitetty standardin tekstissä.

3.2.1 Yleistä mitoituksesta

Eurokoodin mukainen mitoitus perustuu rajatilamitoitukseen osavarmuuslukumenetelmää käyttäen.

Muuratut rakenteet mitoitetaan murtorajatilassa. Rakenteita ei mitoiteta käyttörajatilassa vaan tarkistetaan erilaisten taulukoiden tai mittasuhteiden perusteella se, että käyttörajatila ei tule määrääväksi.

Muurauskappaleet kuuluvat eurokoodin mukaan joko kategoriaan I tai II. Jako kategorioiden välillä riippuu muurauskappaleen lujuuden määrittelytavasta. Kategoriassa I lujuus määritellään keskiarvona niin, että alitustodennäköisyys on enintään 5 %. Kategoriassa II lujuus määritellään keskiarvona.

Eurokoodissa muurauskappaleet luokitellaan neljään aukkoryhmään. Ryhmittely tehdään aukkojen pinta-alan, aukkojen koon ja niiden lopullisessa rakenteessa olevan suunnan perusteella. Aukkoryhmittelyn perustana olevat mittavaatimukset on esitetty standardin EN1996-1-1 **taulukossa 3.1.**

Laastit jaetaan ominaisuus- ja reseptilaasteihin. Ominaisuuslaasti on valmistajan suhteuttama niin, että saavutetaan halutut ominaisuudet. Suomessa käytettävät laastit ovat ominaisuuslaasteja. Tällöin valmistaja ilmoittaa laastin ominaisuudet. Suomessa harkkomuurauksessa käytettävä harkkolaasti M100/500 on eurokoodin mukaista yleislaastia ja merkinnästä huolimatta ominaisuuslaastia. Reseptilaasti tehdään työmaalla annettujen seossuhteiden mukaisesti.

Ylityspalkit ovat valmistajan kokeellisesti mitoittamia aukkopalkkeja. Tällöin lujuus perustuu testien keskiarvoon. Myös muiden tuotestandardien mukaan laskennallisesti kohdekohtaisesti suunniteltuja palkkeja voidaan käyttää.

Täydentävät tuotteet kuten muuraussiteet, konsolit, kannakkeet ja vanteet ovat valmistajan kokeellisesti mitoittamia tuotteita. Näiden lujuus perustuu testien keskiarvoon.

3.3 Materiaaliominaisuudet

Suunnittelussa käytettävien materiaalien ja rakennustuotteiden ominaisuuksina tai mittoina käytetään kyseeseen tulevilla EN- ja hEN-standardissa tai eurooppalaisissa teknisissä hyväksynnöissä (ETA) esitettyjä arvoja, ellei standardissa EN1996-1-1 muuta esitetä. hEN-standardilla tarkoitetaan harmonisoitua tuotestandardia, jonka perusteella tuote voidaan CE-merkitä.

3.3.1 Suoritustasoilmoitus (DoP)

Suunnittelun lähtötiedot on etsittävä tuotteiden suoritustasoilmoituksista (DoP). Suoritustasoilmoitus on ainoa mahdollinen tapa ilmoittaa rakennustuotteen ominaisuuksien arvot ja luokat. Suomessa valmistajat laittavat DoP:n kotisivuilleen, mutta jos asiakas vaatii, ne lähetetään (sähköisesti) tuotteen mukana.

Lujuudet ovat valmistajan ilmoittamia ja tuotekohtaisia. Tämän takia suunnitelmiin on merkittävä riittävästi vaatimuksia jos määrittäminen ei tehdä tuotenimillä. Pelkkä vaatimus kevytsoraharkon ja laastin puristuslujuudelle ei riitä. Vaatimus on syytä esittää kevytsoraharkon tyyppille, aukkoryhmälle, kategorialle, kevytsoraharkon normalisoidulle puristuslujuudelle ja taivutusvetolujuuden ominaisarvolle, laastin lujuusluokalle tai puristuslujuudelle ja laastin ominaisleikkauslujuuden perusarvolle.

Suoritustasoilmoituksesta on löydyttävä seuraavat tiedot:

- Kevytsoraharkon kategoria
- Mittatiedot ja mittapoikkeamat
- Kevytsoraharkon aukkoryhmä
- Puristuslujuus
 - Puristuslujuuden keskiarvo
 - Normalisoitu puristuslujuus
- Kosteusmuodonmuutos
- Tartuntalujuus
- Palokäyttäytyminen
- Kapillaarinen vedenimukyky
- Vesihöyryn läpäisevyys
- Ilmaääneneristävyys
- Lämpötekniset ominaisuudet
- Pitkäaikaiskestävyys

3.3.2 SFS 7001

Muurauskappaleille ja laasteille asetetut ominaisuudet ja vaatimustasot on esitetty kansallisessa soveltamisstandardissa "SFS 7001 Muuratuille tuotteille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimukset". CE-merkintä kertoo tuotteen ominaisuudet Euroopassa hyväksytyllä tavalla. Tuotteen kelvollisuus Suomessa käytettäväksi täytyy tarkastaa standardista SFS 7001.

3.3.3 Materiaaliominaisuuksien mitoitusarvot

Materiaaliominaisuuden mitoitusarvo saadaan jakamalla ominaisarvo materiaalin osavarmuusluvulla γ_M . Suomessa käytettävät osavarmuusluvun γ_M arvot on esitetty standardin EN 1996-1-1 kansallisen liitteen kohdassa 2.4.3(1)P. Normaalisti vallitsevassa mitoitusilanteessa käytettävät arvot on annettu taulukossa 1. Onnettomuusilanteessa varmuuskertoimen arvo on 1,0.

Taulukko 1. Osavarmuusluvun γ_M arvoja

γ_M (normaalisti vallitseva mitoitustilanne)	
muurattu rakenne, jossa käytetään:	
kategoriian I muurauskappaleita ja ominaisuuslaastia ^a	1,8
kategoriian I muurauskappaleita ja muuta kuin ominaisuuslaastia ^b	2,4
kategoriian II muurauskappaleita ja mitä tahansa laastia ^{a,b,d}	2,5
raudoituksen ankkurointi	1,8
raudoitus ja jänneteräs	1,15
standardin EN 845-1 mukaiset muuraussiteet, vanteet, kannattimet ja konsolit sekä standardin EN 845-2 mukaiset ylityspalkit c, valmistaja ei ilmoita murtotapaa	3,2
Valmistaja voi ilmoittaa käytettävän varmuuskertoimen myös rakenteen murtumistavan mukaan seuraavasti. Murtuminen tapahtuu: • betonissa, puussa tai muurauksessa tai niiden rajapinnassa • teräksessä, alumiinissa tai betoniteräksessä	1,35 γ_{M1} 1,10 γ_{M1}
γ_{M1} on kyseessä olevaa materiaalia koskevan eurokoodiosan (osat EN 1992, EN 1993, EN 1995, EN 1996, EN 1999) kansallisen liitteen mukainen varmuuskerroin	

^a Ominaisuuslaastien vaatimukset on esitetty standardeissa EN 998-2 ja EN 1996-2. Suomessa käytettävät laastit ovat ominaisuuslaasteja. Tällöin valmistaja ilmoittaa laastin ominaisuudet.
^b Reseptilaastin vaatimukset on esitetty standardeissa EN 998-2 ja EN 1996-2.
^c Ilmoitetut arvot ovat keskiarvoja.
^d Kun kategoriian II muurauskappaleiden variaatiokerroin on enintään 25 %.

3.3.4 Lujuudet

Muurin puristuslujuus

Muurin puristuslujuus määritetään standardin EN 1052-1 mukaisella testillä tai kaavalla:

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta \tag{3}$$

missä f_b on valmistajan ilmoittama muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus ja f_m on laastin puristuslujuus. Termit K , α ja β ovat muurauskappaleen tyypistä ja aukkoryhmästä riippuvia kertoimia. Kertoimen K arvot on esitetty taulukossa 2. Kertoimien α ja β arvot löytyvät **taulukosta 3**.

Taulukko 2. Kertoimen K arvot käytettäessä kevytsoraharkkoja ja yleislaastia

muurauskappale		yleislaasti
kevytsoraharkko	aukkoryhmä 1	0,65
	aukkoryhmä 2	0,55

Kevytsoraharkot kuuluvat yleensä aukkoryhmään 1.

Taulukko 3. Kertoimien α ja β arvot käytettäessä yleislaastia

	α	β
yleislaasti	0,65	0,25

Muurin puristuslujuuden **kaavaa (3)** ja **taulukoita 2 ja 3** voidaan käyttää edellyttäen, että:

- muurin yksityiskohtainen suunnittelu on tehty standardin EN 1996-1-1 luvun 8 mukaisesti
- kaikkia saumoja voidaan standardin EN 1996-1-1 kohtien 8.1.5(1) ja (3) vaatimusten mukaisesti pitää täysinä
- f_b on enintään 75 N/mm² kun muurauksessa käytetään yleislaastia
- f_b on enintään 50 N/mm² kun muurauksessa käytetään ohutsaumalaastia
- f_m on enintään 20 N/mm² sekä enintään $2f_b$ kun muurauksessa käytetään yleislaastia
- f_m on enintään 10 N/mm² kun muurauksessa käytetään kevytlaastia
- muurin paksuus on sama kuin muurauskappaleiden leveys tai pituus niin, ettei seinän koko pituudella tai osalla sitä ole pituussuuntaista laastisaumaa
- muurauskappaleiden lujuuden variaatiokerroin on enintään 25 %

Raudoitetulla muuratulla rakenteella, jonka jännitys jakauma on standardin EN 1996-1-1 **kuvan 6.4** mukainen, normalisoituna puristuslujuutena vaakasauman suunnassa voidaan käyttää puristetun osan normalisoitua puristuslujuutta koko muurauskappaleen vaakasauman suuntaisen normalisoidun puristuslujuuden sijasta. Tällöin pystysaumoissa on oltava laastia koko puristetulla osalla. Valmistaja voi tarvittaessa ilmoittaa edellä mainitun puristetun osan normalisoidun puristuslujuuden eli massan puristuslujuuden keskiarvon.

Aukkoryhmän 2 ja 3 muurauskappaleista muuratun rakosaumamuurin puristuslujuuden ominaisarvo määrittää kaavalla 3 edellyttäen, että yhtälöissä käytettävä muurauskappaleiden normalisoitu puristuslujuuden keskiarvo $f_{b,n}$ on määritelty standardin EN 772-1 mukaisesti rakosaumamuuratuilla koekappaleilla. Myös aukkoryhmien 1 ja 4 muurauskappaleista muuratun rakosaumamuurin puristuslujuuden ominaisarvo voidaan määrittää **kaavalla 3** edellyttäen, että:

- jokaisen laastikarheen leveys on vähintään 30 mm
- muuratun rakenteen paksuus on sama kuin muurauskappaleiden leveys tai pituus niin, ettei seinän koko pituudella tai osalla sitä ole seinän pituussuuntaista laastisaumaa

- $\frac{g}{t} \geq 0,4$, missä g on laastikarheiden kokonaisleveys ja t on seinän paksuus

- kerroin K valitaan taulukon x mukaan kun $\frac{g}{t} = 1,0$ ja K on puolet näistä arvoista,

kun $\frac{g}{t} \geq 0,4$, väliarvot interpoloidaan lineaarisesti

Muuratun rakenteen leikkauslujuus

Kun pystysaumoissa käytetään laastia, saadaan leikkauslujuuden ominaisarvo kaavasta:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \quad (4)$$

missä f_{vko} on ominaisleikkauslujuuden perusarvo. Lujuutena käytetään joka laastivalmistajan tai muurauskappaleen valmistajan testaamalla saatua arvoa. Ohjeellinen arvo on **taulukossa 4**.

Taulukko 4. Muurin ominaisleikkauslujuuden perusarvot f_{vko}

$f_{vko} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	
yleislaasti	
$f_m \geq 7,5 \text{ N/mm}^2$	$0,06f_b$

Muurin leikkauslujuuden ominaisarvon f_{vk} yläraja f_{vlt} lasketaan **kaavalla 5**, kun muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus $f_b \leq 5 \text{ N/mm}^2$.

$$f_{vlt} = 0,45 f_{bt} \sqrt{1 + \frac{\sigma_d}{f_{bt}}} \leq f_b - \sigma_d \quad (5)$$

jossa σ_d on tarkasteltavassa rakenneosassa leikkaustasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa vaikuttava (leikkaustarkastelua vastaavalla kuormitusyhdistelmällä laskettu) puristusjännityksen mitoitusarvo, joka perustuu rakenneosan puristetulla osalla olevaan keskimääräiseen pystyjännitykseen. Muurauskappaleen vetolujuus f_{bt} saadaan kaavasta:

$$f_{bt} = 0,15 f_b c_t \quad (6)$$

missä c_t on muurauskappaleen kannasten ja seinämien yhteenlasketun paksuuden suhde kokonaisleveyteen. Arvo on valmistajan ilmoittama tai se valitaan aukkoryhmän minimiarvon mukaan standardin EN 1996-1-1 **taulukosta 3.1**.

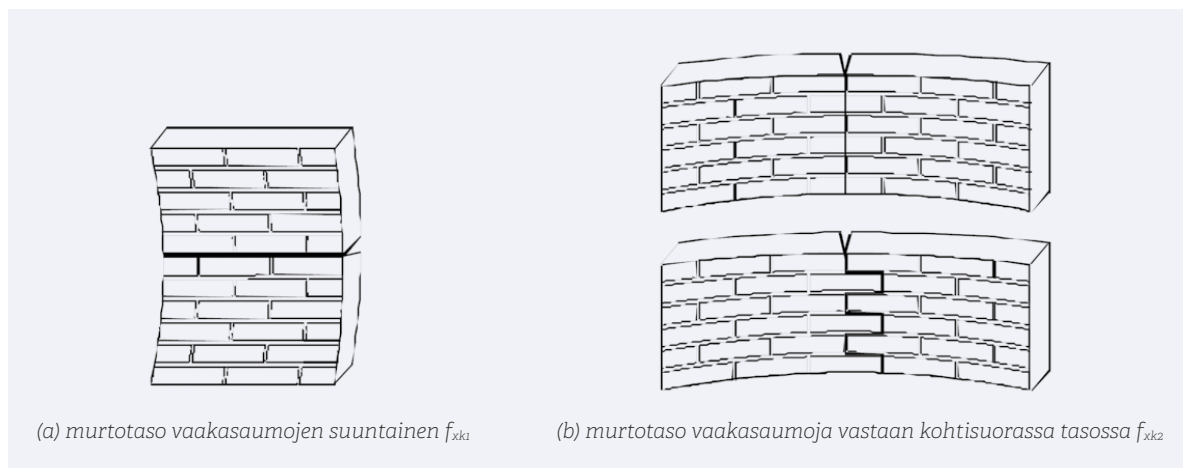
Muurin, jonka pystysaumoissa ei ole laastia, leikkauslujuuden ominaisarvon yläraja lasketaan puolestaan kaavalla 7, kun muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus $f_b \leq 5 \text{ N/mm}^2$.

$$f_{vlt} = 0,45 f_{bt} \sqrt{1 + \frac{\sigma_d}{f_{bt}}} \leq 0,7(f_b - \sigma_d) \quad (7)$$

Muuratun rakenteen taivutuslujuus

Kevytsoraharkkoille käytetään harkko- tai laastivalmistajan ilmoittamaa arvoa. **Taulukoissa 5 ja 6** olevia arvoja voidaan käyttää ohjeellisina. Muuratun rakenteen murtotasot on esitetty **kuvassa 2**.

Kuva 2. Murtotasot taivutuksessa



Taulukko 5. Taivutusvetolujuuden f_{xk1} arvot vaakasaumojen suuntaisessa murtotasossa

$f_{xk1} \text{ (N/mm}^2\text{)}$		
yleislaasti		
$f_m \leq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m = 7,5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 10 \text{ N/mm}^2$
—	0,26	0,26

- Väliarvot voidaan interpoloida

Taulukko 6. Taivutusvetolujuuden f_{xk2} arvot vaakasaumojen vastaan kohtisuorassa murtotasossa

$f_{xk2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$		
yleislaasti		
$f_m \leq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m = 7,5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 10 \text{ N/mm}^2$
—	$0,1f_b$	$0,1f_b$

- Väliarvot voidaan interpoloida
- Reiällisten harkkojen taivutusvetolujuutta laskettaessa muurauskappaleen normalisoituna puristuslujuutena f_b voidaan käyttää myös puristetun osan normalisoitua puristuslujuutta eli massan puristuslujuuden keskiarvoa
- Jos pystysaumoissa ei käytetä laastia, kerrotaan taulukossa esitetyt arvot pienennyskerroimella 0,7

Raudoituksen tartuntalujuus

Suomessa käytettävät tartuntalujuuden ominaisarvot laastiin sijoitetuille betoniteräksille on esitetty **taulukossa 7**.

Taulukko 7. Muurauslaastissa olevan raudoituksen tartuntalujuuden ominaisarvo f_{bok}

laasti	M2-M7	M7,5-M20
f_{bok} teräksisille harjatangoille (A500HW, B500K, B500B, B500C1) ja ruostumattomille harjatangoille (B600KX) (N/mm ²)	1,8	2,7

3.3.5 Kimmokerroin

Kimmokerroin lasketaan kaavalla:

$$E = K_E f_k \quad (8)$$

Kimmokertoimen laskentaa varten on standardin EN 1996-1-1 kansallisessa liitteessä esitetty kertoimelle K_E kaksi arvoa. Arvoa $K_E = 700$ käytetään eurokoodin liitteessä G tarvittavan kimmokertoimen laskentaan. Tämä kerroin sisältää viruman vaikutuksen. Suurempaa arvoa $K_E = 1400$ käytetään lyhytaikaisen sekanttikimmokertoimen laskentaan.

3.4 Maanpaineseinän mitoitus

Maanpaine määritetään standardin EN1997-1 mukaan. Maanpaineena käytetään aktiivista maanpainetta. Aktiivipainekerroin K_a yksinkertaistetussa mitoituksessa lasketaan **yhtälöllä 9**, kun täyttö on tehty kitkamaalajeilla. Yhtälö on yksinkertaistettu standardin EN1997-1 liitteen C mukaisesta kaavasta olettamalla täytön yläpinta vaakasuoraksi ja seinän ja täytön välinen leikkauskestävyyskulma δ ("seinäkitkakulma") nolllaksi.

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \quad (8)$$

Käytännön suunnittelussa voidaan kuitenkin kitkamaatäytölle käyttää tilavuuspainona $\gamma=18$ kN/m³ ja leikkauskestävyyskulmana $\phi'=32^\circ$. Tällöin aktiivipainekertoimeksi saadaan $K_a=0,31$. Vaakaraudoitetussa seinässä maanpaineen huippuarvot tasoittuvat ja laskennassa voidaan kolmiokuorman sijasta käyttää tasanjakautunutta kuormaa. Näillä oletuksilla täytön aiheuttama maanpaineen ominaisarvo saadaan **yhtälöstä 10** ja täytön päällä olevan pintakuorman aiheuttama maanpaineen ominaisarvo saadaan **yhtälöstä 11**.

$$p_{a,mp} = 2,8 \frac{kN}{m^3} * z_{mp} \quad (10)$$

$$p_{a,pk} = 0,31 q_k \quad (11)$$

Kaavoissa z_{mp} on täyttökorkeus ja q_k on täytön päällä olevan pintakuorman ominaisarvo. Kellarin seinissä eristeharkot jatkuvat maanpinnan alapuolelle noin kaksi varvia. Tasanjakautuneen kuorman katsotaan alkavan vasta eristeharkkojen alapuolelta. Täyttökorkeus lasketaan kuitenkin maanpinnasta. Tämän jälkeen lasketaan maanpaineen suurin mitoituskuorma käyttäen kuormitusyhdistelmien osavarmuuskertoimia. Suurin mitoituskuorma on joko pelkän maanpaineen kuormitus tai maanpaineen ja pintakuorman aiheuttaman maanpaineen yhdistelmä.

Muuratun rakenteen taivutuslujuutta f_{xkl} ei käytetä hyväksi vaakasuoran maanpaineen kuormittamaa seinää mitoittaessa.

Puristuslujuutena käytetään massan puristuslujuuden keskiarvoa.

Vaakaraudoitetuilla maanpaineseinillä suositellaan, että seinän jännemitan ja seinän paksuuden suhde on pienempi kuin 25.

3.4.1 Taivutusmitoitus

Taivutusmitoitus aloitetaan määrittämällä mitoittava momentti. Tämän jälkeen seinän vaatima vetoraudoituksen pinta-ala voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$\mu = \frac{M_d}{b d^2 f_d} \quad (12)$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \quad (13)$$

$$z = \min \left\{ d \left(1 - \frac{\beta}{2} \right), 0,95d \right\} \quad (14)$$

$$A_{s,vaad} = \frac{M_d}{z f_{yd}} \quad (15)$$

$$A_{s,min} = \frac{0,0003bd}{2} \quad (16)$$

missä:

μ	on suhteellinen momentti. Suhteellinen momentti ei saa ylittää yläraja-arvoa μ_{amx} . Arvot löytyvät taulukosta 8.
M_d	on laskentakuormien aiheuttama mitoitusmomentti
b	on poikkileikkauksen leveys
d	on poikkileikkauksen tehollinen korkeus
f_d	on puristusjännityksen suuntainen muurin puristuslujuuden mitoitusarvo
β	on puristuspinnan suhteellinen korkeus
z	on sisäinen momenttivarsi
$A_{s,vaad}$	on vaadittava vetoraidoituksen pinta-ala
f_{yd}	on teräksen lujuuden mitoitusarvo
$A_{s,min}$	on minimiteräsmäärä

Suhteellisen momentin yläraja-arvo riippuu teräksen lujuudesta, kevytsoraharkon runkoaineen tiheydestä sekä aukkoryhmästä. Suomessa käytettävien teräslujuuksien suhteellisen momentin yläraja-arvot on esitetty **taulukossa 8**.

Taulukko 8. Suhteellisen momentin alaraja-arvot μ_{max}

Teräksen lujuus	$f_{yk}=500 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk}=600 \text{ N/mm}^2$
Aukkoryhmä 1	$\mu_{amx}=0,300$	$\mu_{amx}=0,300$
Aukkoryhmä 2	$\mu_{amx}=0,292$	$\mu_{amx}=0,269$

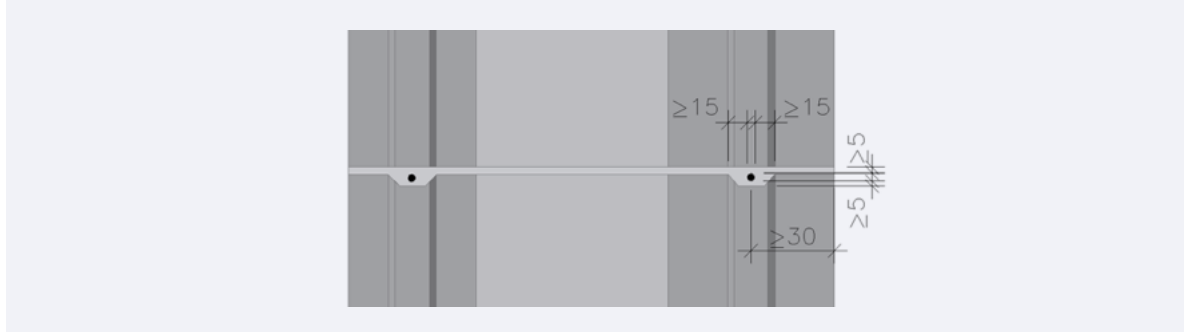
Seinän vaakasaumoissa raudoituksen kokonaispinta-alan on oltava vähintään 0,03 % seinän bruttopoikkipinta-alasta eli 0,15 % kummassakin pinnassa.

Standardissa EN 1996-1-1 on esitetty seuraavat ehdot raudoituksen tankokoon valintaan:

- Raudoitusteräksen enimmäiskoon tulee olla sellainen, että se mahdollistaa kunnollisen laasti- tai betonipeitteen
- Raudoitustankojen vähimmäispaksuuden tulee olla 5 mm
- Raudoitusteräksen enimmäiskoon tulee olla sellainen, että standardin EN 1996-1-1 kohdan 8.2.5 mukaisia ankkurointijännityksiä ei ylitetä, ja että kohdan 8.2.2 mukainen raudoituksen vähimmäispeitevaatimus täyttyy

Jos rakenteeseen kohdistuu kloridirasitusta, tulee käyttää ruostumatonta raudoitusta. Normaalissa olosuhteissa käytetään perinteistä suojaamatonta betoniterästä. Suojaetäisyyksien tulee täyttää **kuvan 3** vaatimukset.

Kuva 3. Raudoituksen sijoittaminen harkkomuurauksessa



3.4.2 Leikkausmitoitus

Leikkausraudoittamattoman maanpaineseinän leikkauskestävyys ja mitoittava leikkausvoima lasketaan d:n etäisyydellä tuen reunasta. Mitoituksessa tarkastetaan, että seinän leikkauskestävyys on suurempi kuin mitoittava leikkausvoima. Leikkauskestävyys saadaan laskettua kaavalla:

$$V_{Rd} = \beta_1 f_{xd2} b d \quad (17)$$

missä:

β_1	on pienennyskerroin (pysty- ja vaakasaumoissa laastia); umpiharkot $\beta_1=1$, reikäharkot $\beta_1=0,4$
f_{xd2}	on muurin taivutuslujuuden mitoitusarvo vaakasaumojen vastaan kohtisuorassa murtotasossa
b	on palkin pienin leveys tehollisen korkeuden osalla
d	on palkin tehollinen korkeus

3.4.3 Vetoterästen ankkurointi

Raudoitustankojen ankkurointia nurkissa ei yleensä tarvitse erikseen tarkastaa kun niiden jatkospituus on vähintään 900 mm.

Raudoitustangoilla tulee olla riittävä ankkurointipituus niin, että tangoissa vaikuttavat sisäiset voimat siirtyvät laastiin, ja että seinän pituussuuntaista halkeilua tai lohkeilua ei esiinny. Ankkurointi voidaan tehdä suorana ankkurointina sekä koukun, taivutuksen tai lenkin avulla. Oletettaessa tartuntajännitys vakioksi, saadaan vaadittu suoran tangon ankkurointipituus täydelle vetovoimalle kaavalla:

$$l_b = \frac{\Phi f_{yd}}{4 f_{bod}} \quad (18)$$

missä:

Φ	on raudoitustangon tehollinen halkaisija
f_{yd}	on teräksen lujuuden mitoitusarvo
f_{bod}	on ankkurointilujuuden mitoitusarvo

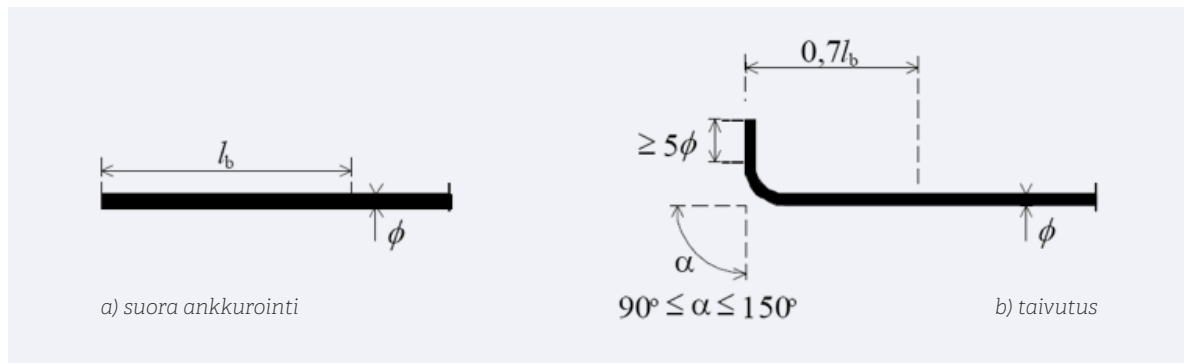
Taivutukseen (ks. **kuva 4**) päättyvien vedettyjen tankojen ankkurointipituus voidaan pienentää arvoon $0,7l_b$.

Käytettäessä suurempaa rauditus pinta-alaa kuin laskemien mukaan vaaditaan, voidaan ankkurointipituutta vastaavasti pienentää pinta-alojen suhteessa. Vedetyn tangon ankkurointipituuden tulee kuitenkin olla vähintään:

$$l_b = \max \begin{cases} 0,3L_b \\ 10\phi \\ 100\text{mm} \end{cases} \quad (19)$$

Raudituksen ankkurointia tuelle ei yleensä tarvitse tarkistaa, jos seinän kumpaankin pintaan sijoitetaan sama rauditus. Tällöin ulkonurkkaan syntyvän tukimomentin takia sisäpinnan teräksessä ei ole merkittävää vetoa.

Kuva 4. Ankkuroinnin yksityiskohtia



Taulukko 9. Ankkurointipituus l_b teräksen täydelle vetolujuudelle eri laastilujuuksilla

Teräslaatu	Tangon halkaisija (mm)	Ankkurointipituus l_b eri laastilujuuksilla (mm)	
		M2-M7 $f_{bok} = 1,8 \text{ N/mm}^2$	M7,5-M20 $f_{bok} = 2,78 \text{ N/mm}^2$
A500HW, B500K	6	650	430
	8	860	570
	10	1080	720
	12	1300	860
B600KX	5	650	430
	7	910	600
	9	1170	780

3.4.4 Vetoterästen jatkospituus

Jatkosten pituuden tulee olla riittävä mitoituskuormista laskettujen voimien siirtämiseen. Kahden raudoitustangon jatkospituus lasketaan **kaavan 18** ja seuraavan luettelon avulla käyttäen lähtökohtana pienempää jatkettavista tangoista.

Kahden raudoitustangon jatkospituus on:

- l_b vetotangoille kun vähemmän kuin 30 % poikkileikkauksessa olevista tangoista jatketaan ja jossa jatkettavien tankojen vapaa väli poikittaissuunnassa on vähintään 10 kertaa tangon halkaisija ja laastipeite on vähintään 5 kertaa tangon halkaisija.
- $1,4l_b$ kun joko vähintään 30 % poikkileikkauksessa olevista tangoista jatketaan tai kun jatkettavien tankojen vapaa väli poikittaissuunnassa on vähemmän kuin 10 kertaa tangon halkaisija tai laastipeite on pienempi kuin 5 kertaa tangon halkaisija.
- $2l_b$ kun sekä vähintään 30 % poikkileikkauksessa olevista tangoista jatketaan että jatkettavien tankojen vapaa väli on vähemmän kuin 10 kertaa tankojen halkaisija tai laastipeite on vähemmän kuin 5 kertaa tangon halkaisija.

Raudoitustankojen jatkoksia ei sijoiteta suurten jännitysten alueelle tai paikkoihin, joissa rakenteen mitat esimerkiksi seinän paksuus muuttuvat. Kahden vierekkäisen jatkoksen vapaaksi väliksi valitaan vähintään kaksi kertaa tangon halkaisija, kuitenkin vähintään 20 mm.

Käytettäessä esivalmistettuja saumaraudoitteita jatkospituus perustuu standardin EN 846-2 mukaisin testein määritettyyn ankkurointilujuuden ominaisarvoon.

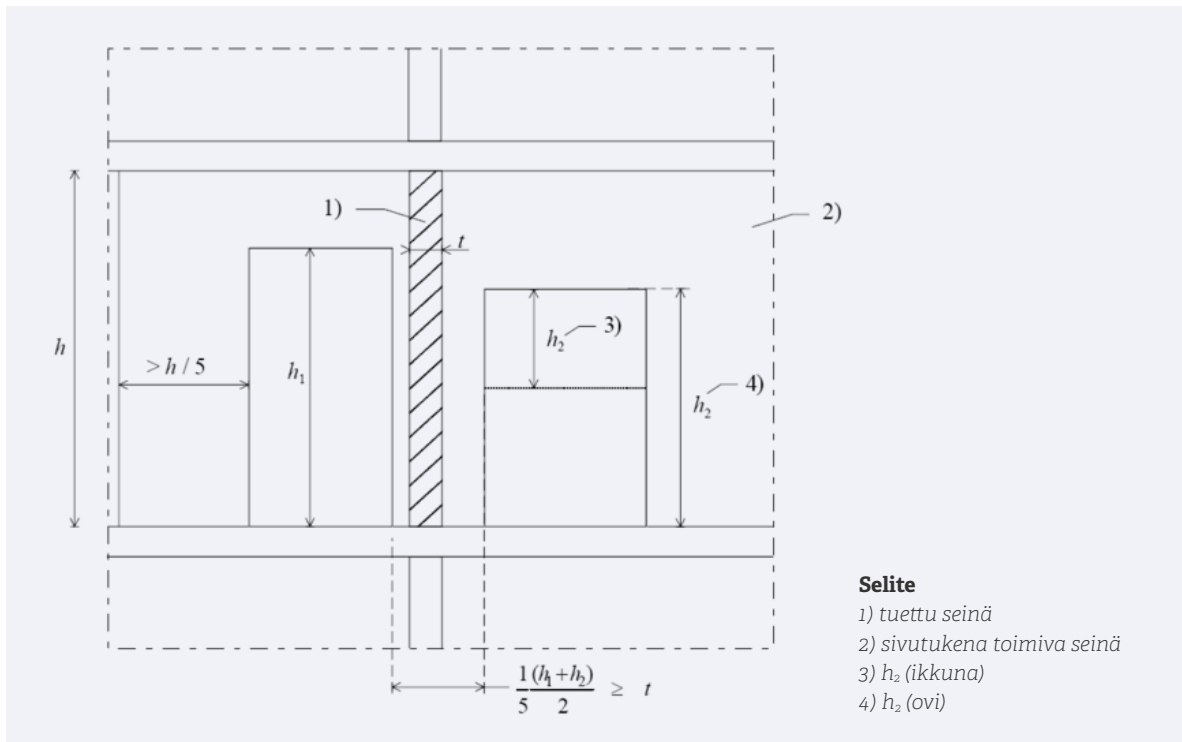
3.5 Muuratun seinän mitoitus puristukselle ja taivutukselle

Seinän mitoituksessa voimasuureet ulkoisesta kuormituksesta määritetään seinän päissä ja korkeuden puolessavälissä. Kuormat vaikuttavat tukipinnan keskellä. Normaaliveiman kuormittamien muurattujen seinien kestävyyttä laskettaessa voidaan olettaa, että muuratun rakenteen vetolujuus kohtisuoraan saumaa vasten on nolla.

3.5.1 Seinän tehollinen korkeus

Kantavan seinän tehollinen korkeus määritetään seinän todellisten tukiehtojen perusteella. Seinät voivat olla tuettuja ylä- ja alareunasta sekä pystyreunoistaan. Sivutukena toimivien seinien pituus on oltava vähintään $1/5$ vapaasta kerroskorkeudesta ja paksuus vähintään $0,3$ kertaa tuettavan seinän tehollinen paksuus. Jos sivutukena toimivassa seinässä on aukkoja, tulee tukiseinän olla kuvan 5 mukainen ja seinän on ulotuttava vähintään matkan $1/5$ kerroskorkeudesta jokaisen aukon taakse.

Kuva 5. Sivutukena toimivan aukollisen seinän vähimmäispituus



Nivelmallia käytettäessä seinän tehollinen korkeus h_{ef} on seinän korkeus. Poikittaisten seinien tukivaikutus voidaan ottaa huomioon. Seinän tehollinen korkeus lasketaan kaavalla:

$$h_{ef} = \rho_n h \quad (20)$$

missä h on seinän vapaa kerroskorkeus. Pienennyskerroin ρ_n , missä $n = 2, 3$ ja 4 , riippuu seinän tuentatavasta. Luku n kuvaa seinän kiinnitettyjen sivujen lukumäärää. Termiä $n = 2$ käytetään kun seinä on tuettu ylä- ja alareunasta. Termiä $n = 3$ seinä on tuettu myös yhdeltä pystysivulta ja termiä $n = 4$ seinä on tuettu kaikilta sivuilta. Termien ρ_3 ja ρ_4 arvot on esitetty graafisesti standardin EN 1996-1-1 liitteessä D. Ne voidaan myös laskea **kaavojen 21, 22, 23 ja 24** avulla. Termin ρ_2 arvo on 1,0 kun mitoituksessa käytetään rakennemallina päistään nivelöityä sauvaa.

Termin ρ_3 laskukaavat ovat:

$$\rho_3 = \frac{l}{1 + \left[\frac{\rho_2 h}{3l} \right]^2} \rho_2, \quad \text{kun } h \leq 3,5l \quad (21)$$

$$\rho_3 = \frac{1,5l}{h} \geq 0,3, \quad \text{kun } h > 3,5l \quad (22)$$

Termin ρ_4 laskukaavat ovat:

$$\rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 h}{l} \right]^2} \rho_2, \quad \text{kun } h \leq 1,15l \quad (23)$$

$$\rho_4 = \frac{0,5l}{h}, \quad \text{kun } h > 1,15l \quad (24)$$

kaavoissa l on seinän pituus.

3.5.2 Seinän tehollinen paksuus

Yksinkertaisen rakosaumamuuratun seinän tehollisena paksuutena t_{ef} käytetään seinän todellista paksuutta t . Kantavan seinän minimipaksuus on 100 mm.

Rakoseinän, jossa molemmat seinäpuoliskot on sidottu toisiinsa muuraussitein standardin EN 1996-1-1 kohdan 6.5 mukaisesti, tehollinen paksuus t_{ef} lasketaan eo. standardin kohdan 5.5.1.3 mukaan.

3.5.3 Seinän hoikkuus

Muuratun seinän hoikkuus saadaan jakamalla tehollinen korkeus h_{ef} tehollisella paksuudella t_{ef} . Kun seinän pääasiallisena kuormana on pystykuorma, rajoitetaan seinän hoikkuusluku arvoon 27.

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \quad (25)$$

3.5.4 Kuorman alkuepäkeskisyyys

Rakennustyön epätarkkuudet otetaan huomioon alkuepäkeskisyyden e_{init} avulla. Alkuepäkeskisyyys vaikuttaa koko seinän korkeudella ja se saadaan kaavasta:

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} \quad (26)$$

3.5.5 Seinän kestävyys

Murtorajatilassa muuratun seinän mitoituskuorman N_{Ed} tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin seinän normaalivoimakestävyyden mitoitusarvon N_{Rd} . Täytyy siis olla:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} \quad (27)$$

Yksinkertaisen seinän pystykuormien mitoituskestävyys yksikköpituutta kohden N_{Rd} , saadaan yhtälöstä:

$$N_{Rd} = \Phi t f_d \quad (28)$$

missä Φ on hoikkuuden ja kuormituksen epäkeskisyyden vaikutuksen huomioon ottava kestävyys pienennyskerroin tilanteen mukaan seinän ylä- tai alapäässä Φ_i tai seinän korkeuden puolivälissä Φ_m .

Seinän poikkileikkauksen ollessa pienempi kuin 0,1 m² muurin puristuslujuuden mitoitusarvo f_d kerrotaan luvulla:

$$(0,7 + 3A) \quad (29)$$

missä A on rakenneosan kuormitettu vaakasuora bruttopoikkipinta-ala neliömetreissä.

Pienennyskerroin Φ_i saadaan kaavasta:

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} \quad (30)$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{inü} \geq 0,05t \quad (31)$$

kaavoissa:

e_i	on seinän ylä- tai alapään mitoitus epäkeskisyys
M_{id}	on seinän ylä- tai alapäässä oleva taivutusmomentin mitoitusarvo, joka johtuu tuella olevan välipohjakuorman epäkeskisyydestä
N_{id}	on seinän ylä- tai alapään pystysuoran kuorman mitoitusarvo
e_{he}	on mahdollisten vaakakuormien, kuten tuulen, aiheuttama seinän ylä- tai alapään epäkeskisyys

Pienennyskerroin Φ_m voidaan määrittää **kuvassa 6** olevista käyristä tai laskea kaavalla:

$$\Phi_m = A_1 e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (32)$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} \quad (33)$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} \quad (34)$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} \quad (35)$$

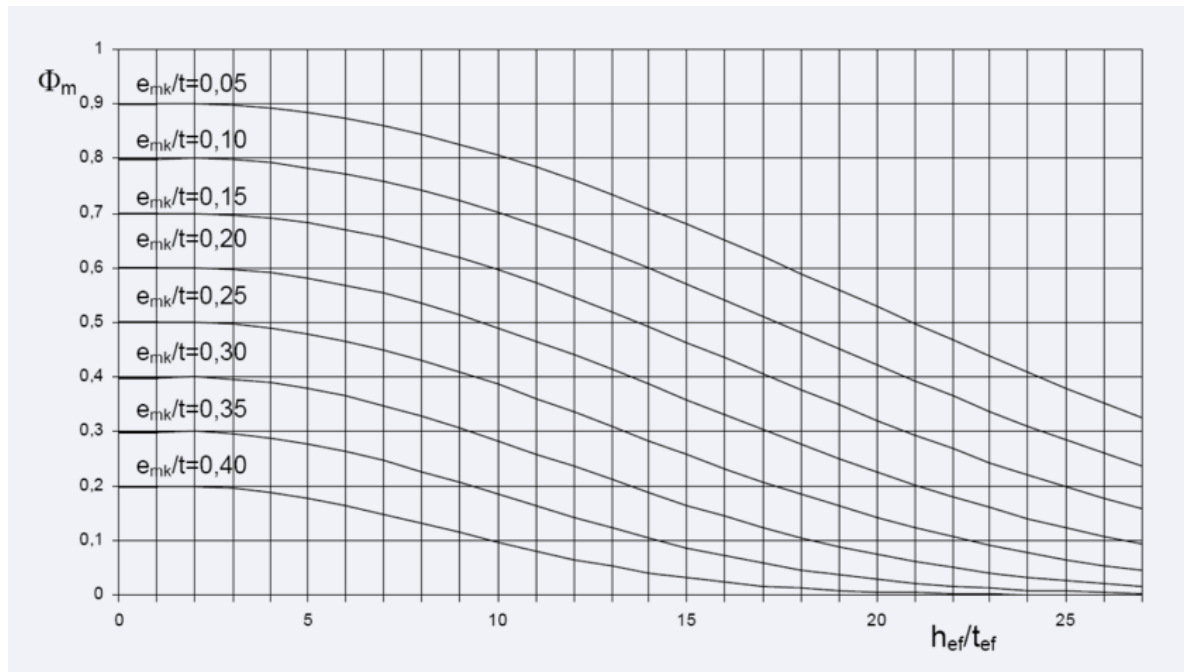
$$e_{mk} = e_m \geq 0,05t \quad (36)$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{inü} \quad (37)$$

missä:

e_{mk}	on epäkeskisyyys seinän korkeuden puolessavälissä
e_m	on kuormien aiheuttama epäkeskisyyys
M_{md}	on seinän korkeuden puolessavälissä oleva suurin mitoitusmomentti, joka aiheutuu seinän ylä- ja alapään momenteista, sisältäen pintaan kohdistuvien kuormien, kuten konsoloiden, aiheuttamat epäkeskisyydet
N_{md}	on pystysuora mitoituskuorma seinän korkeuden puolessavälissä, sisältäen seinän pintaan kohdistuvat pystykuormat, kuten konsolit
e_{hm}	on vaakakuormien, kuten tuulen, aiheuttama epäkeskisyyys seinän korkeuden puolessavälissä. Sen huomioon ottaminen riippuu käytettävästä kuormitusyhdistelmästä ja merkin tulee olla termin M_{md}/N_{md} kanssa johdonmukainen

Kuva 6. Pienennyskerroin Φ_m kevytsoraharkolle $E=700f_k$



Rakoseinän kumpikin seinäpuolisko mitoitetaan erikseen ja hoikkuutena käytetään standardin EN 1996-1-1 kohdan 5.5.1.3 mukaisen rakoseinän tehollisen paksuuden mukaan määräytyvää hoikkuutta.

Jos seinässä olevat roilot tai syvennykset eivät ole **kuvien 7 tai 8** mukaisia, seinän kantavuus tarkistetaan seuraavasti:

- Pystysuoran roilon tai syvennyksen kohdalla seinän katsotaan päättyvän tai seinän kestävyyttä laskettaessa käytetään seinän paksuutena roilon tai syvennyksen kohdalla olevaa paksuutta.
- Vaakasuorien tai vinojen roilojen vaikutus kestävyYTEEN tarkastetaan roilon kohdalla. Tällöin roilosta aiheutuva kuorman epäkeskisyyS otetaan huomioon.

Kuva 7. Seinään ilman laskelmia tehtävien pystysuorien railojen ja syvennysten sallitut mitat

seinän paksuus mm	seinän pintaan tehtävät railot		seinän sisään tehtävät railot	
	suurin syvyys mm	suurin leveys mm	jäljelle jäävän seinän vähimmäispaksuus mm	suurin leveys mm
85	30	100	55	300
115	30	125	75	300
175	30	150	115	300
225	30	175	150	300
> 300	30	200	200	300

HUOM. 1. Raudoitettuihin rakenteisiin sekä kuormakeskittymien (esimerkiksi palkkien tukipinnat) alapuolelle tehtävien sekä vaakakuormalle ristiinkantavina mitoitetuihin seiniin tehtävien railojen vaikutus seinän kantokykyyn on tarkistettava.

HUOM. 2. Väliarvot eri seinäpaksuuksille interpoloidaan.

HUOM. 3. Syvennyksen tai railon enimmäissyvyys sisältää syvennyistä tai railoa tehtäessä esiin tulevan aukon syvyyden.

HUOM. 4. Seiniin voidaan tehdä syvennyksiä sähköasennusrasioille ja LVI-asennuksia varten joiden korkeus x leveys on korkeintaan 300 mm x 120 mm.

HUOM. 5. Pystysuorien railojen, jotka eivät ulotu välipohjan yläpuolelle yli kolmannessa kerroskorkeudesta, syvyys voi olla enintään 80 mm ja leveys enintään 120 mm, jos seinän paksuus on vähintään 225 mm.

HUOM. 6. Viereisten railojen tai railon ja syvennyksen tai aukon välinen vaakasuora etäisyys on vähintään 225 mm.

HUOM. 7. Minkä tahansa viereisten railojen, riippumatta siitä ovatko ne seinän samalla puolella vai vastakkaisilla puolilla, tai railon ja aukon välinen vaakasuora etäisyys on vähintään kaksi kertaa leveämmän railon leveys.

HUOM. 8. Pystysuorien railojen ja syvennysten yhteenlaskettu leveys on enintään 0,13 kertaa seinän pituus.

Kuva 8. Seinään ilman laskelmia tehtävien vaakasuorien tai vinojen railojen sallitut mitat

seinän paksuus mm	suurin syvyys mm
	pituus ≤ 500 mm
85–115	0
116–175	30
176–225	30
226–300	30
yli 300	30

HUOM. 1. Raudoitettuihin rakenteisiin sekä kuormakeskittymien (esimerkiksi palkkien tukipinnat) alapuolelle tehtävien railojen vaikutus seinän kantokykyyn tarkistettava.

HUOM. 2. Railoa tehtäessä esiin tulevan aukon mitta lasketaan mukaan railon suurimpaan syvyyteen.

HUOM. 3. Seiniin voidaan tehdä syvennyksiä sähköasennusrasioille ja LVI-asennuksia varten joiden korkeus x leveys on korkeintaan 120 mm x 300 mm.

HUOM. 4. Railon tai syvennyksen pään ja aukon välinen vaakasuora etäisyys on vähintään 500 mm.

HUOM. 5. Minkä tahansa viereisten tietyn pituisten railojen tai syvennyksen vaakasuora etäisyys toisistaan riippumatta siitä ovatko ne seinän samalla puolella vai vastakkaisilla puolilla on vähintään kaksi kertaa pitemmän railon tai syvennyksen pituus.

HUOM. 6. Seinissä joiden paksuus on yli 175 mm, sallitaan railon syvyyttä lisättävän 10 mm, jos railo tehdään koneellisesti tarkasti vaaditun syvyisenä. Jos käytetään koneellista jyrsintää, voidaan vähintään 225 mm levyisen seinän vastakkaisille puolille tehdä 10 mm syvät railot.

HUOM. 7. Railon tai syvennyksen leveys on enintään puolet jäljelle jäävän seinäosan paksuudesta.

Yleisenä ohjeena voidaan otaksua pystykuormien kestävyys pienentyvän suhteessa pystysuorien railojen tai syvennysten aiheuttamaan poikkipinta-alan pienennykseen edellyttäen, että poikkipinta-alan pienennys ei ylitä 25 %.

3.6 Muuratun seinän mitoitus pääasiassa taivutukselle

Seinä mitoitetaan pääasiassa taivutukselle ja puristusjännitystä hyödynnetään taivutuskestävyyttä laskettaessa. Seinän mitoituksessa tulee ottaa huomioon kapillaarikatkojen vaikutus sekä tukiehdot ja jatkuvuus tuen kohdalla.

Mitoituskuormasta aiheutuvan tukireaktion seinän reunassa voidaan olettaa olevan tasaisesti jakautunut. Seinän vaakasuuntainen tuenta voidaan tehdä siteillä tai muurauksen limityksellä liittyviin rakenteisiin tai ala-, väli- tai yläpohjan avulla.

Kun vaakakuormitettu seinä on limitetty pystykuormitettuihin seiniin tai seinä kannattaa raudoitettua betonilaattaa, seinää voidaan pitää jatkuvana rakenteena. Kapillaarikatkon kohdalla seinä on kuitenkin vapaasti tuettu. Jos seinä on kiinnitetty pystyreunoilta sitein kantavaan seinään tai muuhun tukirakenteeseen, voidaan reuna olettaa osittain kiinnitetyksi edellyttäen, että siteiden lujuus on osoitettu riittäväksi. Seinän limityksen ohjeet löytyvät standardin EN 1996-1-1 kohdasta 8.1.4.

Kapillaarikatkon kohdalla seinä voidaan olettaa jäykästi kiinnitetyksi, jos normaalivoiman aiheuttama puristusjännityksen mitoitusarvo on suurempi kuin vaakavoimista aiheutuva taivutusvetojännityksen mitoitusarvo.

Rakoseinän voidaan olettaa olevan jatkuva rakenne, vaikka vain toinen rakoseinän puolisko on limitetty tuella, jos rakoseinän siteet ovat standardin EN 1996-1-1 kohdan 6.3.3 mukaisia. Seinästä tuelle siteiden välityksellä siirtyvä kuorma voi siirtyä toiselle seinäpuoliskolle edellyttäen, että puoliskot on riittävän hyvin liitetty toisiinsa (ks. EN 1996-1-1 kohta 6.3.3) erityisesti seinän pystyreunoilla. Kaikissa muissa tapauksissa voidaan olettaa vain osittainen kiinnitysaste ja osittainen jatkuvuus.

Seinälle ei tarvitse tehdä käyttörajatilatarkastelua jos se täyttää standardin EN 1996-1-1 liitteessä F esitetyt ehdot. Liitteessä esitetyt kuvaajat rajoittavat seinän kokoa tuentatavasta riippuen. Seinässä olevaa liikuntasaumaa pidetään seinän vapaana reunana, jonka yli leikkausvoima tai taivutusmomentti ei siirry.

Seinän minimipaksuus on 100 mm.

3.6.1 Seinän kestävyys

Murtorajatilassa seinän taivutusmomentin mitoitusarvon M_{Ed} tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin seinän momenttikestävyyden mitoitusarvon M_{Rd} . Täytyy siis olla:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (38)$$

Momenttikestävyyden mitoitusarvo yksikköpituutta kohden saadaan kaavoilla:

$$M_{Rd} = f_{xd} Z \quad (39)$$

$$M_{Rd} = f_{xd1,app} Z \quad (40)$$

missä Z on poikkileikkauksen kimmoinen taivutusvastus seinän yksikköpituutta kohden.

Muuratun rakenteen taivutuslujuuksien mitoitusarvojen ortogonaalisuhde μ otetaan huomioon suunnittelussa. Se saadaan laskettua jakamalla vaakasauman taivutuslujuuden mitoitusarvo f_{xd1} pystysauman taivutuslujuuden mitoitusarvolla f_{xd2} :

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} \quad (41)$$

tai kun rakenteessa on pystykuormaa, voidaan pystysuoraa jännitystä käyttää hyväksi käyttämällä korotettua taivutuslujuutta $f_{xd1,app}$:

$$\mu = \frac{f_{xd1,app}}{f_{xd2}} \quad (42)$$

$$f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d \quad (43)$$

$$\sigma_d \geq 0,2f_d \quad (44)$$

missä σ_d on seinän pystysuuntainen mitoitusjännitys.

Taivutusmomentit lasketaan myötöviivateorian mukaan. Kun seinä on tuettu ainoastaan alaja yläreunastaan, momentti voidaan laskea tavanomaisten suunnitteluperiaatteiden mukaisesti ottaen huomioon mahdollinen rakenteen jatkuvuus. Kolmelta tai neljältä reunalta tuetuille seinille momentin mitoitusarvo seinän pituusyksikköä kohden saadaan yhtälöistä:

$$M_{Ed1} = \alpha_1 W_{Ed} l^2 \quad \text{kun murtotaso on vaakasaumojen suuntainen eli lujuuden } f_{xd1} \text{ suunnassa} \quad (45)$$

tai

$$M_{Ed2} = \alpha_2 W_{Ed} l^2 \quad \text{kun murtotaso on kohtisuorassa vaakasaumoja vastaan eli lujuuden } f_{xd2} \text{ suunnassa} \quad (46)$$

Kaavoissa:

- l on seinän pituus
- W_{Ed} on vaakakuorman mitoitusarvo pinta-alayksikköä kohden
- α_1 ja α_2 ovat taivutusmomentin kertoimia, jotka riippuvat seinän reunojen kiinnitystapasta ja seinän korkeuden suhteesta leveyteen. Kun seinän paksuus on enintään 250 mm, kertoimet saadaan standardin EN 1996-1-1 liitteen E kuvaajista

Rakoseinään kohdistuva vaakasuoran kuorman mitoitusarvo pinta-alayksikköä kohden W_{Ed} voidaan jakaa seinäpuoliskoille edellyttäen, että seinäpuoliskojen väliset siteet tai muut kiinnikkeet kykenevät siirtämään rakoseinälle kohdistuvat kuormat. Jako seinäpuoliskoille voidaan tehdä joko niiden ljuuksien suhteessa käyttäen momenttikapasiteettia M_{Rd} tai niiden jäykkyyksien suhteessa. Käytettäessä jäykkyyksien suhdetta kumpikin seinäpuolisko mitoitetaan siihen kohdistuvalle momentille M_{Ed} .

Jos seinää heikentävien roilojen tai syvennysten mitat ovat standardin EN 1996-1-1 kohdan 8.6 mukaisia raja-arvoja suuremmat, heikennys otetaan huomioon määritettäessä seinän kestävyttä käyttämällä roilon tai syvennyksen kohdalla olevaa pienentynyttä seinäpaksuutta.

3.7 Jäykistävät seinät

Pientaloissa rakennuksen rungon jäykistämiseen riittävät yleensä normaalit rakenneratkaisut ilman erityistoimenpiteitä. Ulkoseinien rauditus jatketaan nurkissa poikittaisille seinille ja jäykistävät väliseinät sidotaan ulkoseiniin jokaiseen saumaan asennettavalla siteellä.

Seinän jäykkyytenä käytetään seinien kimmoista jäykkyyttä. Seinissä, joiden korkeus on yli kaksi kertaa niiden pituus, leikkausjäykkyyden vaikutusta kokonaisjäykkyyteen ei tarvitse ottaa huomioon.

Mikäli välipohjat voidaan olettaa jäykiksi levyiksi, vaakavoimat jaetaan jäykistäville seinille niiden jäykkyyksien suhteessa.

Jos jäykistävien seinien sijainti on epäsymmetrinen tai vaakavoima on epäsymmetrinen rakenteen jäykkyysspainopisteen suhteen, tulee rakennesysteemin kiertymisen vaikutus ottaa huomioon tarkasteltaessa yksittäisiä seiniä.

Jos vaakarakenne ei ole riittävän jäykkä toimiakseen levynä, vaakavoimien oletetaan kohdistuvan niihin jäykistäviin seiniin, joihin kyseiset välipohjien osat on suoraan kiinnitetty.

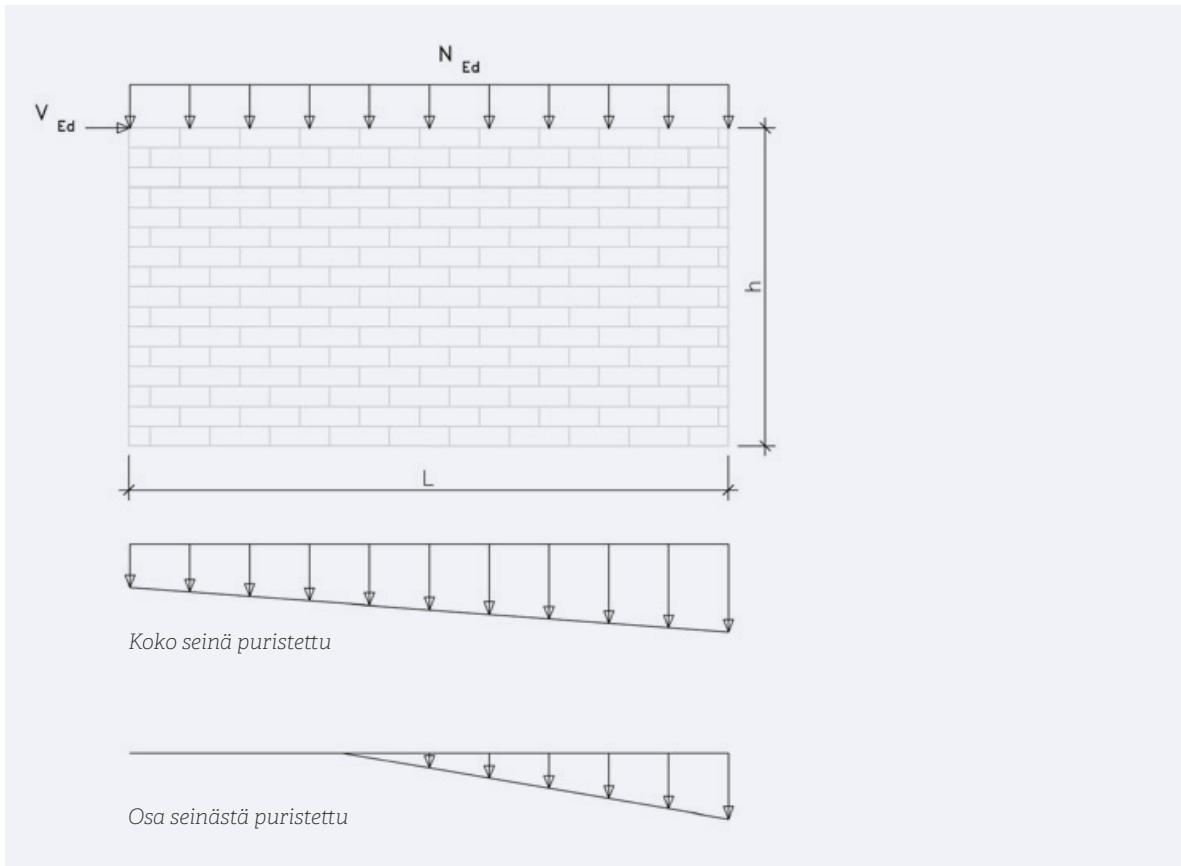
Suurinta jäykistävään seinään kohdistuvaa vaakasuoraa kuormaa voidaan pienentää enintään 15 % edellyttäen, että samansuuntaisten jäykistävien seinien kuormaa vastaavasti lisätään.

Vaakakuormien aiheuttamien leikkausjännitysten katsotaan jakautuvan tasaisesti seinän puristetulle osalle. Seinän puristetun osan pituus lasketaan olettamalla puristusjännitysten jakauma lineaariseksi. Mahdolliset aukot, roilot tai syvennykset on otettava laskennassa huomioon.

Leikkauskestävyyden tarkastelu tehdään jäykistävässä suunnassa käyttäen minimipystykuormaa. Leikkauskestävyys tarkastetaan seinän ylä- ja alareunoissa. Seinän leikkauskestävyyden mitoitusarvo saadaan seinän leikkauslujuuden mitoitusarvon, puristetun osan pituuden ja seinän paksuuden tulona.

Seinän puristetun osan puristuskestävyyden tarkastelu tehdään hoikemmassa suunnassa sekä minimi- että maksimipystykuormilla joihin lisätään vaakakuormista syntyvän taivutusmomentin aiheuttama lämpöpuristus. Seinän kuormitustapaukset on esitetty **kuvassa 9**.

Kuva 9. Jäykistävän seinän kuormitukset



3.8 Paikallinen puristuskestävyys

Muurattua seinää kuormittavan pystysuoran paikallisen voiman N_{Edc} tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin seinän pystysuora paikallisen kestävyuden mitoitusarvo N_{Rdc} . Tulee siis olla:

$$N_{Edc} \leq N_{Rdc} \quad (47)$$

Kun aukkoryhmän 1 kevytsoraharkoista rakennettuun standardin EN 1996-1-1 luvun 8 mukaisesti suunniteltuun tai muuhun kuin rakosaumamuurattuun seinään kohdistuu paikallinen kuorma, seinän pystysuoran paikallisen kestävyuden mitoitusarvo saadaan yhtälöstä:

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d \quad (48)$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c} \right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}} \right) \quad (49)$$

$$1,0 \leq \beta \leq \min \begin{cases} 1,25 + \frac{a_1}{2h_c} \\ 1,5 \end{cases} \quad (50)$$

$$A_{ef} = l_{efm} t \quad (51)$$

$$\frac{A_b}{A_{ef}} \leq 0,45 \quad (52)$$

kaavoissa:

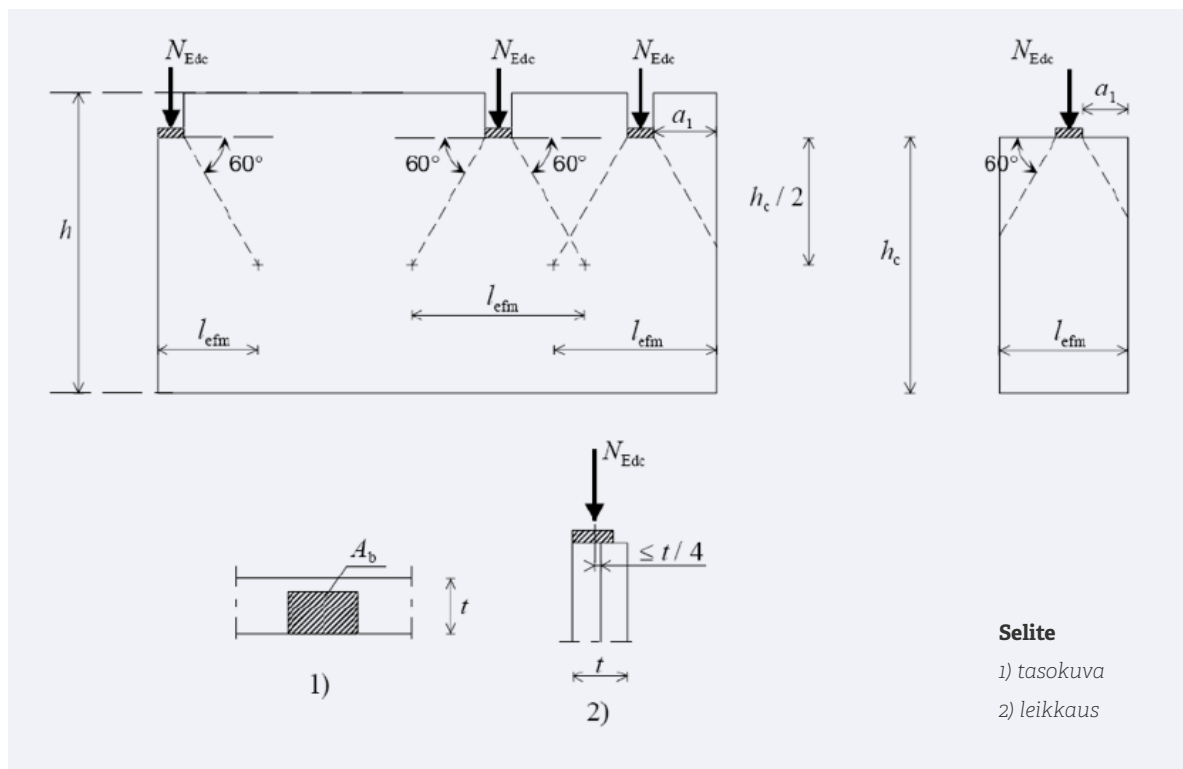
β	on korotuskerroin paikallisessa kuormituksessa
a_1	on seinän pään ja kuormituspinnan lähimmän reunan etäisyys (ks. kuva 10)
h_c	on seinän korkeus kuorman vaikutustasoon saakka
A_b	on kuormitusala
A_{ef}	on tukipinnan tehollinen pinta-ala
l_{efm}	on seinän tai pilasterin korkeuden puolessavälissä määritetty tuen tehollinen pituus (ks. kuva 10)

Seinän paksuudessa t otetaan huomioon 5 mm suuremmat sisäänvedot saumoissa.

Aukkoryhmien 2, 3 ja 4 kevytsoraharkkoille tai rakosaumamuurausta käytettäessä tarkastetaan, ettei puristusjännityksen mitoitusarvo paikallisen kuorman alapuolella ylitä muuratun rakenteen puristuslujuuden mitoitusarvoa f_d . Tällöin kertoimen β arvo on nolla.

Kuorman epäkeskisyyss seinän keskilinjasta mitattuna saa olla enintään $t/4$ (ks. **kuva 10**).

Kuva 10. Paikallisesti kuormitetut seinät



Kaikissa tapauksissa on tarkastettava seinän puristuskestävyys korkeuden puolivälissä paikallisen kuorman kohdalla, jolloin on otettava huomioon myös kaikki muut pystykuormat. Tarkastelu on erityisen tärkeää silloin kun paikalliset kuormat ovat niin lähellä toisiaan, että niiden teholliset pituudet limittyvät.

Paikallisen kuorman tukipinta tehdään aukkoryhmän 1 kevytsoraharkkoista tai muusta umpinaisesta materiaalista, jonka pituus on sama kuin vaadittava tukipinnan pituus lisättynä kummallakin puolelle mitalla, joka saadaan kun tukipinnan reunasta piirretään 60° kulmassa viiva tarkasteltavan kappaleen alareunaan. Tukipinnan ollessa rakenteen reunassa lisäpituus vaaditaan vain toiselle puolelle.

Kun paikallinen kuorma vaikuttaa rakenteeseen seinän levyisen riittävän jäykän jakopalkin välityksellä, jonka korkeus on yli 200 mm ja pituus yli kolme kertaa kuorman tukipituus seinän suunnassa, puristusjännityksen mitoitusarvo kuormitetun kohdan alla saan olla enintään

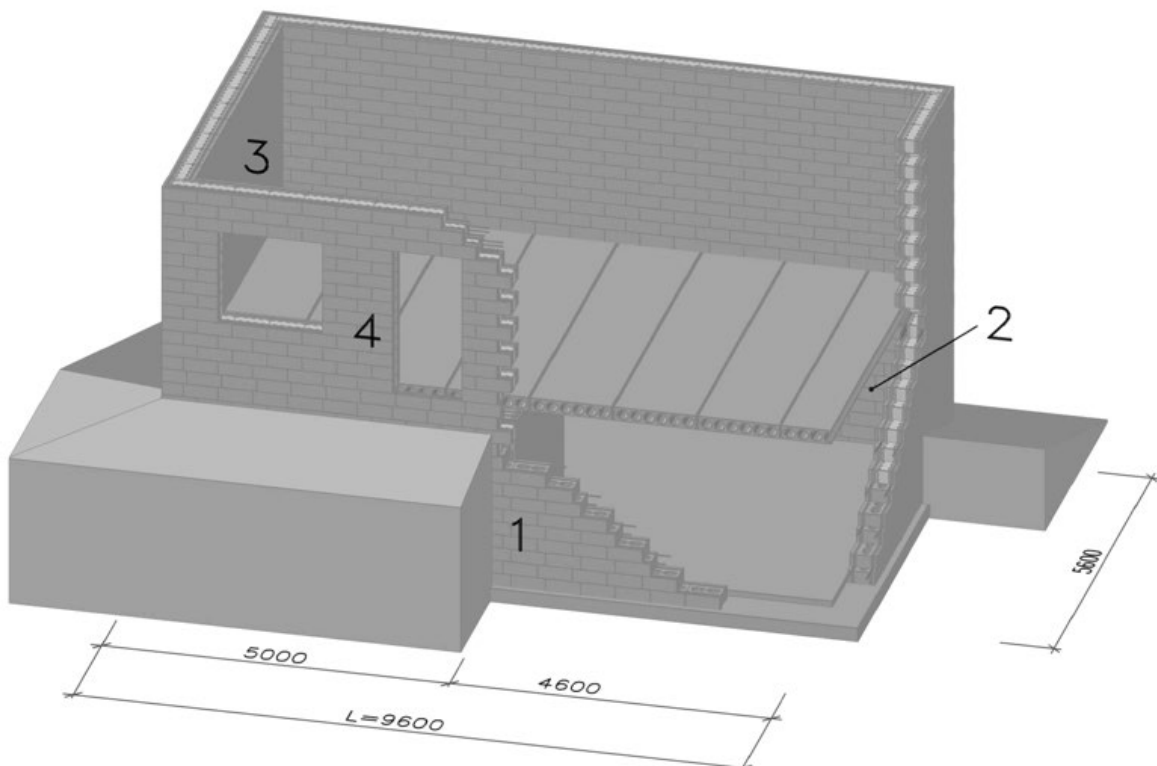
$$1,5f_d \quad (53)$$

3.9 Esimerkkitalon mitoitus

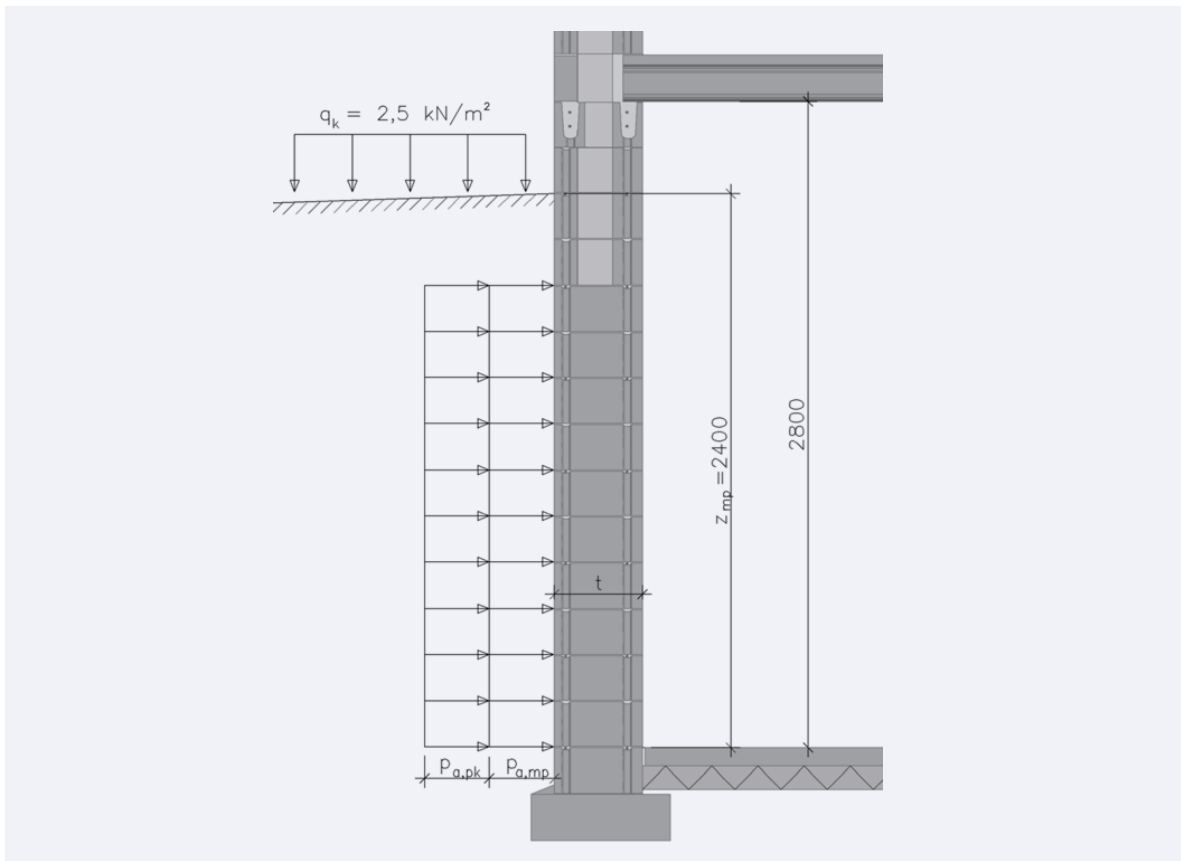
Seuraavassa on esitetty esimerkkilaskelmat kuvan mukaisen kaksikerroksisen harkkotalon mitoituksesta.

Laskelmat esitetään seuraavista rakenteista:

1. Kellarin maanpainesinä
2. Alakerran kantavan seinän mitoitus puristukselle ja taivutukselle
3. Yläkerran päätyseinän mitoitus tuulenpaineelle
4. Yläkerran seinän mitoitus aukkojen kohdalla



3.9.1 Kellarin maanpaineseinä



Kevytsoraharkko RUH380, aukkoryhmä 1, kategoria 1

Harkkolaasti M100/500, lujuusluokka M10

Raudoitusteräs A500HW

Tarkastellaan metrin levyistä seinän kaistaa.

Pystysaumoissa on laastia.

Maatäytön korkeus.

$$z_{mp} = 2400 \text{ mm}$$

Pintakuormana kevyiden ajoneuvojen aiheuttama pintakuorma.

$$q_k = 2,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Maanpaineen mitoitusarvot.

$$p_{a,mp} = 2,8 \text{ kN} / \text{m}^3 * z_{mp} = 2,8 \text{ kN} / \text{m}^3 * 2,4 \text{ m} = 6,72 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_{a,pk} = 0,31 q_k = 0,31 * 2,5 \text{ kN} / \text{m}^2 = 0,775 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_{a,mp,d} = 1,35 K_{FI} p_{a,mp} = 1,35 * 1,0 * 6,72 \text{ kN} / \text{m}^2 = 9,072 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_{a,pk,d} = 1,15 K_{FI} p_{a,mp} + 1,5 K_{FI} p_{a,pk} = 1,15 * 1,0 * 6,72 \text{ kN} / \text{m}^2 + 1,5 * 1,0 * 0,775 \text{ kN} / \text{m}^2 = 8,891 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$p_{Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_{a,mp,d} \\ p_{a,pk,d} \end{array} \right\} = 9,072 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Tarkasteltavan seinän jänneväli.

$$L_{ef} = 5000mm$$

Momentin ja leikkausvoiman mitoitusarvot.

$$M_{Ed} = 26,351kNm$$

$$V_{Ed} = 24,510kN$$

Seinän jännemitan raja-arvo.

$$\frac{L_{ef}}{t} = \frac{5000mm}{380mm} = 13,158 < 25$$

OK, käyttörajatilatarkastelua ei tarvitse tehdä.

Harkon mittatiedot.

$$t = 380mm$$

$$d' = 50mm$$

Osavarmuusluvut.

$$\gamma_{Mm} = 1,8$$

$$\gamma_{Ms} = 1,15$$

$$\gamma_{Ma} = 1,8$$

Muurin puristuslujuuden ominais- ja mitoitusarvo.

$$f_b = 3,5N/mm^2$$

$$f_m = 10N/mm^2$$

$$f_{mred} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_m = 10N/mm^2 \\ 2f_b = 2 * 3,5N/mm^2 = 7,0N/mm^2 \\ 20N/mm^2 \end{array} \right\} = 7,0N/mm^2$$

$$K = 0,65$$

$$\alpha = 0,65$$

$$\beta = 0,25$$

$$f_k = K f_b^\alpha f_{mred}^\beta = 0,56 * 3,5^{0,65} N/mm^2 * 7,0^{0,25} N/mm^2 = 2,387 N/mm^2$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{Mm}} = \frac{2,387 N/mm^2}{1,8} = 1,326 N/mm^2$$

Raudoitusteräksen lujuuden mitoitusarvo.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{Ms}} = \frac{500 \text{ N/mm}^2}{1,15} = 434,783 \text{ N/mm}^2$$

Raudoituksen tartuntalujuuden ominais- ja mitoitusarvo.

$$f_{bok} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bod} = \frac{f_{bok}}{\gamma_{Ma}} = \frac{2,7 \text{ N/mm}^2}{1,8} = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

Muurin taivutusvetolujuuden ominais- ja mitoitusarvo vaakasaumoja vastaan olevassa murtotasossa.

$$f_{xk2} = 0,1 f_b = 0,1 * 3,5 \text{ N/mm}^2 = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_{Mm}} = \frac{0,35 \text{ N/mm}^2}{1,8} = 0,194 \text{ N/mm}^2$$

Lasketaan vaadittava teräsmäärä metrin matkalle.

$$d = t - d' = 380 \text{ mm} - 50 \text{ mm} = 330 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_d} = \frac{26,351 * 10^6 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} * (330 \text{ mm})^2 * 1,326 \text{ N/mm}^2} = 0,182$$

$$\mu_{\max} = 0,292 > \mu \quad \text{OK}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} = 1 - \sqrt{1 - 2 * 0,182} = 0,203$$

$$z = \min \left\{ d \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) = 330 \text{ mm} * \left(1 - \frac{0,203}{2} \right) = 296,488 \text{ mm} \right. \\ \left. 0,95d = 0,95 * 330 \text{ mm} = 313,5 \text{ mm} \right\} = 296,488 \text{ mm}$$

$$A_{s,vaad} = \frac{M_{Ed}}{z f_{yd}} = \frac{26,351 * 10^6 \text{ Nmm}}{296,488 \text{ mm} * 434,783 \text{ N/mm}^2} = 204,417 \text{ mm}^2 \quad \text{metrin matkalle. Valitaan T8}$$

jokaiseen saumaan.

$$A_s = 5 * 50,3 \text{ mm}^2 = 251,5 \text{ mm}^2 \quad \text{metrin matkalla}$$

Minimiteräsmäärä.

$$A_{s,\min} = \frac{0,0003bd}{2} = \frac{0,0003 * 1000 \text{ mm} * 330 \text{ mm}}{2} = 49,5 \text{ mm}^2 < A_s \quad \text{OK}$$

Tarkastetaan seinän leikkauskestävyys.

$$V_{Rd} = \beta_1 f_{xd2} b d = 0,4 * 0,194 \text{ N/mm}^2 * 1000 \text{ mm} * 330 \text{ mm} = 25,666 \text{ kN} > V_{Ed} \quad \text{OK}$$

Vetoterästen ankkurointi.

$$L_b = \frac{\phi_{yd}}{4 f_{bod}} = \frac{8 \text{ mm} * 434,783 \text{ N/mm}^2}{4 * 1,5 \text{ N/mm}^2} = 579,710 \text{ mm}$$

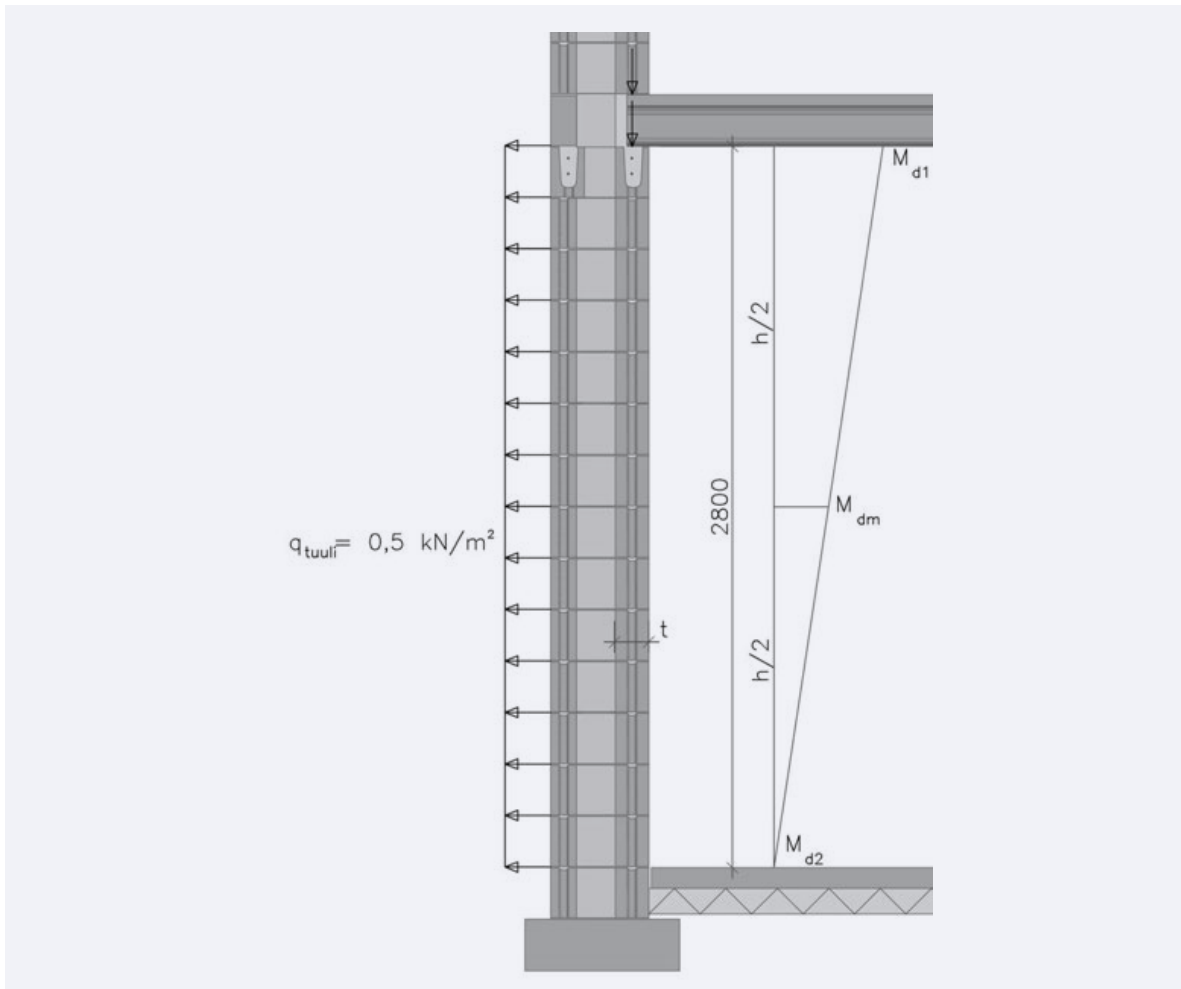
$$L_{bred} = \frac{A_{s,vaad}}{A_s} L_b = \frac{204,417 \text{ mm}^2}{251,5 \text{ mm}^2} * 579,710 \text{ mm} = 471,184 \text{ mm}$$

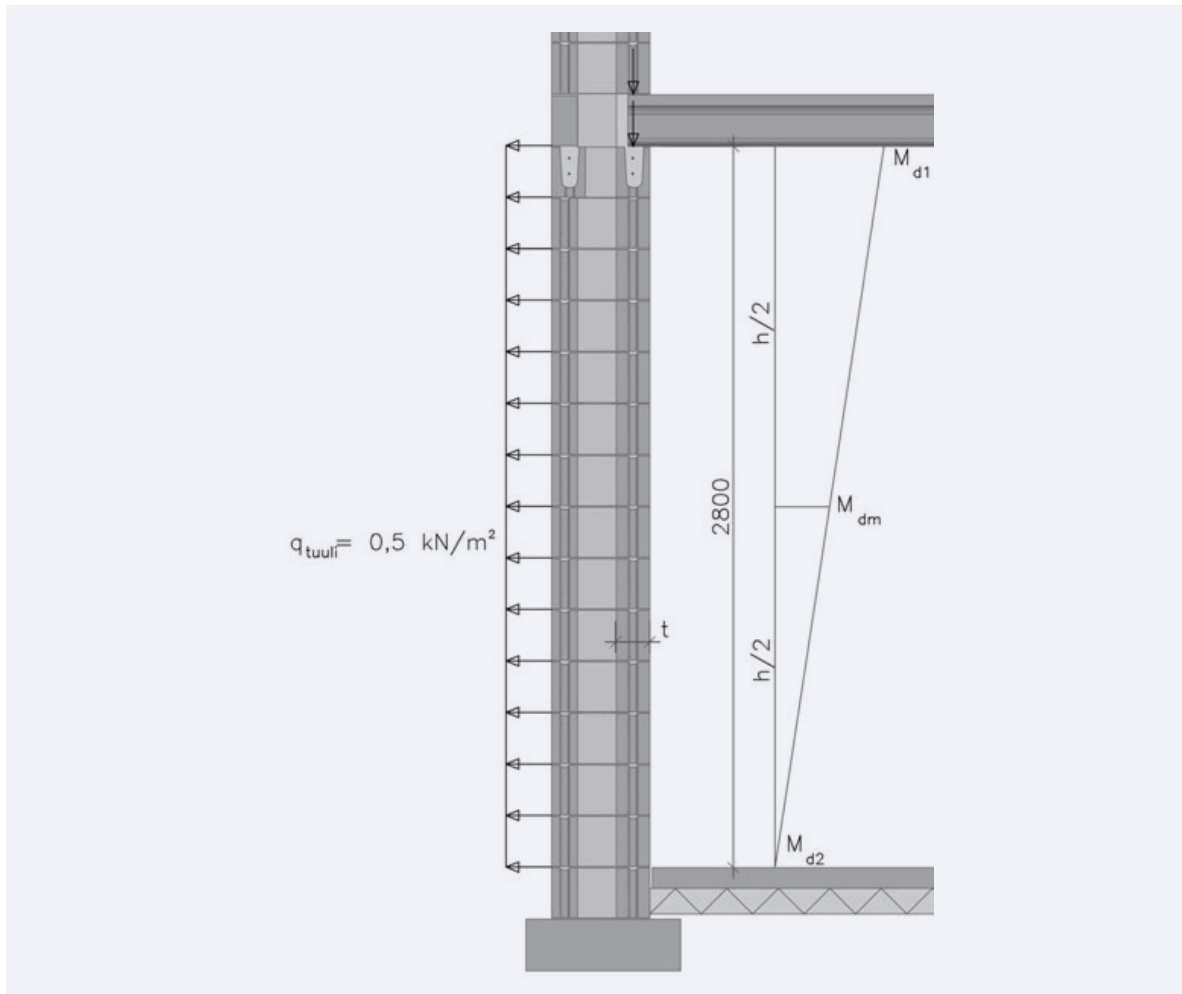
$$L_{bkentä} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,3 L_b = 0,3 * 579,710 \text{ mm} \\ 10 \phi = 10 * 8 \text{ mm} = 80 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = 173,913 \text{ mm} < L_{bred} \quad \text{OK}$$

Vetoterästen ankkurointi.

$$L_{jakos} = 1,4 L_{bred} = 1,4 * 471,184 \text{ mm} = 659,658 \text{ mm}$$

3.9.2 Alakerran kantavan seinän mitoitus puristukselle ja taivutukselle





Eristeharkko 380mm, aukkoryhmä 1, kategoria 1
Harkkolaasti M100/500, lujuusluokka M10
Mitoitetaan seinä päistään nivelöitynä sauvana.
Tarkastellaan 1 metrin levyistä seinän kaistaa.

Kuormat:

Yläpuolinen seinä ja kattorakenteet $n_{grakenne} = 7,0kN$

Välipohja $n_{gvp} = 10,0kN$

Seinän omapaino $n_{gomapaino} = 3,0kN$

Välipohjan hyötykuorma $n_{qhyöty} = 5,6kN$

Katon lumikuorma $n_{qlumi} = 8,0kN$

Seinän tuulikuorma $q_{tuuli} = 0,5kN / m$

Yhdistelykertoimet

$$\psi_{0,lumi} = 0,7$$

$$\psi_{0,hyöty} = 0,7$$

$$\psi_{0,tuuli} = 0,6$$

Välipohjan kuorman epäkeskisyys kun laatan tukipinta on 90 mm

$$e_{vp} = \frac{t}{2} - \frac{90mm}{2} = \frac{130mm}{2} - \frac{90mm}{2} = 20mm$$

Kuormien mitoitusarvot ja kuormitusyhdistelmät:

Tapaus 1:

Seinän omapaino

Yläpää

$$N_{d11} = 1,35K_{FI}(n_{grakenne} + n_{gvp}) = 1,35 * 1,0 * (7,0 + 10,0)kN = 22,95kN$$

$$M_{d11} = 1,35K_{FI}n_{gvp}e_{vp} = 1,35 * 1,0 * 10,0kN * 0,02m = 0,27kNm$$

Puoliväli

$$N_{dm1} = 1,35K_{FI}\left(\frac{n_{gomapaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp}\right) = 1,35 * 1,0 * \left(\frac{3,0}{2} + 7,0 + 10,0\right)kN = 24,975kN$$

$$M_{dm1} = \frac{M_{d11}}{2} = \frac{0,27kNm}{2} = 0,135kNm$$

Alapää

$$N_{d21} = 1,35K_{FI}(n_{gomapaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) = 1,35 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0)kN = 27,0kN$$

$$M_{d21} = 0kNm$$

Tapaus 2:

Hyötykuorma määräävä, lumi- ja tuulikuorma vaikuttavat

Yläpää

$$\begin{aligned} N_{d12} &= 1,15K_{FI}(n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}n_{qhyöty} + 1,5K_{FI}\psi_{0,lumi}n_{qlumi} \\ &= 1,15 * 1,0 * (7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 36,35kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d12} &= (1,15K_{FI}n_{gvp} + 1,5K_{FI}n_{qhyöty})e_{vp} \\ &= (1,15 * 1,0 * 10,0kN + 1,5 * 1,0 * 5,6kN) * 0,02m = 0,398kNm \end{aligned}$$

Puoliväli

$$N_{dm2} = 1,15K_{FI} \left(\frac{n_{gompaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp} \right) + 1,5K_{FI} n_{qhyöty} + 1,5K_{FI} \psi_{o,lumi} n_{qlumi}$$
$$= 1,15 * 1,0 * \left(\frac{3,0kN}{2} 7,0 + 10,0 \right) kN + 1,5 * 1,0 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 38,075kN$$

$$M_{dm2} = \frac{M_{d12}}{2} + 1,5K_{FI} \psi_{0,tuuli} \frac{q_{tuuli} h^2}{8}$$
$$= \frac{0,398kNm}{2} + 1,5 * 1,0 * 0,6 * \frac{0,5kN / m * (2,8m)^2}{8} = 0,64kNm$$

Alapää

$$N_{d22} = 1,15K_{FI} (n_{gompaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI} n_{qhyöty} + 1,5K_{FI} \psi_{o,lumi} n_{qlumi}$$
$$= 1,15 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0) kN + 1,5 * 1,0 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 39,8kN$$

$$M_{d22} = 0kNm$$

Tapaus 3:

Lumikuorma määräävä, hyöty- ja tuulikuorma vaikuttavat

Yläpää

$$N_{d13} = 1,15K_{FI} (n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI} n_{qlumi} + 1,5K_{FI} \psi_{o,hyöty} n_{qhyöty}$$
$$= 1,15 * 1,0 * (7,0 + 10,0) kN + 1,5 * 1,0 * 8,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 37,43kN$$

$$M_{d13} = (1,15K_{FI} n_{gvp} + 1,5K_{FI} \psi_{0,hyöty} n_{qhyöty}) e_{vp}$$
$$= (1,15 * 1,0 * 10,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN) * 0,02m = 0,348kNm$$

Puoliväli

$$N_{dm3} = 1,15K_{FI} \left(\frac{n_{gompaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp} \right) + 1,5K_{FI} n_{qumi} + 1,5K_{FI} \psi_{o,hyöty} n_{qhyöty}$$
$$= 1,15 * 1,0 * \left(\frac{3,0kN}{2} 7,0 + 10,0 \right) kN + 1,5 * 1,0 * 8,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 39,155kN$$

$$M_{dm3} = \frac{M_{d13}}{2} + 1,5K_{FI} \psi_{0,tuuli} \frac{q_{tuuli} h^2}{8}$$
$$= \frac{0,348kNm}{2} + 1,5 * 1,0 * 0,6 * \frac{0,5kN / m * (2,8m)^2}{8} = 0,615kNm$$

Alapää

$$\begin{aligned} N_{d23} &= 1,15K_{FI}(n_{gompaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}n_{qlumi} + 1,5K_{FI}\psi_{o,hyöty}n_{qhyöty} \\ &= 1,15 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 8,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 40,88kN \end{aligned}$$

$$M_{d23} = 0kNm$$

Tapaus 4:

Tuulikuorma määräävä, hyöty- ja lumikuorma vaikuttavat

Yläpää

$$\begin{aligned} N_{d14} &= 1,15K_{FI}(n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty} + 1,5K_{FI}\psi_{o,lumi}n_{qlumi} \\ &= 1,15 * 1,0 * (7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 33,83kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{d14} &= (1,15K_{FI}n_{gvp} + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty})e_{vp} \\ &= (1,15 * 1,0 * 10,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN) * 0,02m = 0,348kNm \end{aligned}$$

Puoliväli

$$\begin{aligned} N_{dm4} &= 1,15K_{FI}\left(\frac{n_{gompaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp}\right) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty} + 1,5K_{FI}\psi_{o,lumi}n_{qlumi} \\ &= 1,15 * 1,0 * \left(\frac{3,0kN}{2} * 7,0 + 10,0\right)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 35,555kN \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{dm4} &= \frac{M_{d14}}{2} + 1,5K_{FI}\frac{q_{tuuli}h^2}{8} \\ &= \frac{0,348kNm}{2} + 1,5 * 1,0 * \frac{0,5kN/m * (2,8m)^2}{8} = 0,909kNm \end{aligned}$$

Alapää

$$\begin{aligned} N_{d24} &= 1,15K_{FI}(n_{gompaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty} + 1,5K_{FI}\psi_{o,lumi}n_{qlumi} \\ &= 1,15 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 8,0kN = 37,28kN \end{aligned}$$

$$M_{d24} = 0kNm$$

Tapaus 5:

Tuulikuorma määräävä, hyötykuorma vaikuttaa, ei lumikuormaa

Yläpää

$$\begin{aligned} N_{d15} &= 1,15K_{FI}(n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty} \\ &= 1,15 * 1,0 * (7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 25,43kN \end{aligned}$$

$$M_{d15} = (1,15K_{FI}n_{gvp} + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty})e_{vp}$$

$$= (1,15 * 1,0 * 10,0kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN) * 0,02m = 0,348kNm$$

Puoliväli

$$N_{dm5} = 1,15K_{FI}\left(\frac{n_{gomapaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp}\right) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty}$$

$$= 1,15 * 1,0 * \left(\frac{3,0kN}{2} * 7,0 + 10,0\right)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 27,155kN$$

$$M_{dm5} = \frac{M_{d15}}{2} + 1,5K_{FI}\frac{q_{tuuli}h^2}{8}$$

$$= \frac{0,348kNm}{2} + 1,5 * 1,0 * \frac{0,5kN / m * (2,8m)^2}{8} = 0,909kNm$$

Alapää

$$N_{d25} = 1,15K_{FI}(n_{gomapaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) + 1,5K_{FI}\psi_{0,hyöty}n_{qhyöty}$$

$$= 1,15 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0)kN + 1,5 * 1,0 * 0,7 * 5,6kN = 28,88kN$$

$$M_{d25} = 0kNm$$

Tapaus 6:

Tuulikuorma määräävä, ei hyöty- eikä lumikuormaa

Yläpää

$$N_{d16} = 1,15K_{FI}(n_{grakenne} + n_{gvp}) = 1,15 * 1,0 * (7,0 + 10,0)kN = 19,55kN$$

$$M_{d16} = 1,15K_{FI}n_{gvp}e_{vp} = 1,15 * 1,0 * 10,0 * 0,02m = 0,23kNm$$

Puoliväli

$$N_{dm6} = 1,15K_{FI}\left(\frac{n_{gomapaino}}{2} + n_{grakenne} + n_{gvp}\right) = 1,15 * 1,0 * \left(\frac{3,0kN}{2} * 7,0 + 10,0\right)kN = 21,275kN$$

$$M_{dm6} = \frac{M_{d16}}{2} + 1,5K_{FI}\frac{q_{tuuli}h^2}{8}$$

$$= \frac{0,23kNm}{2} + 1,5 * 1,0 * \frac{0,5kN / m * (2,8m)^2}{8} = 0,85kNm$$

Alapää

$$N_{d26} = 1,15K_{FI}(n_{gomapaino} + n_{grakenne} + n_{gvp}) = 1,15 * 1,0 * (3,0 + 7,0 + 10,0)kN = 23,0kN$$

$$M_{d26} = 0kNm$$

Lasketaan tapaus 3.

Seinän mitoitus

Tarkasteltavan seinän korkeus.

$$h = 2800\text{mm}$$

Harkon ja laastisauman mittatiedot.

$$t = 130\text{mm}$$

$$g = 130\text{mm}$$

$$g_{\min} = 0,4t = 0,4 * 130\text{mm} = 52\text{mm} < g \quad \text{OK}$$

Muuratun rakenteen osavarmuusluku.

$$\gamma_{Mm} = 1,8$$

Muurin puristuslujuuden ominais- ja mitoitusarvo.

$$f_b = 4,0\text{N} / \text{mm}^2$$

$$f_m = 10\text{N} / \text{mm}^2$$

$$f_{mred} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_m = 10\text{N} / \text{mm}^2 \\ 2f_b = 2 * 4,0\text{N} / \text{mm}^2 = 8,0\text{N} / \text{mm}^2 \\ 20\text{N} / \text{mm}^2 \end{array} \right\} = 8,0\text{N} / \text{mm}^2$$

$$K = 0,65$$

$$\alpha = 0,65$$

$$\beta = 0,25$$

$$f_k = K f_b^\alpha f_{mred}^\beta = 0,65 * 4,0^{0,65} \text{N} / \text{mm}^2 * 8,0^{0,25} \text{N} / \text{mm}^2 = 2,692\text{N} / \text{mm}^2$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{Mm}} = \frac{2,692\text{N} / \text{mm}^2}{1,8} = 1,495\text{N} / \text{mm}^2$$

Seinän tehollinen korkeus ja leveys.

$$h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 * 2800\text{mm} = 2800\text{mm}$$

$$t_{ef} = t = 130\text{mm}$$

Seinän hoikkuus.

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2800mm}{130mm} = 21,538$$

Kuorman alkuepäkeskisyyys.

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2800mm}{450} = 6,222mm$$

Seinän yläpään mitoituskestävyys

Seinän yläpään mitoitus epäkeskisyyys.

$$e_{13} = \max \left\{ \begin{aligned} \frac{M_{d13}}{N_{d13}} + e_{init} &= \frac{0,348 * 10^6 Nmm}{37,43 * 10^3 N} + 6,222mm = 15,509mm \\ 0,05t &= 0,05 * 130mm = 6,5mm \end{aligned} \right\} = 15,509mm$$

Hoikkuuden ja epäkeskisyyden pienennyskerroin.

$$\Phi_{13} = 1 - 2 \frac{e_{13}}{t} = 1 - 2 * \frac{15,509mm}{130mm} = 0,761$$

Seinän yläpään normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo.

$$N_{Rd13} = \Phi_{13} f_d * 1000mm = 0,761 * 130 * 1,495 N / mm^2 * 1000mm = 148,016kN < N_{d13} \quad \text{OK}$$

Seinän mitoituskestävyys seinän korkeuden puolella välissä

Kuormien aiheuttama epäkeskisyyys.

$$e_{m3} = \max \left\{ \begin{aligned} \frac{M_{dm3}}{N_{dm3}} + e_{init} &= \frac{0,615 * 10^6 Nmm}{39,155 * 10^3 N} + 6,222mm = 21,924mm \\ 0,05t &= 0,05 * 130mm = 6,5mm \end{aligned} \right\} = 21,924mm$$

Seinän kimmokerroin.

$$K_E = 700$$

$$E = K_E f_k = 700 * 2,692 N / mm^2 = 1884,182 N / mm^2$$

Apusuureet pienennyskerroimen laskentaan.

$$\lambda_{m3} = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{2800mm}{130mm} * \sqrt{\frac{2,692 N / mm^2}{1884,182 N / mm^2}} = 0,814$$

$$u = \frac{\lambda_{m3} - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{m3}}{t_{ef}}} = \frac{0,814 - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{21,924mm}{130mm}} = 1,410$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{m3}}{t_{ef}} = 1 - 2 * \frac{21,924mm}{130mm} = 0,663$$

Hoikkuuden ja epäkeskisyyden pienennyskerroin.

$$\Phi_{m3} = A_1 e^{\frac{-u^2}{2}} = 0,663 * e^{\frac{-1,410^2}{2}} = 0,245$$

Seinän normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo seinän korkeuden puolella välissä.

$$N_{Rdm3} = \Phi_{m3} t f_d * 1000mm = 0,245 * 130mm * 1,495 N / mm^2 * 1000mm = 47,678kN < N_{dm3} \quad \text{OK}$$

Seinän alapään mitoituskestävyys

Seinän alapään mitoitus epäkeskisyyden pienennyskerroin.

$$e_{23} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{M_{d23}}{N_{d23}} + e_{init} = \frac{0Nmm}{40,88 * 10^3 N} + 6,222mm = 6,222mm \\ 0,05t = 0,05 * 130mm = 6,5mm \end{array} \right\} = 6,5mm$$

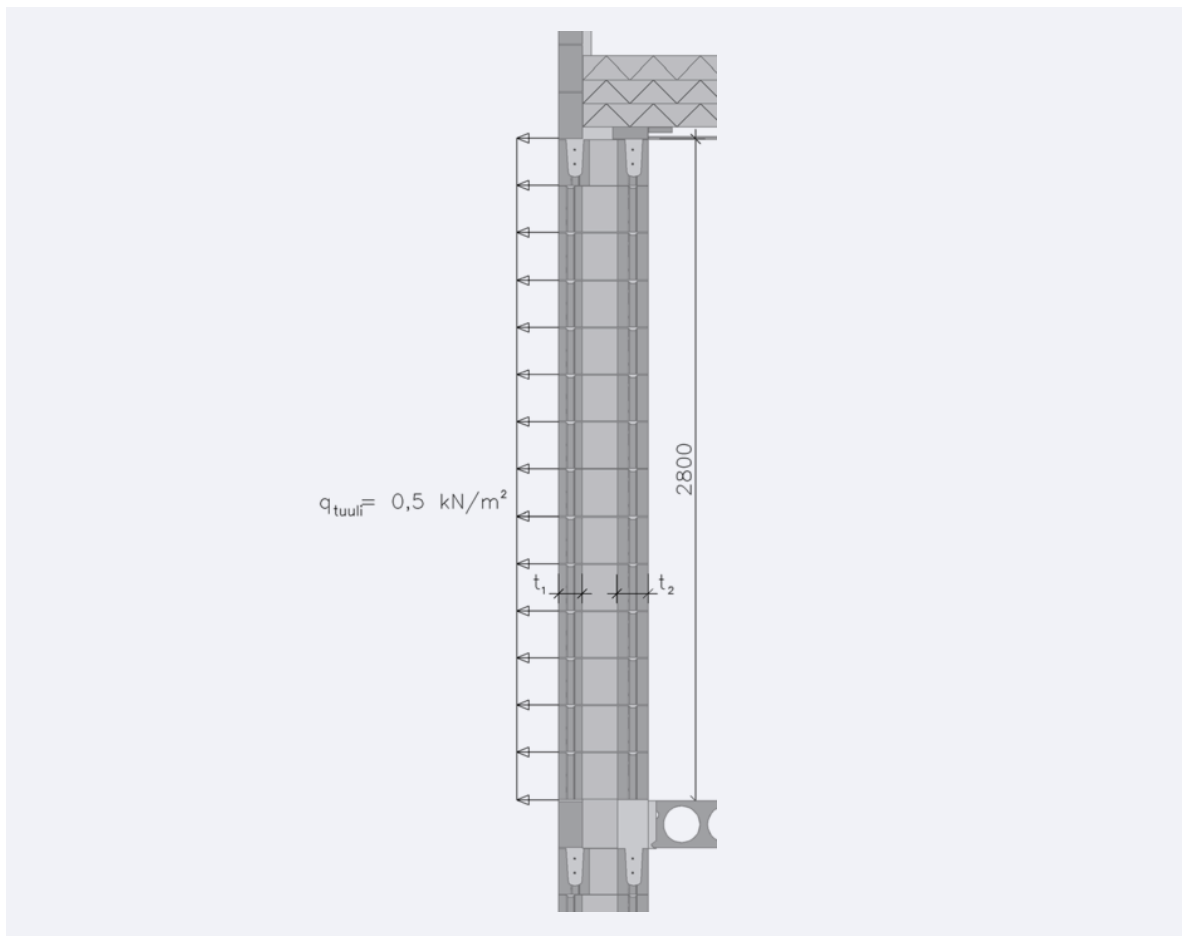
Hoikkuuden ja epäkeskisyyden pienennyskerroin.

$$\Phi_{23} = 1 - 2 \frac{e_{23}}{t} = 1 - 2 * \frac{6,5mm}{130mm} = 0,9$$

Seinän alapään normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo.

$$N_{Rd23} = \Phi_{23} t f_d * 1000mm = 0,9 * 130 * 1,495 N / mm^2 * 1000mm = 174,960kN < N_{d23} \quad \text{OK}$$

3.9.3 Yläkerran päätyseinän mitoitus tuulenpaineelle



Eristeharkko 380mm, aukkoryhmä 1, kategoria 1

Harkkolaasti M100/500, lujuusluokka M10

Tartuntalujuus eristeen ja harkon välillä on yli 10kN/m² eikä muuraussiteiden vähimmäismäärää tarvitse noudattaa kun seinää mitoitetaan tuulikuormalle.

Tarkastellaan metrin levyistä seinän kaistaa.

Alaindeksi 1 tarkoittaa ulkokuorta ja alaindeksi 2 tarkoittaa sisäkuorta.

Seinän tuulikuorma.

$$q_{tuuli} = 0,5 \text{ kN} / \text{m}$$

Tuulikuorman mitoitusarvo.

$$W_{Ed} = 1,5 K_{Fl} q_{tuuli} = 1,5 * 1,0 * 0,5 \text{ kN} / \text{m} = 0,75 \text{ kN} / \text{m}$$

Tarkasteltavan seinän pituus ja korkeus.

$$l = 5600 \text{ mm}$$

$$h = 2800 \text{ mm}$$

Harkon ulko- ja sisäkuoren paksuudet.

$$t_1 = 90mm$$

$$t_2 = 130mm$$

Harkot muurataan täydellä laastisaumalla.

Muuratun rakenteen osavarmuusluku.

$$\gamma_{Mm} = 1,8$$

Muurin puristuslujuuden ominaisarvo.

$$f_b = 4,0N/mm^2$$

Muurin taivutusvetolujuuksien ominais- ja mitoitusarvot.

$$f_{xk1} = 0,26N/mm^2$$

Pystysaumoissa ei ole laastia joten taivutusvetolujuuden arvo vaakasaumaa vastaan kohtisuorassa murtotasossa kerrotaan luvulla 0,7.

$$f_{xk2} = 0,7 * 0,1 f_b = 0,7 * 0,1 * 4,0N/mm^2 = 0,28N/mm^2$$

$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{\gamma_{Mm}} = \frac{0,26N/mm^2}{1,8} = 0,144N/mm^2$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_{Mm}} = \frac{0,28N/mm^2}{1,8} = 0,155N/mm^2$$

Taivutuslujuuksien mitoitusarvojen ortogonaalisuhde.

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} = \frac{0,144N/mm^2}{0,155N/mm^2} = 0,929$$

Taivutusmomenttien kertoimien määrittäminen.

$$\frac{h}{l} = \frac{2800mm}{5600mm} = 0,5$$

Standardin EN 1996-1-1 liite E, taulukko E. Seinä on tuettu nivelellisesti kaikilta sivuilta.

$$\alpha_2 = 0,019$$

$$\alpha_1 = \mu \alpha_2 = 0,929 * 0,019 = 0,018$$

Taivutusmomenttien mitoitusarvot.

$$M_{Ed1} = \alpha_1 W_{Ed} l^2 = 0,018 * 0,75 \text{ kN / m} * (5,6 \text{ m})^2 = 0,415 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed2} = \alpha_2 W_{Ed} l^2 = 0,019 * 0,75 \text{ kN / m} * (5,6 \text{ m})^2 = 0,447 \text{ kNm}$$

Poikkileikkausten kimmoiset taivutusvastukset ulko- ja sisäkuorelle.

$$Z_1 = \frac{t_1^2}{6} = \frac{(90 \text{ mm})^2}{6} = 1350 \text{ mm}^2$$

$$Z_2 = \frac{t_2^2}{6} = \frac{(130 \text{ mm})^2}{6} = 2816,667 \text{ mm}^2$$

Ulkokuoren momenttikestävyyden mitoitusarvo kun murtotaso on vaakasaumojen suuntainen.

$$M_{Rd11} = f_{xd1} Z_1 * 1000 \text{ mm} = 0,144 \text{ N / mm}^2 * 1350 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ mm} = 0,195 \text{ kNm}$$

Ulkokuoren momenttikestävyyden mitoitusarvo kun murtotaso on kohtisuorassa vaakasaumojen vastaan.

$$M_{Rd21} = f_{xd2} Z_1 * 1000 \text{ mm} = 0,155 \text{ N / mm}^2 * 1350 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ mm} = 0,210 \text{ kNm}$$

Sisäkuoren momenttikestävyyden mitoitusarvo kun murtotaso on vaakasaumojen suuntainen.

$$M_{Rd12} = f_{xd1} Z_2 * 1000 \text{ mm} = 0,144 \text{ N / mm}^2 * 2816,667 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ mm} = 0,407 \text{ kNm}$$

Sisäkuoren momenttikestävyyden mitoitusarvo kun murtotaso on kohtisuorassa vaakasaumojen vastaan.

$$M_{Rd22} = f_{xd2} Z_2 * 1000 \text{ mm} = 0,155 \text{ N / mm}^2 * 2816,667 \text{ mm}^2 * 1000 \text{ mm} = 0,438 \text{ kNm}$$

Kuormat jaetaan ulko- ja sisäkuorelle niiden lujuuksien suhteessa.

Kuormaa ulkokuorelle.

$$M_{Ed11} = \frac{M_{Rd11}}{M_{Rd11} + M_{Rd12}} M_{Ed1} = \frac{0,195 \text{ kNm}}{(0,195 + 0,407) \text{ kNm}} * 0,415 \text{ kNm} = 0,134 \text{ kNm} < M_{Rd11} \quad \text{OK}$$

$$M_{Ed21} = \frac{M_{Rd21}}{M_{Rd21} + M_{Rd22}} M_{Ed2} = \frac{0,210 \text{ kNm}}{(0,210 + 0,438) \text{ kNm}} * 0,447 \text{ kNm} = 0,145 \text{ kNm} < M_{Rd21} \quad \text{OK}$$

Kuormaa sisäkuorelle.

$$M_{Ed12} = M_{Ed1} - M_{Ed11} = 0,415 \text{ kNm} - 0,134 \text{ kNm} = 0,281 \text{ kNm} < M_{Rd12} \quad \text{OK}$$

$$M_{Ed22} = M_{Ed2} - M_{Ed21} = 0,447 \text{ kNm} - 0,145 \text{ kNm} = 0,302 \text{ kNm} < M_{Rd22} \quad \text{OK}$$

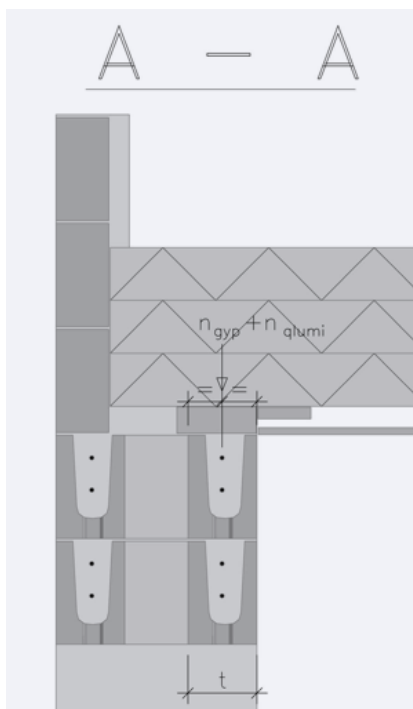
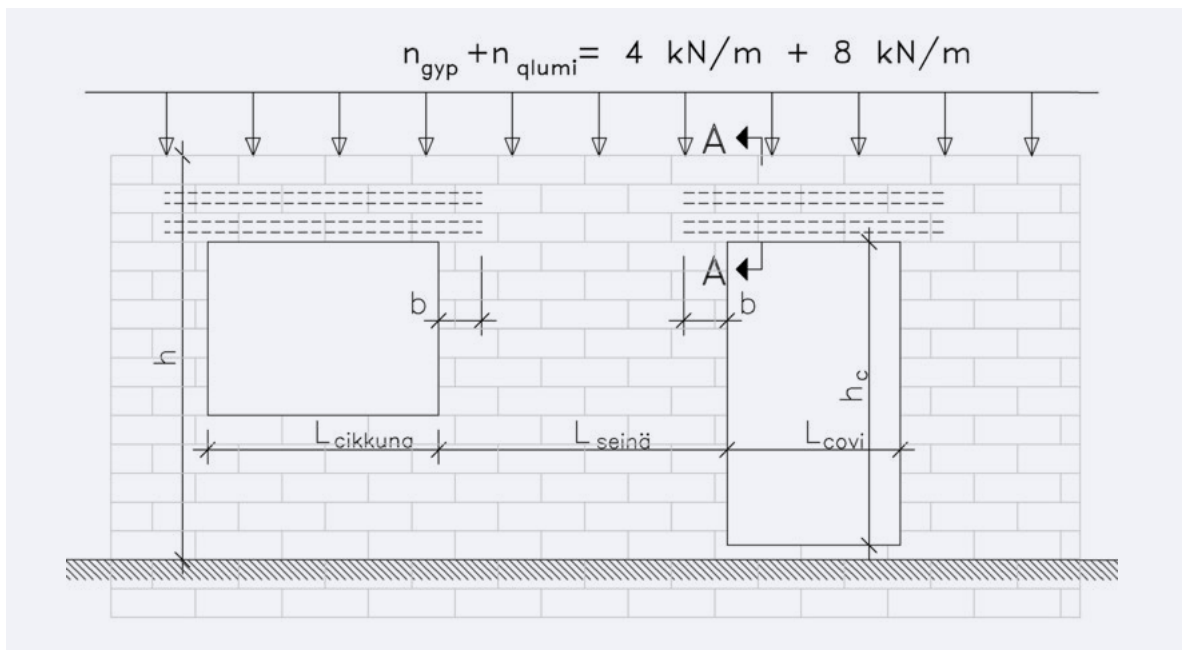
Käyttörajatilatarkastelu sisäkuorelle.

$$\frac{h}{t_2} = \frac{2800\text{mm}}{130\text{mm}} = 21,538$$

$$\frac{l}{t_2} = \frac{5600\text{mm}}{130\text{mm}} = 43,077$$

Piste osuu standardin EN 1996-1-1 liitteen F kuvan F.3 rajakäyrän alapuolelle. Seinän mitat ovat kunnossa eikä käyttörajatilatarkastelua tarvitse tehdä.

3.9.4 Yläkerran seinän mitoitus aukkojen kohdalla



Eristeharkko 380mm, aukkoryhmä 1, kategoria 1
Harkkolaasti M100/500, lujuusluokka M10

Kuormat:

Kattorakenteet $n_{gyp} = 4,0\text{kN} / \text{m}$

Palkin omapaino $n_{gpalkki} = 4,0\text{kN} / \text{m}$

Seinän omapaino $n_{gomapaino} = 3,0\text{kN} / \text{m}$

Katon lumikuorma $n_{qlumi} = 8,0\text{kN} / \text{m}$

Kuormien mitoitusarvot ja kuormitusyhdistelmät:

Tapaus 1:

Palkin ja kattorakenteiden omat painot

$$n_{d1} = 1,35 K_{FI} (n_{gpalkki} + n_{gyp}) = 1,35 * 1,0 * (4,0 + 4,0) kN / m = 10,8 kN / m$$

Tapaus 2:

Palkin ja kattorakenteiden omat painot ja lumikuorma

$$\begin{aligned} n_{d2} &= 1,15 K_{FI} (n_{gpalkki} + n_{gyp}) + 1,5 K_{FI} n_{qlumi} \\ &= 1,15 * 1,0 * (4,0 + 4,0) kN / m + 1,5 * 1,0 * 8,0 kN / m = 21,2 kN / m \end{aligned}$$

Tapaus 2 on määrävä kuormitusyhdistelmä.

Kuormitus on keskinen joten epäkeskisyys $< t/4$.

Seinän ja aukkojen mittatiedot.

$$h = 2800 mm$$

$$h_c = 2100 mm$$

$$l_{covi} = 1200 mm$$

$$l_{cikkuna} = 1600 mm$$

$$b = 300 mm$$

$$L_{seinä} = 2000 mm$$

Harkon mittatiedot.

$$t = 130 mm$$

Muuratun rakenteen osavarmuusluku.

$$\gamma_{Mm} = 1,8$$

Muurin puristuslujuuden ominais- ja mitoitusarvo.

$$f_b = 4,0 N / mm^2$$

$$f_m = 10 N / mm^2$$

$$f_b = 4,0 N / mm^2$$

$$f_m = 10 N / mm^2$$

$$f_{mred} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_m = 10 N / mm^2 \\ 2f_b = 2 * 4,0 N / mm^2 = 8,0 N / mm^2 \\ 20 N / mm^2 \end{array} \right\} = 8,0 N / mm^2$$

$$K = 0,65$$

$$\alpha = 0,65$$

$$\beta = 0,25$$

$$f_k = K f_b^\alpha f_{mred}^\beta = 0,65 * 4,0^{0,65} N / mm^2 * 8,0^{0,25} N / mm^2 = 2,692 N / mm^2$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_{Mm}} = \frac{2,692 N / mm^2}{1,8} = 1,495 N / mm^2$$

Paikallisen kuorman mitoitusarvo oviaukon pielessä.

$$N_{Edc,ovi} = n_{d2} \left(\frac{l_{covi}}{2} + b \right) = 21,2 kN / m * \left(\frac{1,2m}{2} + 0,3m \right) = 19,08 kN$$

Paikallisen kuorman mitoitusarvo ikkuna-aukon pielessä.

$$N_{Edc,ikkuna} = n_{d2} \left(\frac{l_{ikkuna}}{2} + b \right) = 21,2 kN / m * \left(\frac{1,6m}{2} + 0,3m \right) = 23,32 kN$$

$a_1 = 0mm$, kuormat aukkojen pielissä

$$A_b = bt = 300mm * 130mm = 39000mm^2$$

$$l_{efm} = b + \tan 30^\circ \frac{h_c}{2} = 300mm + \tan 30^\circ * \frac{2100mm}{2} = 906,218mm$$

$$A_{ef} = l_{efm} t = 906,218mm * 130mm = 117808,312mm^2$$

$$\frac{A_b}{A_{ef}} = \frac{39000mm^2}{117808,312mm^2} = 0,331 < 0,45 \quad \text{OK}$$

$$\beta = \left(1 + 0,3 \frac{a_1}{h_c} \right) \left(1,5 - 1,1 \frac{A_b}{A_{ef}} \right) = \left(1 + 0,3 * \frac{0mm}{2100mm} \right) * \left(1,5 - 1,1 * \frac{39000mm^2}{117808,312mm^2} \right) = 1,136$$

$$1,0 \leq \beta \leq \min \left\{ 1,25 + \frac{a_1}{2h_c} = 1,25 + \frac{0\text{mm}}{2 * 2100\text{mm}} = 1,25 \right\} = 1,25 \quad \text{OK}$$

Paikallisen kuorman mitoituskestävyys.

$$N_{Rdc} = \beta A_b f_d = 1,136 * 39000\text{mm}^2 * 1,495\text{N/mm}^2 = 86,177\text{kN} > \begin{cases} N_{Edc,ovi} \\ N_{Edc,ikkuna} \end{cases} \quad \text{OK}$$

Puristusjännityksen mitoitusarvo kuormitetun kohdan alla ikkunan pielessä.

$$\sigma = \frac{N_{Edc,ikkuna}}{A_b} = \frac{23320\text{N}}{39000\text{mm}^2} = 0,598\text{N/mm}^2 < 1,5 f_d = 1,5 * 1,495\text{N/mm}^2 = 2,243\text{N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

Seinän puristuskestävyys seinän korkeuden puolella välissä.

Mitoitus päistään nivelöitynä sauvana. Seinän tehollinen korkeus ja leveys.

$$h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 * 2800\text{mm} = 2800\text{mm}$$

$$t_{ef} = t = 130\text{mm}$$

Seinän hoikkuus.

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{2800\text{mm}}{130\text{mm}} = 21,538$$

Kuorman alkupäkeskisyyys.

$$e_{int} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{2800\text{mm}}{450} = 6,222\text{mm}$$

Pystykuorma on keskinen, jolloin momenttia ei ole.

$$M_{dm} = 0\text{kNm}$$

Normaalivoiman mitoitusarvo seinän korkeuden puolella välissä

Pistekuormat ehtivät jakautua koko leveydelle.

$$\begin{aligned} N_{dm} &= N_{Edc,ovi} + N_{Edc,ikkuna} + n_{d2} (L_{seinä} - 2b) + 1,15 K_{FI} \frac{n_{gomapaino}}{2} L_{seinä} \\ &= 19,08\text{kN} + 23,32\text{kN} + 21,2\text{kN/m} * (2,0 - 2 * 0,3)\text{m} + 1,15 * 1,0 * \frac{3\text{kN/m}}{2} * 2,0\text{m} = 75,53\text{kN} \end{aligned}$$

Kuormien aiheuttama epäkeskisyys.

$$e_m = \max \left\{ \begin{aligned} \frac{M_{dm}}{N_{dm}} + e_{init} &= \frac{0 Nmm}{75,53 * 10^3 N} + 6,222 mm = 6,222 mm \\ 0,05t &= 0,05 * 130 mm = 6,5 mm \end{aligned} \right\} = 6,5 mm$$

Seinän kimmokerroin.

$$K_E = 700$$

$$E = K_E f_k = 700 * 2,692 N / mm^2 = 1884,182 N / mm^2$$

Apusuureet pienennyskertoimen laskentaan.

$$\lambda_m = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{2800 mm}{130 mm} * \sqrt{\frac{2,692 N / mm^2}{1884,182 N / mm^2}} = 0,814$$

$$u = \frac{\lambda_m - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_m}{t_{ef}}} = \frac{0,814 - 0,063}{0,73 - 1,17 * \frac{6,5 mm}{130 mm}} = 1,119$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_m}{t_{ef}} = 1 - 2 * \frac{6,5 mm}{130 mm} = 0,9$$

Hoikkuuden ja epäkeskisyyden pienennyskerroin.

$$\Phi_m = A_1 e^{\frac{-u^2}{2}} = 0,9 * e^{\frac{-1,119^2}{2}} = 0,481$$

Seinän normaalivoimakestävyyden mitoitusarvo seinän korkeuden puolella välissä.

$$N_{Rdm} = \Phi_m t f_d L_{seinä} = 0,481 * 130 mm * 1,495 N / mm^2 * 2000 mm = 187,199 kN < N_{dm} \quad \text{OK}$$