



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ROOSA ANTTILA

Muurattujen väliseinien rakenteellinen mitoitus

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Anttila, Roosa: Muurattujen väliseinien rakenteellinen mitoitus
Opinnäytetyö, AMK
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma, Rakennesuunnittelu
Huhtikuu 2023
Sivumäärä: 65

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi A-Insinöörit Oy, jolla oli tarve saada koottu teos korkeampien muurattujen väliseinärakenteiden mitoituksesta. Työn tarkoituksena oli perehtyä aiheeseen yleisemmin sekä laskennallisesti mitoittaa rakenteita. Mitoituksissa pääpaino oli materiaalin osalta kalkkiahiekkatiilissä, ja korkeutena käytettiin sairaalakohteissa yleistä yli 4 m korkeutta. Esimerkkimitoitukset tehtiin kolmesta rakenteesta, joihin lukeutui raudoittamattomat kantava- ja ei-kantava väliseinä, sekä raudoitettu, vaakasuuntaisesti painekuormitettu ei-kantava väliseinä. Kantavaa seinää tarkasteltiin puristettuna rakenteena, ja ei-kantavia seiniä taivutettuina rakenteina.

Opinnäytetyö suoritettiin kvalitatiivisena tapaustutkimuksena. Lähdeaineiston perusteella työhön laadittiin teoriapohja, jossa käsiteltiin muurattuihin rakenteisiin liittyviä teemoja etenkin työn aiheeseen liittyviltä osin. Mitoitusosiossa laadittiin laskentakaavat sekä mitoitusperiaatteet, joiden avulla muurattuja väliseinärakenteita pystytään suunnittelemaan. Perustana käytettiin muurattuja rakenteita koskevaa Eurokoodi 6:sta sekä siihen liittyvää Ympäristöministeriön laatimaa kansallista liitettä, ja RIL 206-2010 julkaisua. Materiaalien ominaisuuksien osalta noudatettiin Saint-Gobain Weberin suoritustasoilmoitusta väliseinien kalkkiahiekkatiilistä.

Työn tuloksena saatiin laadittua mitoitusohjeet aiemmin mainituille kolmelle rakenteelle niin, että rakenne kestää rasitukset normaalia suuremmasta korkeudesta sekä painekuormasta huolimatta. Etenkin painekuormitetulla rakenteella kestävyys saavuttaminen vaati enemmän tutkimista sekä ohjauksen hyödyntämistä, sillä sellaiselle rakenteelle ei löytynyt suoria ohjeita. Vaikka mitoituksien materiaalina toimi ainoastaan kalkkiahiekkatiili, pystytään ohjeita soveltamaan myös muille materiaaleille. Lisäksi työhön laadittiin taulukot eri koruisten vastaavien rakenteiden tuloksista.

Avainsanat: Muurattu rakenne, mitoittaminen, väliseinä, muuraus, kalkkiahiekkatiili

Abstract

Anttila, Roosa: Structural dimensioning of masonry partitions

Bachelor's thesis

Construction and civil engineering, Structural design

April 2023

Number of pages: 65

The thesis was commissioned by A-Insinöör Oy, who had a need for a compiled work on designing higher masonry partition structures. The purpose of the study was to learn more about the subject in general and to computationally design masonry structures. In the calculations the main emphasis in the case of materials was in sand-lime brick, and the height used was more than four meters, which is common in hospital sites. Example designs were made of three structures, including unreinforced load-bearing and non-bearing partition walls as well as reinforced, horizontally pressure-loaded partition wall. The load-bearing wall was examined as a vertically loaded structure, and non-bearing walls as laterally loaded structures.

The thesis was conducted as a qualitative case study. Based on the source data, the thesis was prepared with a theoretical basis, which dealt with themes related to masonry structures, especially in relation to the subject of this thesis. In the designing section, formulas and designing principles were compiled to enable the design of masonry partition structures. The basis used was Eurocode 6, which deals with masonry structures, and the related national annex drawn up by the Ministry of the Environment. RIL 206-2010 was also used. With regards to the properties of the materials, compliance was made with the Saint-Gobain Weber's declaration of performance for sand-lime bricks in partition walls.

As a result of the study, the design guidelines for the three structures mentioned above were prepared in such a way, that the structure can withstand the strain, despite the higher-than-normal height and the blast load. To achieve structural integrity, especially with the pressure-loaded structure, more research and use of guidance was needed, because no direct instructions were found for such a structure. Although only sand-lime brick was used as the material for designing, the instructions can also be adapted to other materials. Tables of results for similar structures of different heights were also compiled for the thesis.

Keywords: Masonry, dimensioning, partition wall, brickwork, sand-lime brick

ALKUSANAT

Haluan kiittää tämän opinnäytetyön mahdollistanutta toimeksiantajayritystä A-Insinöörit Oy:tä ja erityisesti ohjaajiani Jari Hietalaa sekä Jari Kivelää, mutta myös muita Porin yksikön työtovereita neuvoista ja kannustuksesta. Kiitos myös koulun puolesta ohjaajanani toimineelle Topi Rissaselle.

Porissa 4.4.2023

Roosa Anttila

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TIEDON HANKINTA	8
3 MUURATUT RAKENTEET	9
3.1 Materiaalit ja ominaisuudet.....	10
3.1.1 Poltettu tiili	10
3.1.2 Kahi-tuotteet	11
3.2 Muuraus- ja saumaustavat	13
3.3 Liikuntasaumat	14
3.4 Tuentatarpeet	16
3.5 Kuormat.....	16
3.5.1 Pysyvät ja muuttuvat kuormat.....	18
3.5.2 Onnettomuuskuormat	18
4 VÄLISEINÄRAKENTEIDEN SUUNNITTELU	20
4.1 Raudoitus	20
4.2 Rajatilamitoitus	21
4.3 Mitoitusmenetelmät ja kaavat	22
4.3.1 Puristettu rakenne.....	22
4.3.2 Taivutettu rakenne	27
4.3.3 Taivutettu raudoitettu rakenne	30
4.3.4 Käyttörajatilatarkastus	36
5 VÄLISEINÄRAKENTEIDEN MITOITUS	37
5.1 Kantava väliseinä	38
5.2 Ei-kantava väliseinä	42
5.3 Paine kuormitettu väliseinä.....	46
6 TULOKSET	58
6.1 Kantava väliseinä	58
6.2 Ei-kantava väliseinä	59
6.3 Paine kuormitettu väliseinä.....	60
7 POHDINTA	60
7.1 Kantava väliseinä	60
7.2 Ei-kantava väliseinä	61
7.3 Paine kuormitettu väliseinä.....	61
8 YHTEENVETO.....	62
LÄHTEET.....	63
LIITEET.....	65

Symboli- ja lyhenneluettelo

KH	kalkkihiekkatiili
NKH	normaalikokoinen kalkkihiekkatiili
MKH	moduulitiili

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on muurattujen väliseinien rakenteellinen mitoitus. Pääpaino on suuremmilla rakenteilla, joita käytetään esimerkiksi sairaalakoh-teissa. Työn tarkoituksena on laskennallisesti mitoittaa korkeampia muurattuja väliseiniä, ja ottaa mukaan myös painekuormien vaikutuksia. Tässä tapauk-sessa tutkimusongelma on rakenteen kestävyys korkeammilla rakenteilla sekä räjähdyskuorman vaikuttaessa rakenteeseen. Työn tarkoitus on saada on-gelma ratkaistua selvittämällä peruserä ja keinot tällaisten rakenteiden suunnitteluun. Lisäksi lasketaan mitoitus-esimerkit kolmesta korkeasta raken-teesta, jotka ovat kantava väliseinä, ei-kantava väliseinä sekä painekuormi-tettu väliseinä, sekä taulukoidaan vastaavat arvot erikorkuisilta rakenteilta. Mi-toitus rajautuu materiaalin osalta kalkkihiekkatiileen, ja sauman osalta normaaliin saumaan.

Opinnäytetyön tilaajana toimii A-Insinöörit Oy, joka on vuonna 1959 perustettu suomalainen kiinteistö- ja rakennusalan suunnittelu- ja konsulttitalo. Yritys työl-listää noin 1300 henkilöä. A-Insinöörit toimii yhteensä 18 toimipaikalla ja kuu-della toimialalla (rakennuttaminen, rakennesuunnittelu, yhdyskunta- ja ympä-ristösuunnittelu, teollisuus- ja talotekniikka, korjaussuunnittelu ja -asiantuntija-palvelut sekä arkkitehtisuunnittelu). (A-Insinöörit, n.d) Tämä opinnäytetyö pai-nottuu rakennesuunnitteluun.

Työ käynnistyi toimeksiantajayrityksen tarpeesta laatia mitoitusohjeet suurem-mille muurattujen väliseinien rakenteille. Lisäksi painekuorman kasvaessa sei-närakenne on vaikeampi mitoittaa kestäväksi, joten mitoitusperiaate tällaisen kuorman vaikuttaessa rakenteeseen oli tarpeellinen. Esimerkiksi juuri sairaa-lakohteiden suunnittelussa tällaiset ohjeet ovat tarpeen, sillä näiden avulla suunnittelu helpottuu ja nopeutuu. Vastaavia korkeampien rakenteiden ohjeita

ei vielä ole laadittu. Työn myötä ne myös ovat kaikilla niitä tarvitsevilla saatavilla yhdestä paikasta sekä yhtenäisiä, nykyisten ohjeiden mukaisia.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TIEDON HANKINTA

Tämä opinnäytetyö on kirjallisuuskatsauksen lisäksi muodoltaan tutkimuksellinen, ongelmanratkaisuun pyrkivä työelämää palveleva työ. Työ lukeutuu kvalitatiiviseksi eli laadulliseksi tapaustutkimukseksi, jonka kohteena ovat suuremmat muuratut rakenteet. Aihetta tutkitaan siihen liittyvien luotettavien lähteiden sekä standardien avulla, ja niistä saadaan monipuolinen ja kokonaisvaltainen kuvaus tapauksesta. Kirjallisen aineiston lisäksi työssä on käytetty myös osallistavia menetelmiä, sillä tilaajaorganisaation työntekijöiden ammattitaitoa ja kokemuksia hyödyntäen on saatu uusia näkökulmia varsinkin työn mitoitusliseen osuuteen. Tämän perusteella työssä on myös toimintatutkimuksen piirteitä, mutta työtä ei kuitenkaan ole tehty yhdessä ryhmänä.

Kirjallisuuskatsausosiossa haetaan ja kerätään tietoa työn aiheesta. Eri lähteistä peräisin olevat tiedot kootaan yhteen ja niitä käytetään työn pohjana teoreettisena viitekehyksenä. Kirjallisuuskatsauksen kokoamisessa käytetyt viitteet ovat tärkeä osa työtä, sillä lähteiden merkitsemättömyys tekee työstä plagioitua. (Scribbr, n.d)

Opinnäytetyö pohjautuu aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja muihin dokumentteihin sekä tällä hetkellä voimassa oleviin standardeihin. Pääperustana käytetään Eurokoodeja, jotka ovat eurooppalaisia standardeja koskien kantavien rakenteiden suunnittelua. Eurokoodi 6 koskee muurattuja rakenteita. Niiden perusteella määritellään, miten rakenteet suunnitellaan ja toteutetaan. (Lastunen, 2021) Eurokoodin lisänä käytetään Ympäristöministeriön kansallista liitettä, josta löytyy Eurokoodiin nähden tarkempaa tietoa juuri Suomessa käytettäviin rakenteisiin. Laskennallisen määrityksen toteuttamiseen

käytetään Mathcad Prime 7.0 -tietokoneohjelmistoa. Piirrettävät rakenteet toteutetaan CADMATIC-suunnitteluohjelmistoa käyttäen.

3 MUURATUT RAKENTEET

Rakennustapana muuraus on hyvin vanha keksintö, jossa pienehköjä muuruskappaleita yhdistetään toisiinsa sideaineella. Pääperiaate on nykyäänkin sama, vaikkakin muuraustavat ovat kehittyneet ajan saatossa.

Muuratuilla rakenteilla yleisesti on melko hyvä puristuslujuus, jolloin ne sopivatkin hyvin puristettuihin rakenteisiin, kuten kantaviin pystyrakenteisiin. Vetolujuuden puutteellisuuden takia vaakarakenteiden tulee olla esimerkiksi kaaria tai muulla tavoin toteutettuja kestämaan vetorasitusta. Lisäksi palonkesto on hyvä, ja rakenteessa on ääneneristävyyden lisäksi myös kohtalainen lämmöneristys. Rakenteiden valmistus tapahtuu pienistä komponenteista, jolloin monimuotoiset geometriat ovat mahdollisia. Muuratut rakenteet ovat yleisesti melko massiivisia ja painavia, joka aiheuttaa hankaluutta materiaalien kuljetuksissa ja siirroissa. Materiaalit ovat myös huokoisia ja vettä imeviä, joten sääsuojauksen tulee olla kunnossa. (RIL 99, 1975, s. 20) Jos valmistaja on hankkinut tuotteelle eurooppalaisen teknisen hyväksynnän tai jos käytettävät rakennustuotteet, tarvikkeet tai aineet kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan, ominaisuudet osoitetaan CE-merkinnällä. Muissa tapauksissa ominaisuudet osoitetaan rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä annetun lain 954/2012 mukaan. (RT RakMK-21751, 2018, s. 2)

Muurattuja rakenteita säännöstelevät Eurokoodi-standardiston osa 6 (SFS-EN 1996). Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta löytyvät ohjeet kevytbetoni- ja tiilirakenteiden suunnitteluun ovat poistettu käytöstä (Ympäristöministeriö, n.d). Lisäksi käytettäviä tietoja ovat valmistajien määrittämät taulukkokapasiteetit eri rakenteille.

3.1 Materiaalit ja ominaisuudet

Muuratut rakenteet valmistetaan tiili- tai harkkorakenteista. Tiilet ovat kokonsa puolesta yhdellä kädellä käsiteltäviä kappaleita, harkot taas vähän isompia, kahdella kädellä käsiteltäviä. (Kinnunen, 1988, s. 7) Tässä työssä käsitellään poltettua tiiltä sekä kalkkihiekkatuotteista kahi-tiiliä ja -harkkoja. Pääpaino kuitenkin on kahi-tuotteilla, jotka ovat nykyään suosiossa. Mitoitettavien rakenteiden materiaalina käytetään kalkkihiekkatiiltä, sillä se on väliseinärakenteissa useammin käytetty materiaali verrattuna poltettuun tiileen. (Kivitaloinfo, n.d)

Suomessa myytävien ja valmistettavien tiilien tulee olla CE-merkittyjä, jolloin tuote on yleiseurooppalaisen laadun ja merkintätapojen mukainen ja oikeutettu markkinointiin koko EU:n alueella. CE-merkinnästä käy ilmi juuri kyseessä olevan tuotteen tekniset ominaisuustiedot, joiden avulla suunnittelijat ja rakennusvalvonta pystyvät määrittämään tuotteen soveltuvuuden käyttökohteissa. (Tiiliinfo, n.d)

3.1.1 Poltettu tiili

Poltettu tiili valmistuu pääraaka-aineena toimivan saven lisäksi vedestä, hiekasta, sahanpurusta ja kalkista. Valmistus tapahtuu yli tuhannen asteen lämpötilassa polttamalla. Eri valmistusmenetelmien avulla tiilille saadaan aikaan erilaisia ulkonäköjä sekä ominaisuuksia. Valmistusprosessin kulku on kuitenkin pääsääntöisesti sama ja etenee seuraavanlaisessa järjestyksessä:

1. raaka-aineiden käsittely
2. tiilimassan sekoitus, puristus ja leikkaus
3. tiilen rataus, kuivaus, poltto ja jäähdytys
4. pakkaus

Tuotantoprosessi on melko pitkä, ja kestää 2–3 viikkoa. (Wienerberger, n.d)

Poltettu tiili on nykyisin eniten käytössä pien-, rivi- ja kerrostalojen julkisivuissa sekä tulisijojen ja hormien rakenteissa. (Kivitaloinfo, n.d). Julkisivuissa poltetun tiilen monipuoliset ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa. Esteettisesti vaakuuttava rakenne on taattu laajan väri-, pinta- ja kokovalikoiman ansioista.

Materiaalina se on myös kestävä, pitkäikäinen ja huoleton ilman suuria huoltotoimenpiteitä, mikä auttaa kustannusten säästämisesäkin. Terveydelle haittottomista puhtaista luonnonmateriaaleista valmistettava tiili on näin ollen myös turvallinen materiaali. Suomessa käytettävistä tiilistä suurin osa valmistetaan Suomessa, joten kotimaisuuden lisäksi tiiliteollisuus on suuri työllistäjä. Hyvän lämmönvarauskyvyn lisäksi se tuo asumisviihtyisyyttä tasaisen lämmönjaon sekä äänieristävyyden ansiosta. Poltetun tiilen ekologisuus on myös isossa roolissa, sillä sen valmistuksessa voidaan hyödyntää uusiutuvaa energiaa, materiaali itsessään on kierrätettävää sekä raaka-aineena käytettävää savea muodostuu enemmän kuin sitä tiiliteollisuudessa käytetään valmistukseen. (Wienerberger, n.d)

Poltetun tiilen tiheys on reikätiilillä noin 1200 Kg/m^3 ja umpitiilillä noin 1500 Kg/m^3 sekä puristuslujuus on noin $20\text{--}50 \text{ MN/m}^2$. Valmistajat ilmoittavat tuotteensa lujuuden keskiarvon CE-merkinnässä. (Tiili-info, n.d)

3.1.2 Kahi-tuotteet

Kahi-tuotteita ovat kalkkihiekkatiilet sekä -harkot, ja ne ovat monipuolisia tuotteita niin rungoissa, julkisivuissa sekä väliseinissäkin. Kalkkihiekkatiilien valmistus Suomessa alkoi jo vuonna 1897. Komponentit valmistetaan seoksesta, joka muodostuu poltetusta kalkista, kvartsipitoisesta hiekasta sekä vedestä. Korkean paineen avulla seoksesta puristetaan tiiliraakileet, jotka saavat lopullisen lujuutensa autoklaavissa, jossa on korkea höyrynpaine sekä noin 200°C lämpötila. Autoklaavissa tapahtuva höyrykarkaisu kalkki reagoi hiekan kanssa ja muodostaa silikaattisen sidoksen, jolloin kappale saa lopullisen lujuutensa. Tämä kestää 7,5 tuntia. (Kivifaktaa, n.d)

Kalkkihiekkatiilien tiheys on noin 1800 Kg/m^3 , jonka ansiosta materiaalista valmistettujen seinien ääneneristävyys on hyvä. Puristuslujuus kalkkihiekkatiilillä on $15\text{--}20 \text{ N/mm}^2$. NKH sekä KH tiilillä puristuslujuuksien keskiarvo on 20 N/mm^2 , kun taas MKH tiilellä vastaava arvo on 15 N/mm^2 . Nämä käyvät ilmi Saint-Gobain Weberin Kahi-väliseinätiilien suoritustasoilmoituksesta, joka on

nähtävissä tämän työn liitteenä 1. Kalkkiehiekkakomponentit ovat hyvin mittatarkkoja ja palamattomia. Riittävä lämmöneristys on tarvittaessa taattava lämmöneristeellä, useimmiten polyuretaanilla tai polystyreenillä, sillä pelkän rakenteen lämmöneristys on riittämätön. (RT 103283, 2020, s. 5)

Tiilet luokitellaan niiden koon ja käyttötarkoituksen mukaan. Taulukossa 1 näkyvien yleisimmin käytettävien tiilien lisäksi valmistetaan myös tiilipalkkeja, jotka ovat aukon ylityksiin tarkoitettuja betonivahvisteisia raudoitettuja palkkeja. (RT 103283, 2020, s. 2)

Taulukko 1 Tiilien koot ja käyttötarkoitukset (RT 103283, 2020)

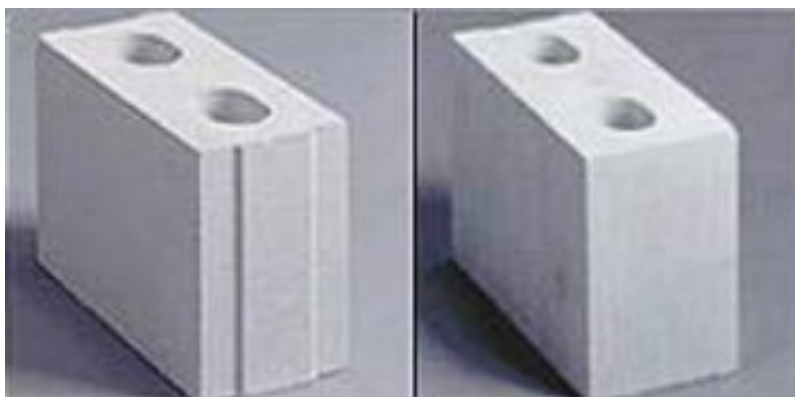
tuote	mitat [mm]	paino [kg/kpl]	käyttötarkoitus
NKH väliseinätiili	270 x 130 x 75	4,2	rakennusten kantavat rungot, pilarit, väliseinät
MKH väliseinätiili	285 x 85 x 85	3,9	ei-kantavat väliseinät
KH väliseinätiili	270 x 198 x 75	7,5	kantavat väliseinät, kantamattomien väliseinien ohutsaumamuuraus

Myöhemmin kalkkiehiekkaratkaisujen kehityksen myötä alettiin valmistamaan kahi-harkkoja, jotka ovat kooltaan suurempia ja painavampia kuin tiilet. Kahi-järjestelmän harkkojen leveydet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan 85 millimetristä 240 millimetriin. Taulukossa 2 on taulukoituna yleisimmin käytettyjen kahi-harkkojen koot sekä käyttötarkoitukset. (Kivitaloinfo, n.d)

Taulukko 2 Harkkojen koot ja käyttötarkoitukset (Kivitaloinfo, 2023)

tuote	mitat [mm]	paino [kg/kpl]	käyttötarkoitus
Väliseinäpontti-harkko	300 x 85 x 198	8,0	kantamattomat seinät, ulkoseinän kuorimuurit
Runkopontti-harkko	300 x 130 x 198	12,2	kantavat seinät, ulkoseinän kuorimuurit
Desibelipontti-harkko	300 x 240 x 128	15,8	huoneistojen väliset ääntä eristävät kantavat seinät
Viisteharkko	300 x 130 x 198	12,1	puhtaaksi muurattavat kantavat ja ei-kantavat seinät

Kahi-ponttiharkot ovat tarkoitettu pääsääntöisesti tasoitettaviin seiniin. Näiden harkkojen päissä on pontit, joiden avulla harkot saadaan helposti asennettua paikoilleen. Tällöin myöskään pystysaumoihin ei tarvita laastia toisinkuin viisteharkkoihin sekä tiiliin, joiden päädyt ovat tasaiset. (Saint-Gobain Weber, 2022, s. 3) Kuvassa 1 nähdään vasemmalla puolella olevan ponttiharkon päädyssä oleva ponttaus verraten oikealla puolella olevan viisteharkon tasaiseen päätyyn. Harkoissa oleviin pystyreikiin tai roiloharkkoihin pystytään asentamaan sähkö- ja LVI-putkia. Saint-Gobain Finland Oy Weber on ainoa kahi-tuotteita Suomessa valmistava yritys.



Kuva 1 Kahi-pontti-harkko ja kahi-viisteharkko. (Kivitaloinfo, 2023)

3.2 Muuraus- ja saumaustavat

Muurattuja tiilirakenteita tehtäessä on tärkeää huolehtia asianmukaisesta saumauksesta. Tiilien saumaamisessa voidaan käyttää monia erilaisia

saumausvaihtoehtoja riippuen käyttökohteesta ja halutusta ulkonäöstä. Jotta rakenteesta saadaan tiivis, sauman tulee olla täynnä laastia. Sauma on silloin täysi, kun se on painettu sisään enintään 3 mm. Yleislaastilla muurattujen vaaka- ja pystysaumojen todellinen paksuus on minimissään 6 mm ja maksimissaan 15 mm (Sain-Gobain Weber, 2022, s. 8) Kun vedenimu laastista tiileen on alkanut, tiiliä ei saa enää liikutella. Liikuttelu aiheuttaa laastin ja tiilen välisen tartunnan häviämisen, jolloin saumasta ei tule tiivis. (Tiileri tekninen opas II, 2001) Laastien sideaineena toimii muuraussementti ja runkoaineena luonnonhiekkä. Laasteihin ei saa lisätä lisä- tai seosaineita eikä pigmenttejä, ellei suunnitelma-asiakirjoissa mainita niitä erikseen. (SFS-EN 1996-2:2006, 2006, s. 17). Kalkkiahiekkatiilet muurataan yleisimmin 1/2-tiilen ja 1/3-tiilen pituuslimityksellä. Jälkisaumauksessa kovettumaton laasti poistetaan tiettyyn syvyyteen asti, joka on enintään 15 % seinän paksuudesta. Puhtaaksimuurauksessa saumaus tehdään ennen laastisauman plastisuutensa menetystä. (SFS-EN 1996-2:2006, 2006, s. 22)

Kahi-harkkoseinät muurataan ohutsaumamuurausmenetelmällä, jossa saumapaksuus on noin 2 mm. Ohutsaumalaastilla muurattujen vaaka- ja pystysaumojen todellinen paksuus on minimissään 0,5 mm ja maksimissaan 3 mm. Harkkoseinä saadaan paikoilleen muurausjohteiden, linjalankojen ja vesivaa'an avulla. Ohutsaumalaasti pystytään valmistamaan työmaalla porakonevispilällä ohjeiden mukaisesti, mikä helpottaa laastin siirtoja. Laasti levitetään muurauskelkalla, kastelukannulla tai laastikauhalla, ja saumoista yli pursuava laasti poistetaan. (Sain-Gobain Weber, 2022, s. 8)

3.3 Liikuntasaumat

Muuratuissa rakenteissa pyritään estämään lämpö- ja kosteusliikkeiden, virumien, taipumien sekä pysty- ja vaakasuorien kuormitusten aiheuttamat mahdolliset rakennetta vahingoittavat muodonmuutokset käyttämällä pysty- ja vaakasuoria liikuntasauvoja. Liikuntasaumat tulee sijoittaa rakenteeseen niin, että seinän rakenteellinen yhtenäisyys säilyy. Saumojen sijoituksessa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- muurauskappaleen materiaali sekä kosteusliikkeet
- rakenteen geometria aukotuksineen sekä seinän mittasuhteet
- kiinnitysaste
- rakenteen käyttäytyminen lyhyt- ja pitkäkestoisissa kuormituksissa
- rakenteen käyttäytyminen lämpö- ja ilmasto-olosuhteissa
- palonkestävyys
- lämmöneristysvaatimukset
- ääneneristysvaatimukset
- raudoitukset

Liikuntasauma läpäisee koko seinän tai rakoseinän ja ulkokuoren sekä kaikki pinnoitteet, jotka eivät ole joustavia salliakseen liikettä. Liukupinnat sallivat oikein suunniteltuina rakenneosien liukumisen toistensa suhteen, jolloin viereisten rakenneosien leikkaus- ja vetojännitykset pienenevät. Ulkoseinissä olevien liikuntasaumojen tulee sallia veden valuminen aiheuttamatta vahinkoa rakenteelle tai tunkeutumatta rakennukseen. (SFS-EN 1996-2:2006, 2006, s. 15)

Suunniteltaessa liikuntasaumojen välejä, tulee ottaa huomioon seinän tyyppi, muurattavat kappaleet, käytettävä laasti sekä kyseisen rakenteen yksityiskohdat. Taulukossa 3 on listattu pystysuorien liikuntasaumojen suurimmat suositellut vaakasuorat välit ei-kantavissa raudoittamattomissa ulkoseinissä, joiden korkeus on 3 metriä. Matalammalla rakenteella väliä tulee pienentää, ja korkeammalla rakenteella suurentaa. Arvot ovat valideja kuorimuurien ulkokuoriin sekä kylmiin ulkoseinärakenteisiin. (Ympäristöministeriö, 2016, s. 42)

Taulukko 3 Liikuntasaumojen suurimmat suositellut välit l_m ei-kantavissa raudoittamattomissa seinissä (Ympäristöministeriö, 2016, s. 41)

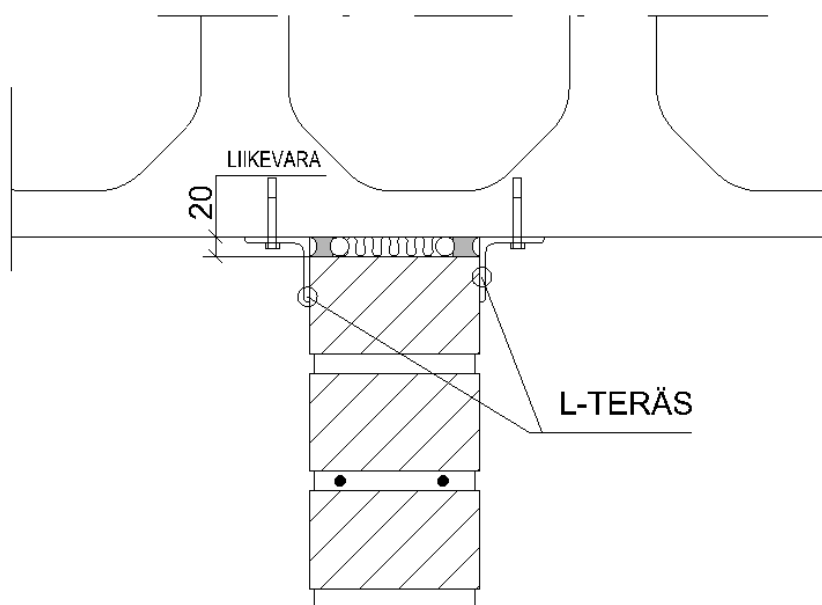
Muurausmateriaali	l_m [m]
Poltettu tiili	15
Kalkkihiekkatiili tai -harkko	10

Väliä voidaan kasvattaa, jos seinässä on standardin EN 845-3 mukainen vaakasaumaraudoite. Tässä tapauksessa vaakasaumaraudoitteen valmistaja voi

antaa ohjeita toteutukseen. Etäisyys seinän liikettä rajoittavasta pystyreunasta ensimmäiseen liikuntasaumaan tulee olla enintään puolet välin l_m arvosta. Kun kyseessä on raudoittamaton kantava seinä, pystysuorien liikuntasaumojen tarve tulee harkita erikseen rakentamistapa, käytetty vaakarakenne ja muut rakenneyksityiskohdat huomioon ottaen. (SFS-EN 1996-2:2006, 2006, s. 15)

3.4 Tuentatarpeet

Ei-kantavien väliseinien yläpäässä jätetään riittävä liikevara yläpuolisiin taipuviin rakenteisiin, kuten kuvassa 2 nähdään. Jos seinä tulee taipuvan rakenteen yläpuolelle, niiden väliin jätetään vaakasuuntainen liikuntasauma, jonka lisäksi seinä tarvittaessa raudoitetaan ja jaetaan tarkoituksenmukaisiin osiin pystysuuntaisin liikuntasaumoin. Väliseinät tuetaan vaakakuormia vastaan kuvan 2 mukaisilla L-teräksillä niin, että saadaan rakenteelle aikaan riittävä vakavuus. (Kinnunen, 1988, s. 53)



Kuva 2 Ei-kantavan seinän yläpään liittymä

3.5 Kuormat

Rakenteisiin vaikuttavat kuormat luokitellaan näihin kolmeen ryhmään ajallisen vaihtelun perusteella:

- pysyvät kuormat (G)
- muuttuvat kuormat (Q)
- onnettomuuskuormat (A)

Aina ei voida suoraa määritellä, onko kuormat pysyviä vai muuttuvia. Tällaisia ovat esimerkiksi pakkomuodonmuutosten aiheuttamat välilliset kuormat sekä vedestä aiheutuvat kuormat. Kuormia voidaan jaotella myös välittömiin ja välillisiin, kiinteisiin ja liikkuviin sekä staattisiin ja dynaamisiin kuormiin. (RIL 201-1-2017, 2017, s. 31)

Mahdollisia kuormitusyhdistelmiä käytettäessä tarvitaan murtorajatilan varmuuskertoimia. Taulukossa 4 on lueteltuna eri rakennuksilla käytettävät muuttuvien kuormien yhdistelykertoimien arvot. ψ_0 arvoa käytetään muuttuvan kuorman yhdistelykertoimena ominaisyhdistelmässä murtorajatiloiissa sekä palautumattomissa käyttörajatiloissa. ψ_1 on muuttuvan kuorman tavallinen yhdistelykerroin onnettomuuskuormia sisältävissä murtorajatiloiissa sekä palautuvissa käyttörajatiloissa. ψ_2 on muuttuvan kuorman pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin onnettomuuskuormia sisältävissä murtorajatiloiissa sekä palautuvissa käyttörajatiloissa. (RIL 201-1-2017, 2017, s. 32)

Taulukko 4 Yhdistelykertoimien arvot eri rakennuksille (RIL 201-1-2017, 2017, s. 38)

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (SFS-EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,3
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6 ^{***)}
Luokka G: liikennöitävät tilat, $30 \text{ kN} < \text{ajoneuvon paino} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3 ^{***)}
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Lumikuorma (katso SFS-EN 1991-1-3) ^{*)} , kun			
$s_k < 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,4	0,2
$s_k \geq 2,75 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,2
Jääkuorma ^{***)}	0,7	0,3	0
Rakennusten tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (SFS-EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
Pakkomuodonmuutokset	1,0	1,0	1,0
Tukien painumat	1,0	1,0	1,0

3.5.1 Pysyvät ja muuttuvat kuormat

Pysyviksi kuormiksi lasketaan rakenteiden omat painot sekä muut rakenteeseen vaikuttavat muuttumattomina pysyvät tai niin vähäisesti muuttuvat kuormat, ettei niitä tarvitse ottaa rakenteen mitoituksessa huomioon. (RIL 144-1997, 1997, s. 13) Hyötykuormat taas ovat muuttuvia kuormia, jotka aiheutuvat henkilöistä, tavaroista tai muista erilaisista liikkuvista kuormalähteistä. Hyötykuormat eivät näin ollen myöskään ole tarkkaan määriteltävissä. (RIL 144-1997, 1997, s. 69)

Jos rakenteessa vaikuttaa useampi muuttuva kuorma samanaikaisesti, tulee käyttää mitoittavaa kuormitusyhdistelmää. Yleinen muoto murtorajatilán mitoittavalle kuormitusyhdistelmälle on:

$$E_d = 1,15 \cdot K_{FI} \cdot \sum G_{k,j} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot Q_{k,1} + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i},$$

jossa:

- G_k pysyvä kuorma
- $Q_{k,1}$ määräävä muuttuva kuorma
- $Q_{k,i}$ muu muuttuva kuorma
- ψ_i yhdistelykerroin, kts taulukko 4
- K_{FI} kuormakerroin (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, s. 80)

3.5.2 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormasta puhutaan, kun kuorma kohdistuu rakenteeseen onnettomuustilanteessa tai muussa ennalta odottamattomassa tilanteessa. Esimerkiksi törmäys- ja räjähdyskuormat ovat onnettomuuskuormia. (RIL 144-1997, 1997, s. 14) Onnettomuustilanteita ajatellen rakenne tulee suunnitella niin, että varmistetaan ettei rakenteeseen kohdistuva onnettomuusrasitus aiheuta kohtuutonta vauriota rakenteelle. Rakenteiden ei kuitenkaan voida olettaa kestävän ylenmääräisiä kuormia tai voimia. Onnettomuuskuormien kuormittamia rakenteita voidaan tutkia seuraavilla tavoilla:

- rakenneosien kestävyys suunnitellaan standardin EN-1991-1-7 mukaisilla onnettomuuskuormilla
- hypoteettisesti olennaisten kantavien rakenteiden poistaminen yksi kerrollaan
- rakenteen sitominen yhtenäiseksi
- onnettomuuskuormien mahdollisuuksien pienentäminen esimerkiksi ajoneuvojen törmäysesteiden käytöllä (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 39)

Tässä opinnäytetyössä onnettomuuskuormalle mitoitettavassa rakenteessa käytetään edellä mainituista tavoista ensimmäistä. Kuorman tyyppinä tässä tapauksessa on räjähdyskuorma. Onnettomuuskuormien arvo mitoituksissa määritetään hankekohtaisesti (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, s. 60).

Onnettomuuskuorman vaikuttaessa samanaikaisesti muiden kuormitusten kanssa, onnettomuuskuormalle ei käytetä kuormitusyhdistelmän kerrointa. Onnettomuustilanteessa mitoituksessa siis huomioidaan onnettomuuskuorma kokonaisuudessaan samoin kuin pysyvä kuorma, sekä muut kuormat yhdistelykertoimilla kerrottuina. (SFS-EN 1990+A1+AC, 2006) Yleinen muoto kuormitusyhdistelmälle on:

$$E_d = G_k + A_d + (\psi_{1,1} \text{ tai } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum(\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}),$$

jossa:

- G_k pysyvä kuorma
- A_d onnettomuuskuorma
- $Q_{k,i}$ muuttuva kuorma
- ψ_i yhdistelykerroin, kts taulukko 4

(SFS-EN 1990+A1+AC, 2006, s. 82)

4 VÄLISEINÄRAKENTEIDEN SUUNNITTELU

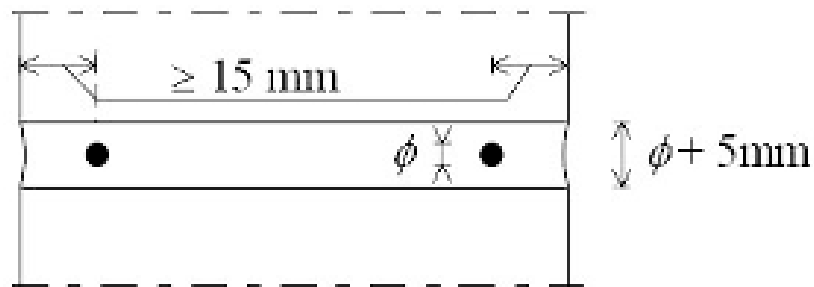
Tässä luvussa käydään läpi sellaisia muurattujen väliseinärakenteiden suunnitteluun liittyviä asioita, jotka liittyvät seuraavassa luvussa mitoitettaviin esimerkkirakenteisiin. Esimerkkimitoituksissa käytetään sekä kantavaa, että ei-kantavaa rakennetta. Kantaville seinille tulee useimmiten oman painon aiheuttaman kuormituksen lisäksi hyötykuormaa. Ei-kantava seinä taas on rakenne, jonka ei katsota kantavan kuormia, ja joka voidaan poistaa ilman erillisiä rakennekokonaisuuden tarkasteluja. (RIL 206-2010, 2010, s. 21)

4.1 Raudoitus

Kahi-väliseinät mitoitetaan yleensä raudoittamattomina rakenteina. Raudoituksen käyttö kuitenkin on tarpeen vaatiessa mahdollista. Raudoittamalla rakenne voidaan sen taivutus-, leikkaus- ja vetokestävyyttä saada paremmaksi sekä pystytään estämään hauras murtuma. Näin voidaan saada myös pidemmät liikuntasaumavälit sekä pystytään sallimaan suuremmat momentti- ja piste-kuormarasitukset.

Kahi-tiilirakenteissa tavallisimmin raudoitteet asennetaan muuraussaumoihin tai palkkitiilien uriin. Tällöin sauman tulee olla paksuudeltaan 1,5-kertainen raudoitteen paksuuteen nähden, ja sisätiloissa sijaitsevan rakenteen saumalaastin lujuusluokaltaan vähintään M5. Harkoista muurattavissa seinissä raudoitus voidaan asettaa yläpinnan uraan tai paksumpana tehtävään laastisaumaan. Pystyraudoitus saadaan juotettua harkon pystysuuntaisiin onkaloihin. (Sain-Gobain Weber, 2022, s. 37)

Irtotankoja käytettäessä raudoitustangon vähimmäispaksuus tulee olla 5 millimetriä. Enimmäispaksuuden tulee olla ankkuroinnin kannalta tarpeeksi suuri sekä mahdollistaa tarpeellinen betoni- tai laastipeite. Raudoitetulla rakenteella myös ankkuroinnin riittävyys tarkastetaan laskelmin. Kuvassa 3 esitetään laastipeitteiden minimimitat vaakasaumojen raudoituksissa. (RIL 206-2010, 2010, s. 83)



Kuva 3 Raudoitteen laastipeite vaakasaumoissa (RIL 206-2010, 2010, s. 83)

4.2 Rajatilamitoitus

Mitoitusmenetelmänä käytetään rajatilamenetelmää, jossa rajatilat ovat murto- ja käyttörajatila. Murtorajatilatarkastelussa osoitetaan, että laskentalujuuksien avulla laskettu rakenteen tai poikkileikkauksen kestävyys on ainakin yhtä suuri, kuin vastaavan laskentakuormista määritetyn rasituksen suuruinen. Käyttörajatilatarkastelussa taas osoitetaan, ettei ominaislujuuksien ja ominaiskuormien perusteella lasketut rakenteen halkeamat ja siirtymät ylitä hyväksyttävien arvojen ylärajaa. (Kinnunen, 1988, s. 25) Muuratut rakenteet mitoitetaan murto-rajatilassa, ja käyttörajatilan osalta tehdään vain tarkastus, ettei se tule määräväksi.

Murto-rajatilassa mitoitettavien rakenteiden suunnittelussa käytetään osavarmuuskertoimia, joiden arvot ovat luettavissa kuvan 4 taulukosta. Kyseiset arvot pätevät normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa. Onnettomuustilanteita mitoitettaessa osavarmuuskertoimia ei oteta huomioon, eli toisinsanottuna silloin kertoimen arvo on 1. (Ympäristöministeriö, 2016, s. 9)

γ_M (normaalisti vallitseva mitoitusilanne)	
Muurattu rakenne, jossa käytetään:	
- kategorian I muurauskappaleita ja ominaisuuslaastia ^a	1,8
- kategorian I muurauskappaleita ja muuta kuin ominaisuuslaastia ^b	2,4
- kategorian II muurauskappaleita ja mitä tahansa laastia ^{a,b,d}	2,5
Raudoituksen ankkurointi	1,8
Rauditus ja jänneteräs	1,15
Standardin SFS-EN 845-1 mukaiset muuraussiteet, vanteet, kannattimet ja konsolit sekä standardin SFS-EN 845-2 mukaiset ylityspalkit ^c , valmistaja ei ilmoita murtotapaa.	3,2
Valmistaja voi ilmoittaa tuotteen murtumistavan. Käytettävä osavarmuusluku voidaan laskea seuraavasti. Murtuminen tapahtuu:	
- betonissa, puussa tai muurauksessa tai niiden rajapinnassa	1,35 γ_{M1}
- teräksessä, alumiinissa tai betoniteräksessä	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 osavarmuusluku	
^a Ominaisuuslaastien vaatimukset on esitetty standardeissa SFS-EN 998-2 ja SFS-EN 1996-2. Suomessa käytettävät laastit ovat ominaisuuslaasteja. Tällöin valmistaja ilmoittaa laastin ominaisuudet. ^b Reseptilaastin vaatimukset on esitetty standardeissa SFS-EN 998-2 ja SFS-EN 1996-2 ^c Ilmoitetut kestävyysarvot ovat keskiarvoja. ^d Kun kategorian II muurauskappaleiden variaatiokerroin on enintään 25%.	

Kuva 4 Osavarmuuskertoimien γ_M arvot (Ympäristöministeriö, 2016, s. 10)

4.3 Mitoitusmenetelmät ja kaavat

Tässä luvussa esitetään puristus- sekä taivutusrasitettujen väliseinärakenteiden mitoituksessa tarvittavat kaavat sekä periaatteet, sekä raudoitusta tarvitseville taivutetuille rakenteille ohjeet rauditusmäärän laskemiseen.

4.3.1 Puristettu rakenne

Muurin puristuslujuuden ominaisarvo määritetään kaavalla (1).

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta, \quad (1)$$

jossa:

- K on vakio taulukon 5 mukaan
- α ja β ovat vakioita seuraavasti:
 - Yleislaastia käytettäessä: $\alpha = 0,65$ $\beta = 0,25$
 - Kevytlaastia käytettäessä $\alpha = 0,65$ $\beta = 0,25$
 - Ohutsaumalaastia käytettäessä:
 - seuraaville muurauskappaleille: $\alpha = 0,85$ $\beta = 0$
 - poltettu tiili, aukkoryhmät 1 ja 4
 - kalkkiahiekkatiilet ja -harkot
 - betoniharkot (kevyt- ja normaalipainoinen kiviaines)
 - höyrykarkaistut kevytbetoniharkot
 - seuraaville muurauskappaleille: $\alpha = 0,7$ $\beta = 0$
 - poltettu tiili, aukkoryhmät 2 ja 3
- f_b on muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus [N/mm²]
- f_m on laastin puristuslujuus [N/mm²] (RIL 206-2010, 2010, s. 173)

Taulukko 5 Kertoimen K arvot (RIL 206-2010, 2010, s. 173)

Muurauskappale		Yleislaasti	Ohutsaumalaasti (vaakasauma $\geq 0,5$ mm ja ≤ 3 mm)	Kevytlaasti, tiheys	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_d \leq 1300$ kg/m ³
Poltettu tiili	aukkoryhmä 1	0,60	0,75	0,35	0,45
	aukkoryhmä 2	0,50	0,70	0,30	0,35
	aukkoryhmä 3	0,40	0,50	0,25	0,30
	aukkoryhmä 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Kalkkiahiekkatiili tai -harkko	aukkoryhmä 1	0,60	0,80	-	-
	aukkoryhmä 2	0,50	0,65	-	-
Betoni (kevyt- ja normaalipainoinen kiviaines)	aukkoryhmä 1	0,65	0,85	0,50	0,50
	aukkoryhmä 2	0,55	0,70	0,50	0,50
	aukkoryhmä 3	0,50	0,55	-	-
	aukkoryhmä 4	0,45	-	-	-
Karkaistunut kevytbetoni	aukkoryhmä 1	0,65	0,85	0,50	0,50

Puristuslujuuden f_k perusteella saadaan määritettyä kimmokerroin kaavalla (2). Kertoimen K_E arvo saadaan Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta Muuratut rakenteet 2016 sivulta 15.

$$E = f_k \cdot K_E \quad (2)$$

Puristuslujuuden f_k sekä materiaalin osavarmuusluvun Y_M perusteella määritetään puristuslujuuden mitoitusarvo kaavalla (3).

$$f_d = \frac{f_k}{Y_M} \quad (3)$$

Rakenteen hoikkuusluku lasketaan kaavalla (4) tehollisen korkeuden ja paksuuden suhteesta. Hoikkuusluvun raja-arvo on kantavilla rakenteilla 27 (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 44).

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 27, \quad (4)$$

jossa tehollinen korkeus sekä tehollinen paksuus ovat kaavojen (5) ja (6) mukaan määritetty (RIL 206-2010, 2010, s. 51-53)

$$h_{ef} = p_n \cdot h, \quad (5)$$

jossa p_n on seinän tuentatavasta riippuva pienennyskerroin, joka on 1, kun rakennemallina käytetään päistään nivelöityä sauvaa (RIL 206-2010, 2010, s. 52)

$$t_{ef} = t \quad (6)$$

Mitoituksissa huomioon otettavista epäkeskisyyksistä ensin lasketaan alkuepäkeskisyyksyys kaavalla (7). Alkuepäkeskisyyys oletetaan koko seinän korkeudelle. (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 41)

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} \quad (7)$$

Kokonaispäkeskisyyden laskemiseen käytetään kaavaa (8) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 52). e_{he} on vaakakuormista johtuva epäkeskisyys.

$$e_m = \frac{M_d}{N_d} + e_{he} + e_{init} \quad (8)$$

Epäkeskisyydelle on annettu myös minimiepäkeskisyys, joka saadaan kaavalla (9) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 51). Arvoa käytetään, jos se on pienempi kuin kokonaispäkeskisyyden arvo.

$$e_{min} = 0,05 \cdot t_{ef} \quad (9)$$

Seinän pystykuormien mitoituskestävyyden seinän ylä- ja alareunassa laskemiseen tarvitaan pienennyskerrointa seinän ylä- ja alapäässä. Tämä lasketaan kaavalla (10). (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 51)

$$\phi_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_1}{t} \quad (10)$$

Pystykuormien mitoituskestävyys saadaan täten kaavalla (11) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 11).

$$N_{Rd1} = \phi_1 \cdot t \cdot f_d \quad (11)$$

Viruman aiheuttama epäkeskisyys lasketaan kaavalla (12) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 53).

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_{\infty} \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m}, \quad (12)$$

jossa virumaluku ϕ_∞ saadaan Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta Muuratut rakenteet 2016 taulukosta 6. Viruman aiheuttamaa epäkeskisyyttä ei kuitenkaan oteta huomioon hoikkuusluvun ollessa alle raja-arvon 27. (Sain-Gobain Weber, 2022, s. 28)

Kokonaisepäkeskisyyden sekä virumasta aiheutuvan epäkeskisyyden summasta saadaan seinän lopullinen epäkeskisyyden seinän korkeuden puolivälissä kaavalla (13) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 52).

$$e_{mk} = e_m + e_k \quad (13)$$

Kaavalla (14) selvitetään hoikkuuden ja epäkeskisyyden pienennyskerroin ϕ_m SFS-EN 1996-1-1+A1 liitteen G mukaisilla ohjeilla, joissa kimmokertoimen arvona käytetään pitkäaikaiskerrointa. Pitkäaikaiskimmokertoimessa viruman vaikutus on valmiiksi huomioitu. Pienennyskerroin seinän korkeuden puolivälissä määritetään kimmokertoimen sekä puristuslujuuden ominaisarvon perusteella.

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{-u^2}{2}}, \quad (14)$$

jossa käytetään kaavoista (15), (16), ja (17) saatavia arvoja sekä luonnollisen logaritmin kantalukua e .

$$\lambda_1 = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} \quad (15)$$

$$u = \frac{\lambda_1 - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot e_{mk}/t} \quad (16)$$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} \quad (17)$$

Seinän pystykuormien mitoituskestävyys seinän korkeuden keskiosalla saadaan kaavalla (18) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 50)

$$N_{Rd2} = \phi_m \cdot t \cdot f_d \quad (18)$$

Seinän mitoituskestävyyden arvona käytetään seinän ylä- ja alaosan sekä keskiosan mitoituskestävyyksistä pienempää. Tämän arvon tulee olla suurempi kuin seinään kohdistuvan rasituksen, jotta rakenne kestää.

4.3.2 Taivutettu rakenne

Muurin mitoitustaivutuslujuudet mitoitetaan kaavoilla (19) ja (20). Niissä tarvittavien taivutuslujuuksien f_{xk1} ja f_{xk2} arvot saadaan Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta Muuratut rakenteet sivuilla 14 ja 15 olevista taulukoista, jotka esitetään kuvissa 5 ja 6. Kaava (19) koskee vaakasaumojen suuntaista murtotasoa, ja kaava (20) pystysuuntaista eli vaakasaumojä vastaan kohtisuorassa tasossa olevaa murtotasoa.

Muurauskappaleen lujuus	f_{xk1} (N/mm ²)	
	Yleislaasti ja ohutsaumalaasti	
	$f_m \leq 5$ N/mm ²	$f_m \geq 10$ N/mm ²
$f_b \leq 20$ N/mm ²	0,15	0,20
$f_b = 25$ N/mm ²	0,20	0,25
$f_b \geq 35$ N/mm ²	0,20	0,35
Huomautus 1. Väliarvot voidaan interpoloida.		
Huomautus 2. Muille laastityypeille taivutusvetolujuuden ominaisarvo f_{xk1} määritetään projektikohtaisesti.		

Kuva 5 Kalkkihiekkatiilien sekä -harkkojen ja poltettujen tiilien taivutusvetolujuuksien f_{xk1} ominaisarvot (Ympäristöministeriö, 2016, s. 14)

Muurauskappaleen lujuus	$f_{yk2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$	
	Yleislaasti ja ohutsaumalaasti	
	$f_m \leq 5 \text{ N/mm}^2$	$f_m \geq 10 \text{ N/mm}^2$
$f_b \leq 20 \text{ N/mm}^2$	0,45	0,60
$f_b = 25 \text{ N/mm}^2$	0,45	0,75
$f_b \geq 35 \text{ N/mm}^2$	0,60	1,05
<p>Huomautus 1. Väliarvot voidaan interpoloida.</p> <p>Huomautus 2. Jos pystysaumoissa ei käytetä laastia, kerrotaan taulukossa esitetyt arvot pienennyskertoimella 0,7.</p> <p>Huomautus 3. Muille laastityypeille taivutusvetolujuuden arvo f_{yk2} arvo määritetään projektikohtaisesti.</p>		

Kuva 6 Kalkkihiekkatiilien sekä -harkkojen ja poltettujen tiilien taivutusvetolujuuksien f_{yk2} ominaisarvot (Ympäristöministeriö, 2016, s. 15)

$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{Y_M} \quad (19)$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{Y_M} \quad (20)$$

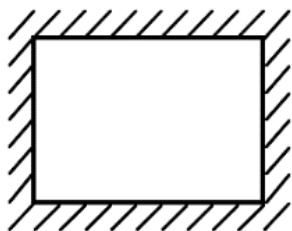
Mitoitustaivutuslujuuksien suhteesta saadaan laskettua ortogonaalisuhde kaavalla (21) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 49).

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} \quad (21)$$

SFS-EN 1996-1-1+A1 liitteestä E saadaan määritettyä taivutusmomenttien kertoimet rakenteen ulkomittojen suhdeluvun perusteella. Esimerkkinä kuvan 7 taulukon arvot pätevät neljältä sivulta tuetuille seinille. Suhdeluku lasketaan kaavalla (22).

$$\frac{h}{L} \quad (22)$$

Seinän tuenta
E



μ	h/l							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
1,00	0,008	0,018	0,030	0,042	0,051	0,059	0,066	0,071
0,90	0,009	0,019	0,032	0,044	0,054	0,062	0,068	0,074
0,80	0,010	0,021	0,035	0,046	0,056	0,064	0,071	0,076
0,70	0,011	0,023	0,037	0,049	0,059	0,067	0,073	0,078
0,60	0,012	0,025	0,040	0,053	0,062	0,070	0,076	0,081
0,50	0,014	0,028	0,044	0,057	0,066	0,074	0,080	0,085
0,40	0,017	0,032	0,049	0,062	0,071	0,078	0,084	0,088
0,35	0,018	0,035	0,052	0,064	0,074	0,081	0,086	0,090
0,30	0,020	0,038	0,055	0,068	0,077	0,083	0,089	0,093
0,25	0,023	0,042	0,059	0,071	0,080	0,087	0,091	0,096
0,20	0,026	0,046	0,064	0,076	0,084	0,090	0,095	0,099
0,15	0,032	0,053	0,070	0,081	0,089	0,094	0,098	0,103
0,10	0,039	0,062	0,078	0,088	0,095	0,100	0,103	0,106
0,05	0,054	0,076	0,090	0,098	0,103	0,107	0,109	0,110

Kuva 7 Taivutusmomentin kerroin a_2 (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 90)

Taulukosta luettavissa olevan a_2 arvon avulla saadaan laskettua kerroin a_1 kaavalla (23) (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 88).

$$a_1 = \mu \cdot a_2 \quad (23)$$

Taivutusmomenttien kertoimien arvojen ollessa selvillä, saadaan laskettua varsinaiset taivutusmomentit. Nämä lasketaan murtotason ollessa vaakasuuntainen kaavalla (24) sekä murtotason ollessa kohtisuoraan vaakasaumoja vastaan kaavalla (25). (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 49)

$$M_{ed1} = a_1 \cdot q_w \cdot L^2 \quad (24)$$

$$M_{ed2} = a_2 \cdot q_w \cdot L^2 \quad (25)$$

Seinän taivutuskestävyyksien mitoittamiseksi tarvitaan poikkileikkauksen kimmoinen taivutusvastus, joka lasketaan kaavalla (26).

$$Z = \frac{(t)^2}{6} \quad (26)$$

Itse taivutuskestävyydet saadaan kaavoilla (27) ja (28). Kaavasta (27) saadaan arvo taivutuskestävyydelle murtotason ollessa vaakasuuntainen, ja

kaavasta (28) murtotason ollessa kohtisuoraan vaakasaumojia vastaan. (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 55) Jotta rakenne kestää, näistä saatavien arvojen tulee olla suuremmat kuin taivutusmomenttien arvot.

$$M_{Rd1} = f_{xd1} \cdot Z \quad (27)$$

$$M_{Rd2} = f_{xd2} \cdot Z \quad (28)$$

4.3.3 Taivutettu raudoitettu rakenne

Tarvittaessa raudoitusta rakenteeseen, tulee ensimmäiseksi laskea suhteellinen momentti kaavalla (29).

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_d} \quad (29)$$

Suhteellisen momentin tulee alittaa raja-arvo, joka on määritelty kuvan 8 taulukossa.

	$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$	$f_{yk} = 600 \text{ N/mm}^2$
Aukkoryhmä 1, muut kuin kevytrunkoaineiset muurauskappaleet	$\mu_{\max} = 0,358$	$\mu_{\max} = 0,338$
Aukkoryhmä 1, kevytrunkoaineiset muurauskappaleet	$\mu_{\max} = 0,300$	$\mu_{\max} = 0,300$
Aukkoryhmät 2, 3 ja 4	$\mu_{\max} = 0,292$	$\mu_{\max} = 0,269$

Kuva 8 Suhteellisen momentin yläraja-arvot (RIL 206-2010, 2010, s. 74)

Seuraavaksi määritetään puristuspinnan suhteellinen korkeus kaavalla (30), sekä sisäinen momenttivarssi kaavalla (31) ja sisäisen momenttivarren maksimiarvo kaavalla (32).

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} \quad (30)$$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) \quad (31)$$

$$z_{max} = 0,95 \cdot d \quad (32)$$

Edellisten kohtien perusteella saadaan selville vaadittava teräsmäärä käyttämällä kaavaa (33) ja minimiteräsmäärä kaavalla (34).

$$A_{s.vaad} = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} \quad (33)$$

$$A_{s.min} = \frac{0,0003 \cdot b \cdot d}{2} \quad (34)$$

Kaavoista (33) ja (34) suuremmalla arvolla saadun teräsmäärän perusteella valitaan käytettävä teräs. Valitun teräksen perusteella laskettava todellinen rakenteeseen tuleva teräsmäärä saadaan kaavalla (35).

$$A_s = \pi \cdot r^2 \quad (35)$$

Raudoitettun rakenteen taivutuskestävyyden laskemiseksi tarvitaan momenttivarssi z_r kaavalla (36), ja sen maksimiarvo kaavalla (37).

$$z_r = d \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_d}\right) \quad (36)$$

$$z_{r.max} = 0,95 \cdot d \quad (37)$$

Taivutuskestävyys lasketaan kaavalla (38). M_{Rd} arvo ei kuitenkaan voi olla suurempi kuin kaavalla (39) laskettava maksimiarvo.

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_r \quad (38)$$

$$M_{Rd,max} \leq \mu_{max} \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \quad (39)$$

(RIL 206-2010, 2010, s. 73-74)

Leikkauskestävyyden tarkastelussa leikkausvoiman V_{Ed} tulee olla enintään leikkauskestävyyden V_{Rd} suuruinen. Leikkausvoima saadaan kaavalla (40). (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 65)

$$V_{Ed} = \frac{q \cdot L \cdot 1m}{2} \quad (40)$$

Leikkausraudoittamattoman rakenteen leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla (41).

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t \cdot l, \quad (41)$$

jossa:

- f_{vd} on rakenteen leikkauslujuuden mitoitusarvo
- t on seinän paksuus
- l on seinän pituus (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 65)

Leikkauslujuuden mitoitusarvon laskemiseksi tarvitaan sen ominaisarvo f_{vk} , joka saadaan kaavalla (42).

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4\sigma_d, \quad (42)$$

jossa:

- f_{vk0} on taulukosta 6 saatava muurin ominaisleikkauslujuuden perusarvo
- σ_d on kohtisuorasti leikkaustasoa vastaan vaikuttava puristusjännityksen mitoitusarvo

Taulukko 6 Muurin ominaisleikkauslujuuksien perusarvot (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 31)

muurauskappaleet	f_{vk0} (N/mm ²)			
	yleislaasti lujuusluokittain		ohutsaumalaasti (vaakasauma $\geq 0,5$ mm ja ≤ 3 mm)	kevytlaasti
poltettu tiili	M10 - M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 - M9	0,20		
	M1 - M2	0,10		
kalkkiahiekkatiili tai -harkko	M10 - M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 - M9	0,15		
	M1 - M2	0,10		
betoni	M10 - M20	0,20	0,30	0,15
höyrykarkaistu kevytbetoni	M2,5 - M9	0,15		
keinokivi ja mitallistettu luonnonkivi	M1 - M2	0,10		

Leikkauslujuuden ominaisarvo ei kuitenkaan voi olla suurempi kuin kumpikaan kaavojen (43) ja (44) arvoista (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 30).

$$f_{vk.max1} = 0,065f_b, \quad (43)$$

jossa f_b on muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus, kun vaikuttava voima on kohtisuorassa vaakasaumoja vastaan.

$$f_{vk.max2} = f_{vlt}, \quad (44)$$

jossa f_{vlt} on kaavan (45) mukainen, kun muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus on suurempi kuin 5 N/mm² (Ympäristöministeriö, 2016, s. 13).

$$f_{vlt} = 0,065f_b \leq 1 \text{ N/mm}^2 \quad (45)$$

Leikkauslujuuden mitoitusarvon saamiseksi ominaisarvo jaetaan osavarmuuskertoimella kaavan (46) mukaan. Sitten leikkauskestävyyden arvo saadaan kaavalla (41) laskettua.

$$f_{vd} = f_{vk}/Y_M \quad (46)$$

Raudoitetuilla rakenteilla tulee tarkastaa vielä raudoituksen ankkurointi. Näin varmistetaan raudoitustankojen riittävä ankkurointipituus, jotta tangoissa vaikuttavat voimat siirtyvät laastiin eikä rakenteeseen tule pituussuuntaista halkeilua tai lohkeilua. Ankkurointitarkastelussa terästen vetovoima rakenteessa lasketaan kaavalla (47).

$$F_d(x) = \frac{M_{ed}(x)}{z} + V_{ed}(x) \quad (47)$$

Vetovoiman perusteella saadaan ankkuroitava teräspinta-ala kaavalla (48).

$$A_{svaad.ankkurointi} = \frac{F_d}{f_{yd}} \quad (48)$$

Ankkurointipituus suoralla tangolla lasketaan kaavan (49) avulla.

$$l_b = \frac{\phi f_{yd}}{4f_{bod}}, \quad (49)$$

jossa:

- ϕ on raudoitusteräksen tehollinen halkaisija
- f_{bod} on ankkurointilujuuden mitoitusarvo, jonka laskemiseen tarvitaan kaavaa (50)

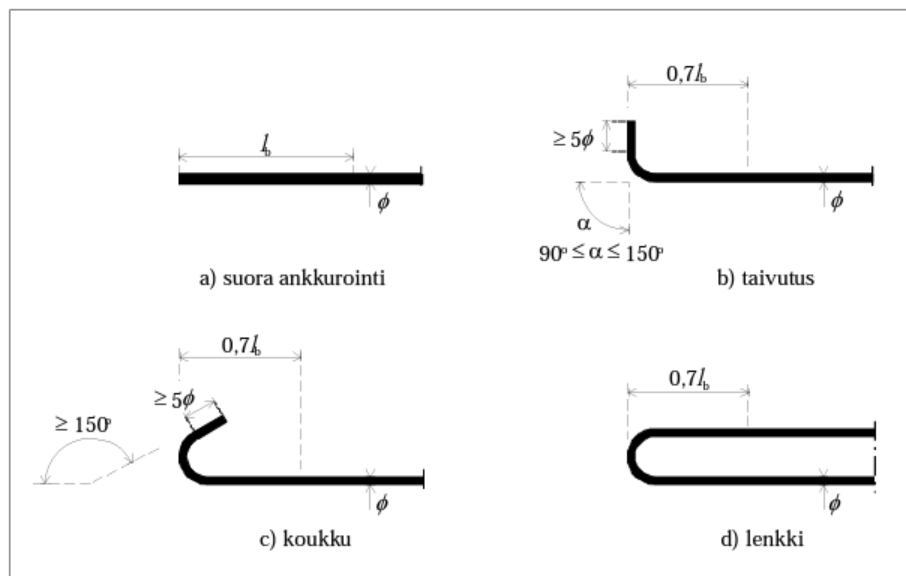
$$f_{bod} = \frac{f_{bok}}{Y_M}, \quad (50)$$

johon tartuntalujuuden ominaisarvo f_{bok} saadaan taulukosta 7.

Taulukko 7 Raudoituksen tartuntalujuuden ominaisarvot muurauslaasteissa (RIL 206-2010, 2010, s. 185)

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

Ankkurointi voidaan suoran ankkuroinnin lisäksi tehdä taivutuksen, koukun tai lenkin avulla kuvan 9 mukaisilla tavoilla. Tällöin ankkurointipituutta voidaan pienentää kertomalla se kertoimella 0.7.



Kuva 9 Ankkurointimalleja (RIL 206-2010, 2010, s. 85)

Käytettävän raudoituspinta-alan ollessa kaavan (48) mukaan laskettua alaa suurempi, voidaan ankkurointipituutta pienentää pinta-alojen suhteen mukaan, jolloin pienennetty pituus saadaan kaavalla (51).

$$l_{bred} = \frac{A_{svaad.ankkurointi}}{A_s} \cdot l_b \quad (51)$$

l_{bred} ei kuitenkaan voi olla pienempi kuin suurin kaavasta (52) saatava arvo.

$$l_{bred.min} = \max(0,3l_b, 10\phi, 100mm) \quad (52)$$

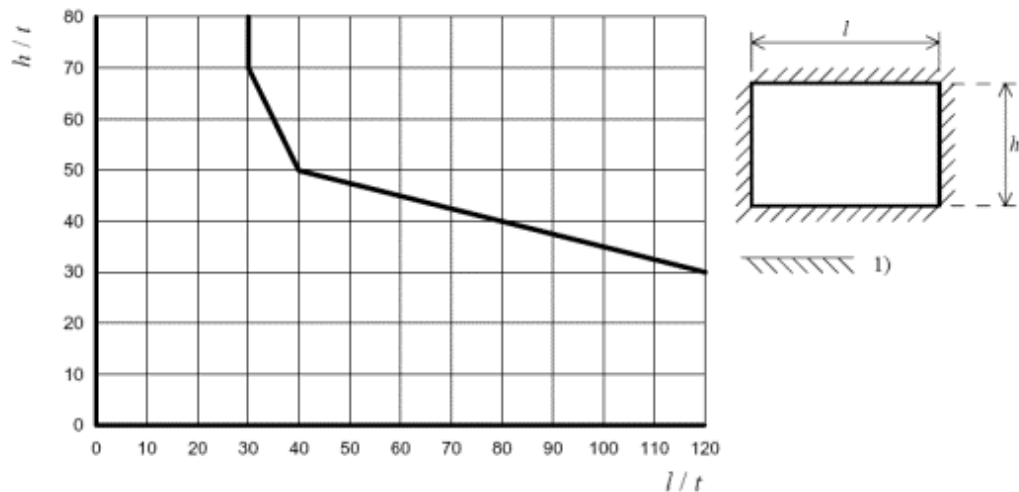
(RIL 206-2010, 2010, s. 84-86)

4.3.4 Käyttörajatilatarkastus

Käyttörajatilatarkastelussa tarvitaan rakenteen korkeuden ja paksuuden sekä pituuden ja paksuuden suhteet, joiden perusteella kuvaajasta katsomalla todetaan tarve käyttörajatilamitoitukselle. Kaavassa (53) esitetään korkeuden ja paksuuden suhde, ja kaavassa (54) pituuden ja paksuuden suhde.

$$\frac{h}{t} \quad (53)$$

$$\frac{L}{t} \quad (54)$$



Kuva 10 Raja-arvot neljältä sivulta tuetuille seinille (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 93)

SFS-EN 1996-1-1 +A1 liitteessä F esitetään eri tavoin tuettujen seinien käyttörajatilan raja-arvot. Jos korkeuden ja paksuuden sekä pituuden ja paksuuden suhteet ovat taulukossa raja-arvokäyrän sisäpuolella, käyttörajatilamitoitusta ei tarvitse tehdä. Kuvassa 10 esimerkkinä neljältä sivulta tuetun seinän raja-arvokäyrä.

5 VÄLISEINÄRAKENTEIDEN MITOITUS

Tässä opinnäytetyössä mitoitettavat väliseinärakenteet ovat korkeudeltaan normaalia suurempia, varsinkin sairaalakohteissa käytettäviä rakenteita. Kantavan seinän tapauksessa tulee seinän normaalivoimakapasiteetti saada riittämään kuormitukseen nähden. Ei-kantava seinä taas mitoitetaan kestämään kuormituksen aiheuttama taivutusmomentti. Aiemmin mainittujen rakenteiden lisäksi mitoitetaan väliseinä ei-kantavana esimerkiksi muuntajien ja kaasupullojen aiheuttamille isommille vaakakuormille, joista onnettomuustilanteessa muodostuu painekuormaa. Rakenteet mitoitetaan yksiaukkoisina seininä ja materiaalina käytetään kalkkiahiekkatiiltä.

Mitoituksissa käytettävät kuormat määritetään Eurokoodi 1 osassa 1–1 olevien ohjeiden mukaisesti, tai käyttämällä mitoituksen kannalta olennaista kuormaa. Murtorajatilassa määrityksessä käytetään varmuuskertoimia, joilla kuormat kerrotaan. Varmuuskertoimet määräytyvät Eurokoodin mukaan. Pysyvien kuormien varmuuskerroin on 1,15, hyötykuormilla kerroin on 1,5.

Pysyvinä kuormina laskemissa käytetään rakenteiden omista painoista johtuvia kuormia. Pysyvänä kuormana g_d käytettävä arvo on tässä tapauksessa 27,6 kN/m, joka saadaan kertomalla yläpuolisen rakenteen omapaino g_k 6 kN/m² kuormitusleveydellä 4 m, sekä murtorajatilan varmuuskertoimella 1,15. Hyötykuormana laskelmissa käytetään Eurokoodin määrittämää luokan C3 määrittämää q_k arvoa 4 kN/m², jolloin kuormitusleveys 4 m ja murtorajatilan varmuuskerroin 1,5 huomioiden kuormitus q_d on 24 kN/m. Ei-kantavaan väliseinään vaikuttavan tuulikuorman q_k arvo on 0,5 kN/m², jolloin varmuuskertoimella kerrottuna suunnitteluarvoksi q_d saadaan 0,75 kN/m². Painekuormalaskelmassa vaakakuorman arvona käytetään A_d 6 kN/m². Pienuutensa vuoksi omasta painosta syntyviä kuormia ei oteta ei-kantavien rakenteiden mitoituksessa huomioon.

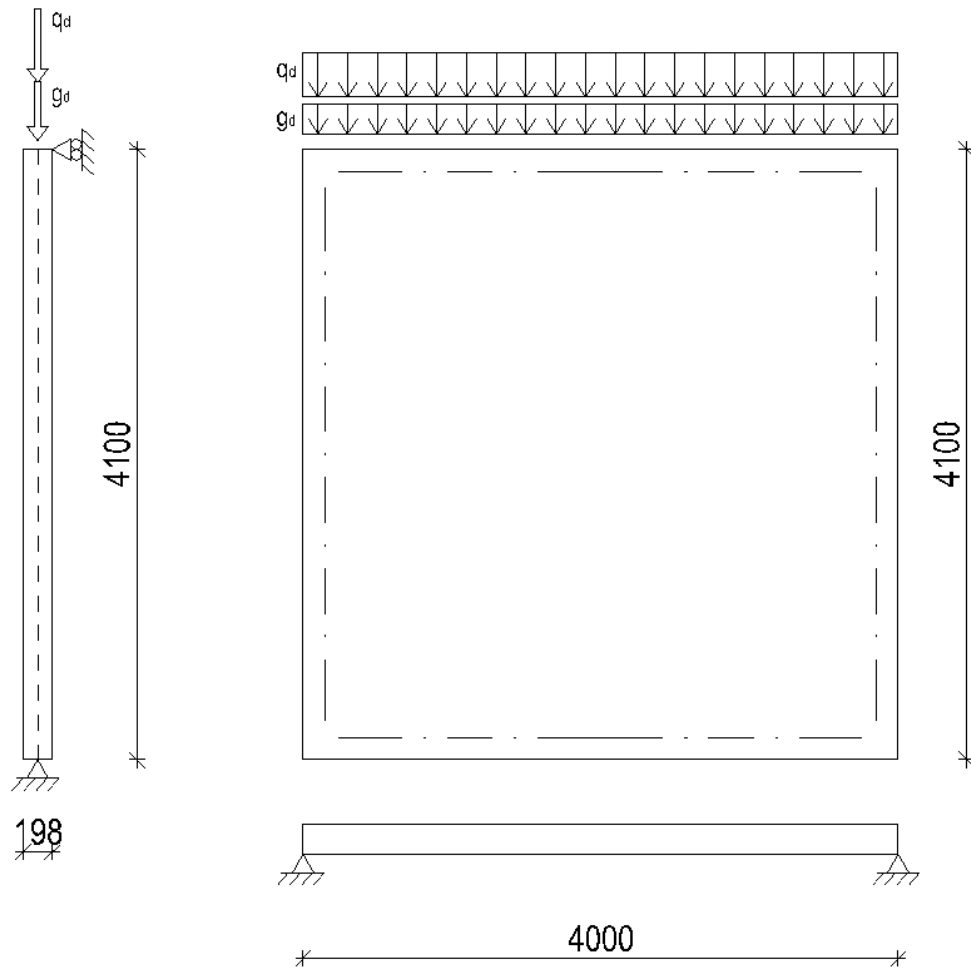
Seuraavissa luvuissa mitoitetaan yhdenkorkeisten seinien esimerkkilaskelmat. Näiden lisäksi Mathcad -ohjelmistolla lasketaan samalla laskuperiaatteella

korkeudeltaan erilaisten seinien vastaavat kestävyysdet. Näistä saatavat tulokset esitetään taulukoituna luvussa 7.

5.1 Kantava väliseinä

Mitoitettava kantava väliseinä on päältä kuormitettu, puristettu rakenne, joka on jokaiselta reunalta tuettu. Seinää voidaan kuormittaa myös sivulta, mutta tässä tapauksessa sivuttaista kuormitusta ei huomioida. Esimerkkilaskelmassa seinän korkeus on 4,1 m, leveys 198 mm ja pituus 4 m. Seinään kohdistuu hyötykuorma koko seinän pituudelta. Laastina käytetään lujuusluokan M5 laastia, jonka puristuslujuus f_m on 5 MPa. Materiaalina käytetään kalkkihiekkatiiltä. Alla on lueteltuna seinän lähtötiedot sekä mitat, jotka näkyvät myös seinän rakennemallia kuvaavassa kuvassa 11. Kuormien arvoissa on jo huomioitu murtorajatilan varmuuskertoimet.

- $h = 4100 \text{ mm}$
- $t = 198 \text{ mm}$
- $L = 4000 \text{ mm}$
- laastin puristuslujuus $f_m = 5 \text{ N/mm}^2$
- kalkkihiekkatiilen normalisoitu puristuslujuus $f_b = 20 \text{ N/mm}^2$
- aukkoryhmä 1
- $q_d = 24 \text{ kN/m}$
- $g_d = 27,6 \text{ kN/m}$
- $M_d = 0 \text{ kN}$
- $N_d = 51,6 \text{ kN/m}$
- $Y_M = 1,8$



Kuva 11 Mitoitettavan seinän rakennemalli

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta = 6,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (1)$$

jossa:

- $K = 0,6$
- $\alpha = 0,65$
- $\beta = 0,25$

$$E = f_k \cdot K_E = 6,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 400 = 2516 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

$$f_d = \frac{f_k}{Y_M} = \frac{6,29 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,8} = 3,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 20,7 < 27 \quad (4)$$

jossa:

$$h_{ef} = 1,0 \cdot h = 4100 \text{ mm} \quad (5)$$

$$t_{ef} = t = 198 \text{ mm} \quad (6)$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 9,1 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} e_m &= \frac{M_d}{N_d} + e_{he} + e_{init} \\ &= \frac{0}{51,4 \text{ kN/m}} + 0 + 9,1 \text{ mm} = 9,1 \text{ mm} \end{aligned} \quad (8)$$

$$e_{min} = 0,05 \cdot t_{ef} = 9,9 \text{ mm} > e_m = 9,1 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\rightarrow e_m = e_{min} = 9,9 \text{ mm}$$

Koska minimiepäkeskisyyden arvo on suurempi kuin kokonaisepäkeskisyyden arvo, kokonaisepäkeskisyytenä käytetään minimiepäkeskisyyttä.

$$\phi_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_m}{t} = 0,9 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} N_{Rd1} &= \phi_1 \cdot t \cdot f_d \\ &= 0,9 \cdot 198 \cdot 3,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 622,7 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (11)$$

$$e_k = 0,002 \cdot \phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{t \cdot e_m} = 2,8 \text{ mm}, \quad (12)$$

jossa $\phi_\infty = 1.5$

Mutta koska hoikkuusluku on tässä tapauksessa alle 27, viruman aiheuttamaa epäkeskisyyttä e_k ei oteta huomioon, jolloin $e_k = 0$.

$$e_{mk} = e_m + e_k = 9,9 \text{ mm} \quad (13)$$

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{-u^2}{2}} \quad (14)$$

$$\lambda_1 = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} = 1,04 \quad (15)$$

$$u = \frac{\lambda_1 - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot e_{mk}/t} = 1,45 \quad (16)$$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} = 0,9 \quad (17)$$

$$\phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{-u^2}{2}} = 0,315, \quad (14)$$

jossa e on luonnollisen logaritmin kantaluku.

$$\begin{aligned} N_{Rd2} &= \phi_m \cdot t \cdot f_d \\ &= 0,315 \cdot 198 \text{ mm} \cdot 3,49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 218,3 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (18)$$

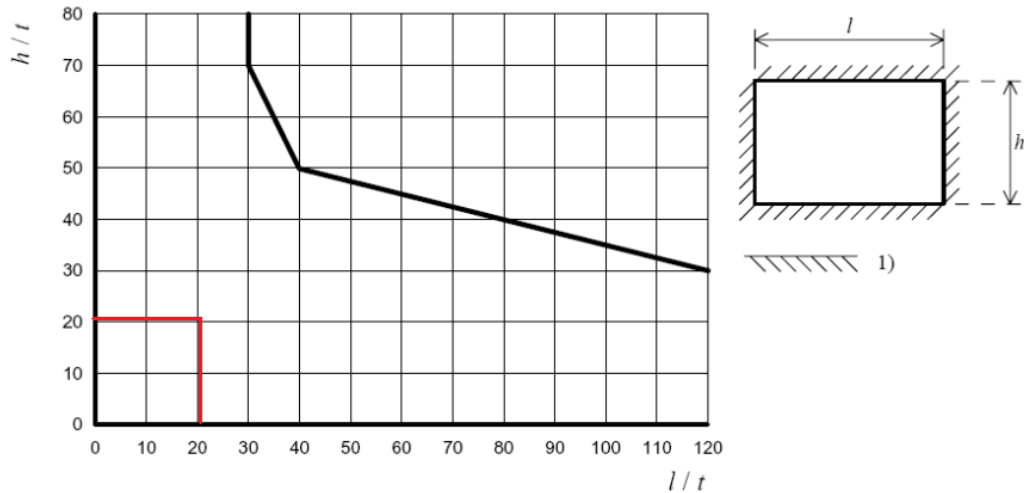
Koska seinän mitoituskestävyys on suurempi seinän ylä- ja alapäässä kuin korkeuden keskiosalla, mitoituskestävyyden arvona käytetään seinän keskiosalla olevaa kestävyttä. Tämä arvo on suurempi kuin seinään kohdistuva rasitus, joten seinä kestää.

$$N_{Rd2} < N_{Rd1} \rightarrow N_{Rd} = N_{Rd2} = 218,3 \text{ kN/m} > N_d = 51,4 \text{ kN/m} \rightarrow \text{ok!}$$

Käyttörajatilatarkastelu:

$$\frac{h}{t} = 20,7 \quad (53)$$

$$\frac{L}{t} = 20,2 \quad (54)$$



Kuva 12 Raja-arvot neljältä sivulta tuetuille seinille (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 93)

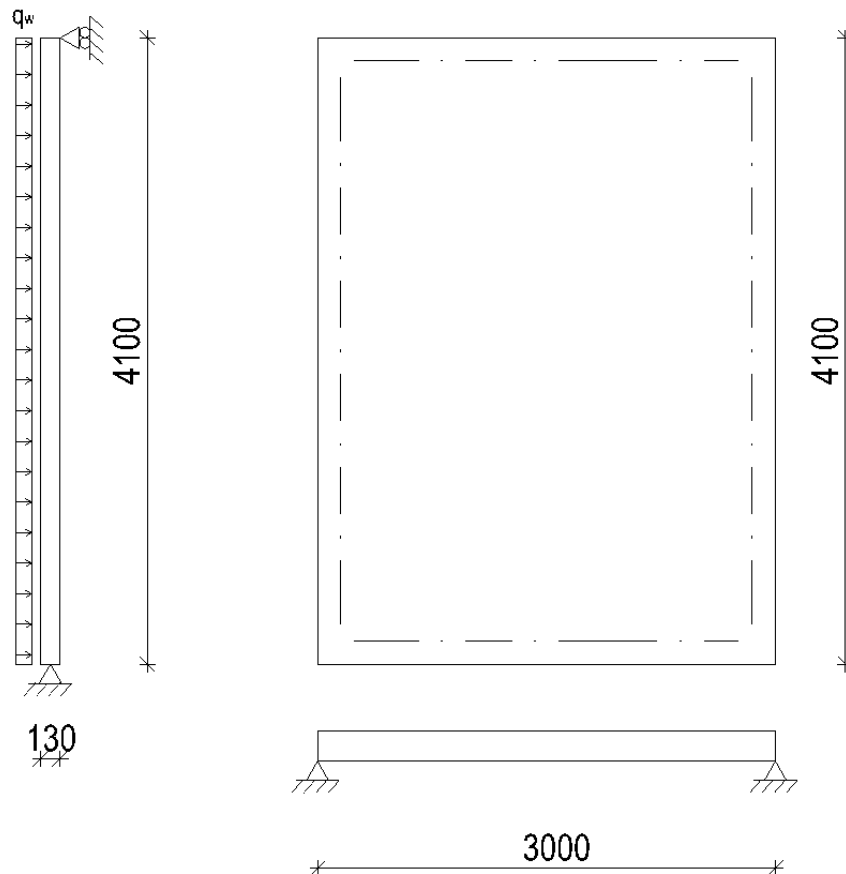
Kuvassa 12 esitettävästä kuvaajasta nähdään, että arvot ovat hyvinkin rajojen sisäpuolella. Käyttörajatilamitoitusta ei tarvitse tehdä.

5.2 Ei-kantava väliseinä

Mitoitettava rakenne on ei-kantava väliseinä, johon kohdistuu vain vaakasuuntainen tuulikuorma. Rakenne on tuettu joka reunalta. Korkeudeltaan rakenne on 4,1 m, paksuudeltaan 130 mm ja pituudeltaan 3 m. Laastina käytetään samaa M5 lujuusluokan laastia kuin kantavan seinän laskelmassa. Materiaalina käytetään kalkkiahiekkatiiltä. Alla lueteltuna seinän lähtötiedot sekä mitat, jotka näkyvät myös rakennemallia kuvaavassa kuvassa 13. Kuormituksissa on jo huomioitu murtorajatilán varmuuskertoimet.

- $h = 4100 \text{ mm}$
- $t = 130 \text{ mm}$
- $L = 3000 \text{ mm}$
- laastin puristuslujuus $f_m = 5 \text{ N/mm}^2$
- kalkkiahiekkatiilen normalisoitu puristuslujuus $f_b = 20 \text{ N/mm}^2$

- aukkoryhmä 1
- $q_d = 0,75 \text{ kN/m}^2$
- $Y_M = 1,8$



Kuva 13 Mitoitettavan seinän rakennemalli

Kuvan 5 taulukosta f_{xk1} :n arvoksi luetaan $0,15 \text{ N/mm}^2$ ja kuvasta 6 f_{xk2} arvoksi saadaan $0,45 \text{ N/mm}^2$.

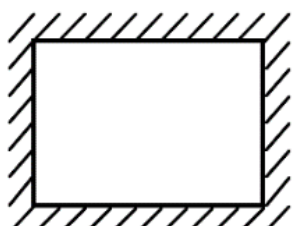
$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{Y_M} = \frac{0,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,8} = 0,083 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (19)$$

$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{Y_M} = \frac{0,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,8} = 0,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (20)$$

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} = 0,33 \quad (21)$$

$$\frac{h}{L} = 1,4 \quad (22)$$

Seinän tuenta
E



μ	h/l							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
1,00	0,008	0,018	0,030	0,042	0,051	0,059	0,066	0,071
0,90	0,009	0,019	0,032	0,044	0,054	0,062	0,068	0,074
0,80	0,010	0,021	0,035	0,046	0,056	0,064	0,071	0,076
0,70	0,011	0,023	0,037	0,049	0,059	0,067	0,073	0,078
0,60	0,012	0,025	0,040	0,053	0,062	0,070	0,076	0,081
0,50	0,014	0,028	0,044	0,057	0,066	0,074	0,080	0,085
0,40	0,017	0,032	0,049	0,062	0,071	0,078	0,084	0,088
0,35	0,018	0,035	0,052	0,064	0,074	0,081	0,086	0,090
0,30	0,020	0,038	0,055	0,068	0,077	0,083	0,089	0,093
0,25	0,023	0,042	0,059	0,071	0,080	0,087	0,091	0,096
0,20	0,026	0,046	0,064	0,076	0,084	0,090	0,095	0,099
0,15	0,032	0,053	0,070	0,081	0,089	0,094	0,098	0,103
0,10	0,039	0,062	0,078	0,088	0,095	0,100	0,103	0,106
0,05	0,054	0,076	0,090	0,098	0,103	0,107	0,109	0,110

Kuva 14 Taivutusmomentin kerroin a_2 (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 90)

Kuvan 14 taulukosta saadaan luettua kertoimen a_2 arvoksi 0,081.

$$a_1 = \mu \cdot a_2 = 0,027 \quad (23)$$

$$\begin{aligned} M_{ed1} &= a_1 \cdot q_w \cdot L^2 \\ &= 0,027 \cdot 0,75 \frac{kN}{m^2} \cdot (3m)^2 = 0,182 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} M_{ed2} &= a_2 \cdot q_w \cdot L^2 \\ &= 0,081 \cdot 0,75 \frac{kN}{m^2} \cdot (3m)^2 = 0,547 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (25)$$

$$Z = \frac{(t)^2}{6} = 2816,7 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd1} &= f_{xd1} \cdot Z \\
 &= 0,083 \frac{N}{mm^2} \cdot 2816,7mm = 0,235 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd2} &= f_{xd2} \cdot Z \\
 &= 0,25 \frac{N}{mm^2} \cdot 2816,7mm = 0,704 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

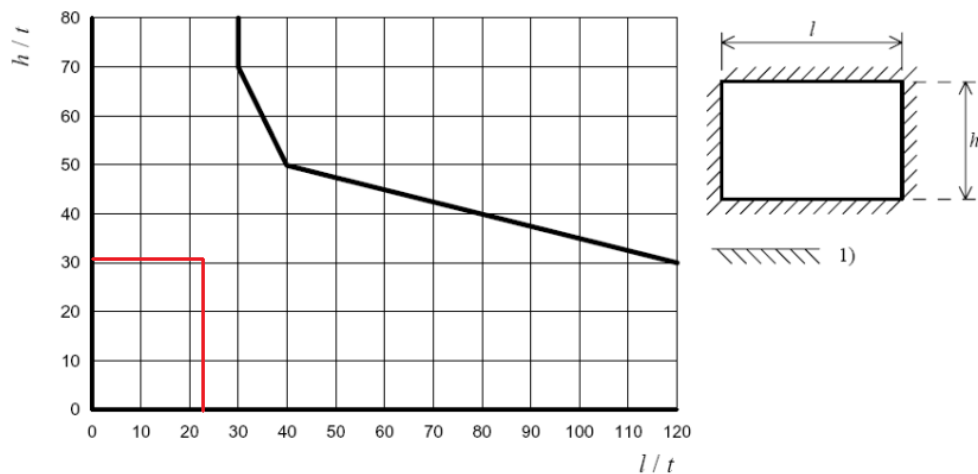
$$M_{ed1} = 0,182 \text{ kNm/m} < M_{Rd1} = 0,235 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{kestää!}$$

$$M_{ed2} = 0,547 \text{ kNm/m} < M_{Rd2} = 0,704 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{kestää!}$$

Käyttöraajatilatarkastelu:

$$\frac{h}{t} = 31,5 \tag{53}$$

$$\frac{L}{t} = 23,1 \tag{54}$$



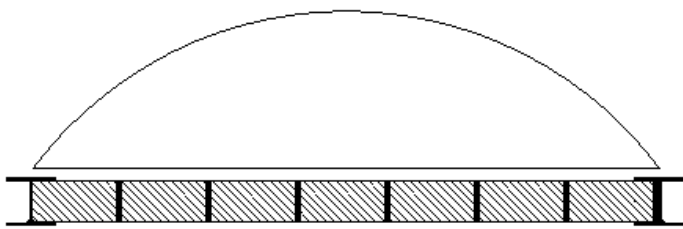
Kuva 15 Raja-arvot neljältä sivulta tuetuille seinille (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 93)

Kuvan 15 kuvaajasta nähdään, että arvot pysyvät raja-arvojen sisällä. Käyttöraajatilamitoitusta ei tarvitse tehdä.

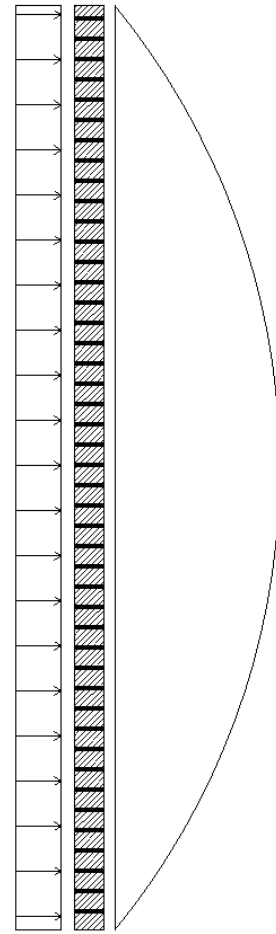
5.3 Paine kuormitettu väliseinä

Mitoitettava muurattu väliseinä ottaa vastaan onnettomuustilanteessa sairaaloissa säilytettävistä laitteista, esimerkiksi kaasupulloista, aiheutuvaa painekuormaa. Rakenne on kolmelta reunalta tuettu. Seinän korkeutena käytetään samaa sairaaloissa tyypillistä 4100 mm korkeutta kuin aiemmissakin laskuesimerkeissä, pituutena 2000 mm ja paksuutena 130 mm. Muurauskappaleena näin ollen voidaan käyttää NKH väliseinätiiltä. Edeltävistä mitoituksista poiketen käytetään M10 luokan laastia, jolloin laastin puristuslujuus on 6 N/mm^2 . Onnettomuusmitoitustilanteen takia materiaalin sekä teräksen osavarmuuskertoimet Y_M ja Y_S ovat tässä tapauksessa 1. Lasku kokonaisuudessaan suoritetaan tarkastelemalla vain onnettomuustilannetta, sillä se on määräävä mitoitustilanne.

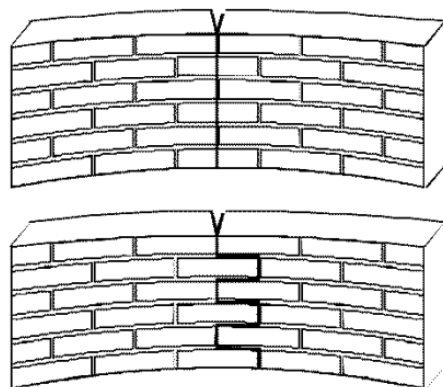
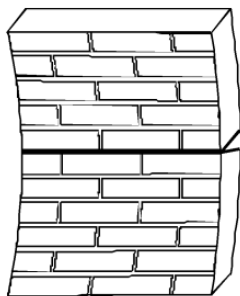
Jotta seinästä saadaan kestävä suurempaa räjähdyskuormaa vastaan, seinä suunnitellaan käyttämällä periaatetta, jossa jänneväli lyhennetään melko pieneksi, tässä tapauksessa kahteen metriin. Tämä saavutetaan tukemalla seinä kahden metrin välein erikseen mitoitettavilla teräspilareilla, joiden periaate näkyy kuvassa 16. Tähän esimerkkilaskuun sopivat HEA160 teräspilarit ovat mitoitettu Steel Member -ohjelmistolla. Ohjelmasta saatu vastaus on esitetty liitteessä 2. Nämä toimivat kantavina rakenteina ottaen pystysuuntaisen momentin vastaan. Näin ollen muuratulle seinälle tulevan räjähdyskuorman aiheuttama momentti on vaakasuuntainen kuvan 16 mukaan, eikä pystysuuntainen kuten kuvassa 17 esitetään.



Kuva 16 Vaakasuuntainen momentti, rakenne kuvattu ylhäältä



Kuva 17 Pystysuuntainen momentti, rakenne kuvattu sivusta



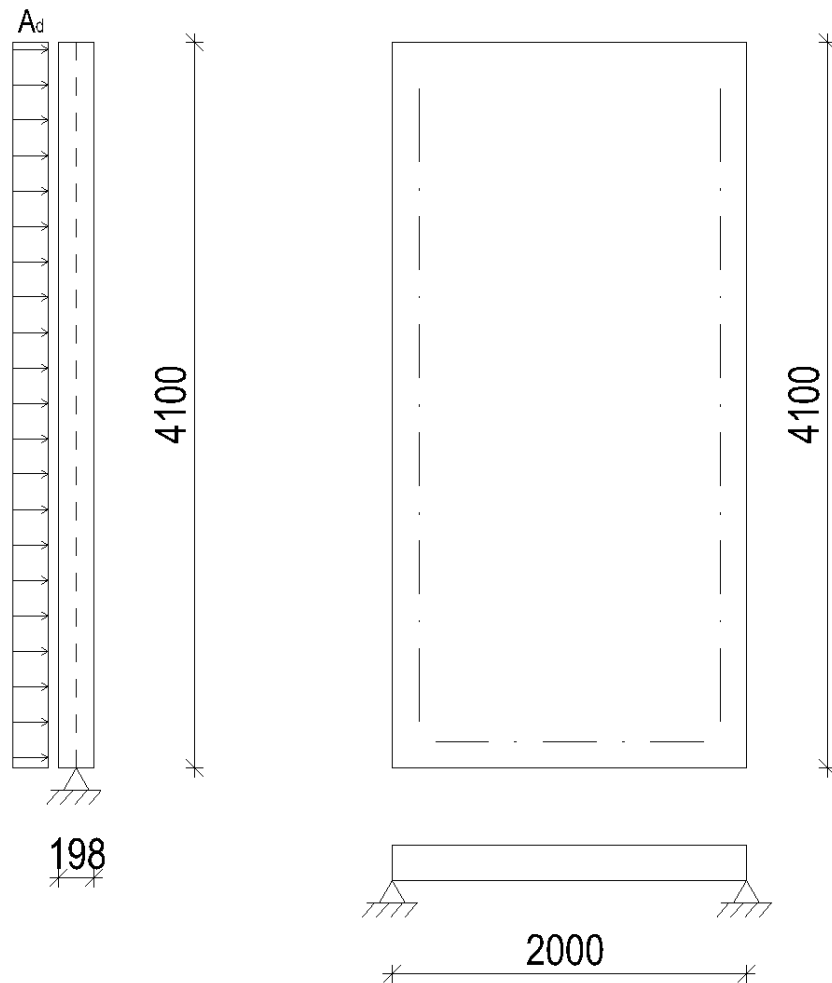
Kuva 18 Murtotasot taivutusrasituksessa (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 32)

Näin ollen tämän tapauksen murtotaso olisi kuvassa 18 näkyvistä murtotasoista oikeanpuoleinen, eli murtotaso olisi kohtisuorassa tasossa

vaakasaumojia vastaan. Vasemmalla puolella esitetty murtotapa on vaakasaumojen suuntainen. Koska vaakasaumojen suuntainen murtotapa on suljettu pois pystysuuntaisen momentin vastaanottavien teräspalkkien avulla, rakenteeseen ei tarvita pystysuuntaista raudoitusta. Täten esimerkkilaskelmassa lasketaan taivutusrasitus ja -kestävyys vain murtotason ollessa vaakasaumojia vastaan kohtisuorassa tasossa, sekä kestävyys takaamiseksi riittävä vaakaraudoitus.

Laskelmassa rakenteeseen vaikuttaa ainoastaan vaakasuuntaisena kuormana vaikuttava räjähdyskuorma. Seinä muurataan kalkkiehkektiilestä. Alla ovat listattuna laskelman lähtötiedot sekä rakenteen mitat, jotka ovat nähtävissä myös rakennemallia esittävässä kuvassa 19.

- $h = 4100 \text{ mm}$
- $t = 130 \text{ mm}$
- $L = 2000 \text{ mm}$
- laastin puristuslujuus $f_m = 6 \text{ N/mm}^2$
- kalkkiehkektiilen normalisoitu puristuslujuus $f_b = 20 \text{ N/mm}^2$
- teräksen lujuuden ominaisarvo $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
- aukkoryhmä 1
- $A_d = 6 \text{ kN/m}^2$
- $Y_M = 1$
- $Y_S = 1$



Kuva 19 Mitoitettavan seinän rakennemalli

f_{xk1} :n arvo $0,16 \text{ N/mm}^2$ ja f_{xk2} :n arvo $0,50 \text{ N/mm}^2$ saadaan interpoloimalla kuvien 5 ja 6 taulukoista väliarvoina.

$$f_{xd1} = \frac{f_{xk1}}{Y_M} = 0,16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (19)$$

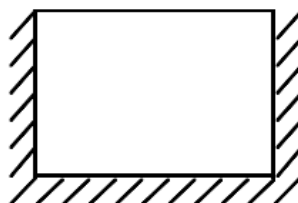
$$f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{Y_M} = 0,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (20)$$

$$\mu = \frac{f_{xd1}}{f_{xd2}} = 0,32 \quad (21)$$

$$\frac{h}{L} = 2,05$$

(22)

Seinän tuenta
A



μ	h/l							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
1,00	0,031	0,045	0,059	0,071	0,079	0,085	0,090	0,094
0,90	0,032	0,047	0,061	0,073	0,081	0,087	0,092	0,095
0,80	0,034	0,049	0,064	0,075	0,083	0,089	0,093	0,097
0,70	0,035	0,051	0,066	0,077	0,085	0,091	0,095	0,098
0,60	0,038	0,053	0,069	0,080	0,088	0,093	0,097	0,100
0,50	0,040	0,056	0,073	0,083	0,090	0,095	0,099	0,102
0,40	0,043	0,061	0,077	0,087	0,093	0,098	0,101	0,104
0,35	0,045	0,064	0,080	0,089	0,095	0,100	0,103	0,105
0,30	0,048	0,067	0,082	0,091	0,097	0,101	0,104	0,107
0,25	0,050	0,071	0,085	0,094	0,099	0,103	0,106	0,109
0,20	0,054	0,075	0,089	0,097	0,102	0,105	0,108	0,111
0,15	0,060	0,080	0,093	0,100	0,104	0,108	0,110	0,113
0,10	0,069	0,087	0,098	0,104	0,108	0,111	0,113	0,115
0,05	0,082	0,097	0,105	0,110	0,113	0,115	0,116	0,117

Kuva 20 Taivutusmomentin kerroin a_2 (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 90)

Kuvan 20 taulukosta saadaan kertoimen a_2 arvoksi 0,107.

$$a_1 = \mu \cdot a_2 = 0,034 \quad (23)$$

$$\begin{aligned} M_{ed2} &= M_{ed} = a_2 \cdot A_d \cdot L^2 \\ &= 0,107 \cdot 6 \text{ kN/m}^2 \cdot (2 \text{ m})^2 = 2,57 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (25)$$

Rakennemallin ollessa melko korkea pituuteen nähden, rakennetta voitaisiin tarkastella myös yhteen suuntaan kantavana, jolloin taivutusmomentti laskettaisiin seuraavalla kaavalla: $M_{ed} = \frac{q \cdot L^2}{8}$. Tästä taivutusmomentin arvoksi saataisiin 3 kNm/m.

$$Z = \frac{(t)^2}{6} = 2816,7 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd.raudoittamaton} &= f_{xd2} \cdot Z \\ &= 0,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2816,7 \text{ mm} = 1,41 \text{ kNm/m} \end{aligned} \quad (28)$$

Kuten kaavan (28) mukaisesti lasketusta taivutuskestävyydestä huomataan, rakenne ei raudoittamattomana kestä.

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta = 6,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad (1)$$

jossa:

- $K = 0,6$
- $\alpha = 0,65$
- $\beta = 0,25$

$$f_d = \frac{f_k}{Y_M} = 6,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (3)$$

Lasketaan tarvittavan vaakaraudoituksen määrä. Koska vaakasaumojen suuntaista murtotasoa ei oteta huomioon, myöskään pystyraudoituksia ei tarvita. Raudoituksessa käytetään teräslaatua A500H, jolloin harjateräksen halkaisijana toimii minimissään 6 mm.

Poikkileikkauksen tehollisena korkeutena d käytetään 100 mm, joka saadaan vähentämällä muurauskappaleen leveydestä pintavara 30 mm. Tarkastellaan metrin levyistä osiota, eli tässä tapauksessa poikkileikkauksen korkeus ja näin ollen arvo b on 1000 mm. Raudoitusteräksen lujuuden ominaisarvo f_{yk} on 500 N/mm². Mitoitusarvo lasketaan jakamalla ominaisarvo osavarmuuskertoimella, mutta koska tässä tapauksessa raudoituksen osavarmuuskertoimen on 1, on myös raudoitusteräksen lujuuden mitoitusarvo f_{yd} 500 N/mm².

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_d} = 0,039 \quad (29)$$

$$\mu \leq \mu_{max} = 0.3 \rightarrow \text{ok!}$$

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.04 \quad (30)$$

$$z = d \cdot \left(1 - \frac{\beta}{2}\right) = 98 \text{ mm} \quad (31)$$

$$z_{max} = 0,95 \cdot d = 95 \text{ mm} \quad (32)$$

$$z \geq z_{max} \rightarrow z = 95 \text{ mm}$$

$$A_{s.vaad} = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} = 54,1 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (33)$$

$$A_{s.min} = \frac{0,0003 \cdot b \cdot d}{2} = 15 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (34)$$

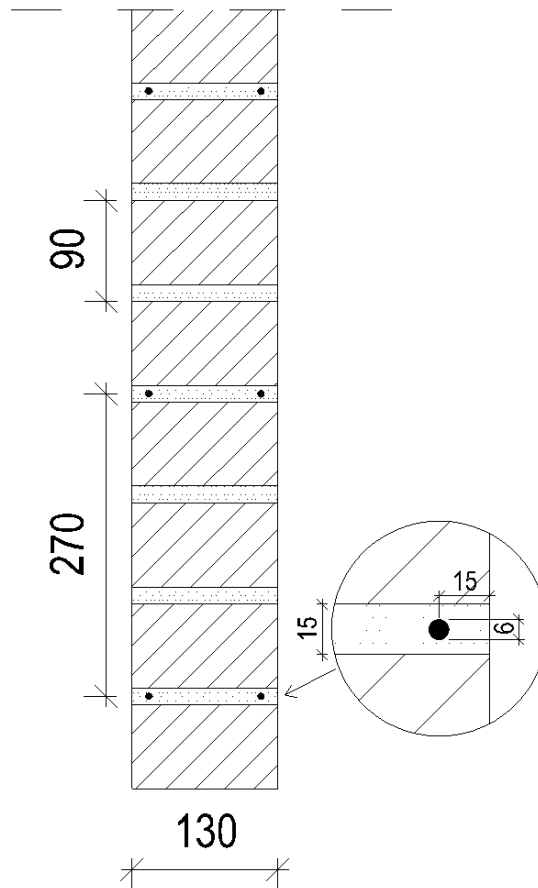
Vaadittava teräsmäärä on minimimäärää suurempi, joten sitä käytetään määrittäessä vetoraudoituksen koko ja näin ollen sen todellinen määrä. Valitaan teräs T6 joka kolmanteen saumaan, jolloin metrin korkuisessa seinäkaistassa raudoitusta tulee kolmeen saumaan.

$$A_s = 3 \cdot \pi \cdot r^2 = 84,8 \text{ mm}^2/\text{m} \quad (35)$$

$$A_s \geq A_{s.vaad} \rightarrow \text{ok!}$$

Valittu teräs tulee rakenteessa molempiin pintoihin, jotta se kestää kummalta puolelta vaan tulevan paineen. Tällöin käytännössä rakenteeseen tuleva teräs on 2T6, vaikka laskennassa huomioidaan vain toisen puolen teräs. Kun raudoitusta tulee joka kolmanteen vaakasaumaan, sen jako on 270 mm.

Raudoitus näyttää rakenteessa kuvan 21 mukaiselta, ja voidaan siis ilmoittaa seuraavanlaisesti: 2T6 k270. Tässä tapauksessa saumapaksuuden tulee olla vähintään 11 mm, jotta se täyttää kuvassa 3 esitetyn laastipaksuuden ehdon. Saumapaksuudeksi valitaan 15 mm.



Kuva 21 Raudoitus 2T6 joka kolmannessa vaakasaumassa

Seinän taivutuskestävyys:

$$z_r = d \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_d}\right) = 96,8 \text{ mm} \quad (36)$$

$$z_{r,max} = 0,95 \cdot d = 95 \text{ mm} \quad (37)$$

$$z_r \geq z_{r,max} \rightarrow z_r = 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd} &= A_s \cdot f_{yd} \cdot z_r \\
 &= 84,4 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 95 \text{ mm} = 4,03 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}
 \tag{38}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Rd,max} &\leq \mu_{max} \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \\
 &\leq 0,3 \cdot 6,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^2 = 19,7 \text{ kNm/m}
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

$$M_{Rd} \leq M_{Rd,max} \rightarrow \text{ok!}$$

Taivutuskestävyyden arvo on suurempi kuin taivutusrasituksen arvo, jolloin rakenne kestää sille tulevan momentin.

$$M_{Rd} = 4,03 \text{ kNm/m} \geq M_{ed} = 2,57 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{kestää!}$$

Rakenne kestäisi myös sivulla 46 lasketun yhteen suuntaan kantavan rakenteen taivutusmomentin (3 kNm/m) arvon.

Seinän leikkauskestävyys:

$$\begin{aligned}
 V_{Ed} &= \frac{q \cdot L \cdot 1\text{m}}{2} \\
 &= \frac{6 \text{ kN/m}^2 \cdot 2\text{m} \cdot 1\text{m}}{2} = 6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

$$\begin{aligned}
 f_{vk} &= f_{vk0} + 0,4\sigma_d \\
 &= 0,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} + 0,4 \cdot 0 = 0,15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2},
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

jossa σ_d on nolla, sillä tässä tapauksessa puristuskuormitusta ei ole.

$$f_{vk.max1} = 0,065f_b = 0,065 \cdot 20 \frac{N}{mm^2} = 1,3 \frac{N}{mm^2} \quad (43)$$

$$\begin{aligned} f_{vlt} &= 0,065f_b \leq 1 \frac{N}{mm^2} \\ &= 1,3 \frac{N}{mm^2} \leq 1 \frac{N}{mm^2} \\ \Rightarrow f_{vlt} &= 1 \frac{N}{mm^2} \end{aligned} \quad (45)$$

$$f_{vk.max2} = f_{vlt} = 1 \frac{N}{mm^2} \quad (44)$$

f_{vk} :n arvo on maksimiarvoja pienempi, joten sitä käytetään.

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{Y_M} = \frac{0,15 \frac{N}{mm^2}}{1} = 0,15 \frac{N}{mm^2} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= f_{vd} \cdot t \cdot l \\ &= 0,15 \frac{N}{mm^2} \cdot 100mm \cdot 1m = 15 \frac{kNm}{m}, \end{aligned} \quad (41)$$

jossa käytetään rakenteen paksuutena tehollista paksuutta 100 mm ja pituutena tarkasteltavaa seinän pituutta 1 m.

$$V_{Rd} = 15 \frac{kNm}{m} \geq V_{Ed} = 6 \frac{kNm}{m} \rightarrow \text{kestää!}$$

Leikkauskestävyyden arvo on rasitusta suurempi, joten se ei tule määrääväksi ominaisuudeksi ja rakenne kestää.

Raudoituksen ankkurointi:

Lasketaan vain ankkurointi tuella, jolloin taivutusmomentti M_{ed} on 0, ja leikkausvoima otetaan huomioon sen maksimiarvona 6 kN.

$$F_{d,t} = \frac{M_{ed,t}}{z} + V_{Ed,max}$$

$$= 0 + 6kN = 6kN$$
(47)

$$A_{svaad.ankkurointi} = \frac{F_{d,t}}{f_{yd}} = \frac{6kN}{500 \frac{N}{mm^2}} = 12mm^2$$
(48)

$$f_{bod} = \frac{f_{bok}}{Y_s} = \frac{2,7 \frac{N}{mm^2}}{1} = 2,7 \frac{N}{mm^2}$$
(50)

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bod}} = \frac{6mm \cdot 500 \frac{N}{mm^2}}{4 \cdot 2,7 \frac{N}{mm^2}} = 277,8mm$$
(49)

$$l_{bred} = \frac{A_{svaad.ankkurointi}}{A_s} \cdot l_b$$

$$= \frac{12mm^2}{84,8mm^2} \cdot 277,8mm = 39,3mm$$
(51)

$$l_{bred.min} = \max(0,3 \cdot l_b, 10 \cdot \phi, 100mm)$$

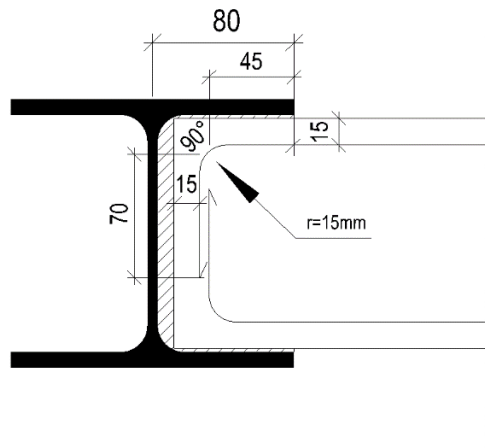
$$= \max(0,3 \cdot 277,8mm, 10 \cdot 6mm, 100mm)$$

$$= 100mm$$
(52)

$$l_{bred} = 39,3mm \leq l_{bred.min} = 100mm$$

Minimiankkurointipituuden ollessa suurempi kuin laskettu pituus, ankkurointipituus määräytyy miniarvon mukaan, ja on näin ollen tuella 100 mm. Tämä saadaan taivutettuna mahtumaan rakenteeseen hyvin, mikä nähdään myös kuvasta 22. Kuvasta 9 näkyvät taivutetun raudoituksen vaatimukset täyttyvät, sillä taivutetun osuuden vaatimus "≥5 ϕ" täyttyy ollen yli 30 mm, ja kulman vaatimus "90° ≤ kulma ≤ 190°" täyttyy ollen 90°. 100 mm ankkurointipituus

tulee täyteen, kun kuvan mukaisesti muurauksen suuntaisesti ankkurointipituutta on 30 mm (45–15) mm, taivutetusti 55 mm (70–15) mm, ja kulmassa $\frac{\pi \cdot 15 \text{ mm}}{2}$ eli 24 mm. Taivutetut raudoituksen osat limitetään kuvassa 22 näkyvällä tavalla.

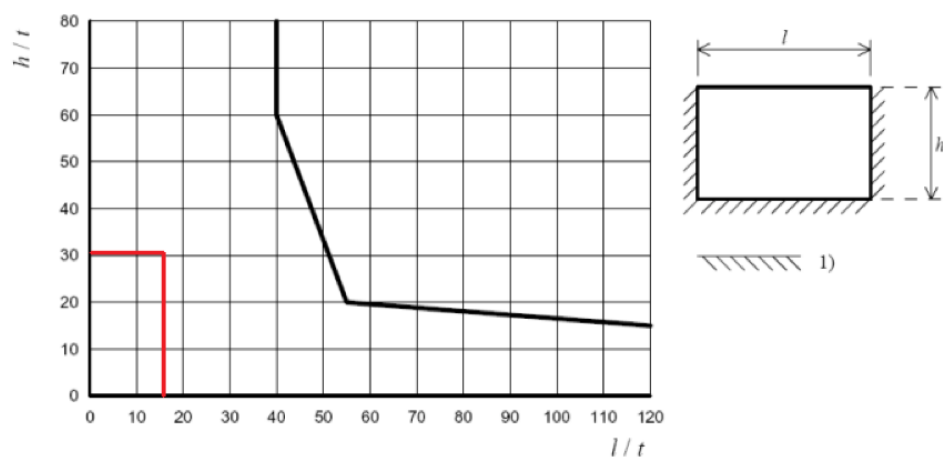


Kuva 22 Raudoituksen ankkurointi

Käyttörajoitilatarkastelu:

$$\frac{h}{t} = 31,5 \quad (53)$$

$$\frac{L}{t} = 15,4 \quad (54)$$



Kuva 23 Raja-arvot kolmelta sivulta tuetuille seinille (SFS-EN 1996-1-1 +A1, 2013, s. 94)

Kuvan 23 kuvaajasta nähdään, että arvot pysyvät raja-arvojen sisällä. Käyttö-
rajatilamitoitusta tarvitse tehdä.

6 TULOKSET

Tässä luvussa esitetään luvussa 6 mitoitettujen kantavan ja ei-kantavan seinärakenteen ja esimerkkilaskujen, sekä niiden perusteella tehtyjen muun korkeisten seinien tulokset, ja painekuormalle mitoitettun rakenteen tulokset.

6.1 Kantava väliseinä

Nämä tulokset ovat peräisin laskelmista, joissa pysyvän kuorman arvo on 27,6 kN ja hyötykuorman arvo 24 kN. Mitoitettava rakenne poikkeaa korkeutensa puolesta tavanomaisista muuratuista seinistä. Taulukosta 8 nähdään, että 130 mm paksuisella NKH tiilellä muuratun 3600 mm korkuisen seinän hoikkuusluvun määrittämä raja-arvo ylittyy, eikä sen kapasiteettikaan riitä kestämään rasitusta. 3600 mm ja sitä korkeammilla seinillä paksuudeksi vaihdettaessa 198 mm KH tiili, kaikki taulukon rakenteet täyttävät hoikkuuslukuvaatimuksen sekä niiden kapasiteetit riittävät. Esimerkiksi 4100 mm korkuisella seinällä rakenteen käyttöaste on noin 23 %.

Taulukko 8 Eri korkuisten ja paksuisten kantavien seinärakenteiden hoikkuusluvut λ sekä normaalivoimakapasiteetit N_{rd}

h [mm]	t [mm]	L [mm]	λ	N_{rd} [kN/m]	N_d [kN/m]
2600	130	4000	20	154,4	51,6
3100	130	4000	23,8	97,3	51,6
3500	130	4000	26,9	60,4	51,6
3600	130	4000	27,7	43,2	51,6
3600	198	4000	18,2	281,5	51,6
4100	198	4000	20,7	218,3	51,6

6.2 Ei-kantava väliseinä

Seuraavat tulokset ovat peräisin laskelmista, joissa pysyvää kuormaa ei ole otettu huomioon, ja tuulikuormana käytetään arvoa $0,75 \text{ kN/m}^2$. Tässäkin tapauksessa mitoitettavan rakenteen korkeus on normaalia suurempi, mitat ovat paksuutta lukuun ottamatta samat kuin edellisessä luvussa käsitellyssä kantavassa rakenteessa. Taulukosta 9 nähdään, että minkään 85 mm paksuisen rakenteen taivutuskestävyys ei kestä taivutusmomenttia, vaan käyttöaste nousee yli sadan prosentin. Esimerkiksi 4100 mm korkuisen seinän käyttöaste on molemmilla murtotasoilla noin 180 %.

Taulukko 9 Eri korkuisten 85 mm paksujen ei-kantavien väliseinien taivutuskestävyydet M_{Rd} tuulikuormalle

h [mm]	t [mm]	L [mm]	M_{Rd1} [kNm/m]	M_{ed1} [kNm/m]	M_{Rd2} [kNm/m]	M_{ed2} [kNm/m]
2600	85	3000	0,100	0,135	0,301	0,405
3100	85	3000	0,100	0,144	0,301	0,432
3600	85	3000	0,100	0,167	0,301	0,500
4100	85	3000	0,100	0,182	0,301	0,547

Taulukossa 10 näkyvät taivutuskestävyyksien arvot ovat saatu muuraamalla rakenne 130 mm paksuisella tiilellä. Näin kaikilla lasketuilla seinäkorkeuksilla taivutuskestävyydet ylittävät taivutusmomenttien arvot. Esimerkiksi 4100 mm korkuisen seinän käyttöaste on molemmilla murtotasoilla noin 77 %. Ero 85 mm paksuiseen rakenteeseen on siis yli 100 %.

Taulukko 10 Eri korkuisten 130 mm paksuisten ei-kantavien väliseinien taivutuskestävyydet M_{Rd} tuulikuormalle

h [mm]	t [mm]	L [mm]	M_{Rd1} [kNm/m]	M_{ed1} [kNm/m]	M_{Rd2} [kNm/m]	M_{ed2} [kNm/m]
2600	130	3000	0,235	0,135	0,704	0,405
3100	130	3000	0,235	0,144	0,704	0,432
3600	130	3000	0,235	0,167	0,704	0,500
4100	130	3000	0,235	0,182	0,704	0,547

6.3 Paine kuormitettu väliseinä

Taulukosta 11 nähdään eri korkuisten ei-kantavien väliseinien taivutuskestävyydet metrin mittaisella alueella, kun rakenteeseen vaikuttaa 6 kN/m^2 räjähdyskuorma. Rakenteisiin on mitoitettu vaakaraudoitukset joka kolmanteen saumaan 4100 mm, 3600 mm ja 3100 mm korkuisilla seinillä, sekä joka neljänteen saumaan 2600 mm korkuisella seinällä. Viimeisellä sarakkeella näkyvät seiniin yhdelle puolelle tarvittavat raudoitusmäärät, jotka ovat ilmoitettu metrin korkuista seinäpalstaa kohden. Raudoituksen avulla rakenteiden kapasiteetit kestävät rasitukset. Esimerkiksi 4100 mm korkuisella seinällä käyttöaste on 64 %.

Taulukko 11 Eri korkuisten 130 mm paksuisten ei-kantavien raudoitettujen väliseinien taivutuskestävyydet M_{Rd} räjähdyskuormalle

h [mm]	t [mm]	L [mm]	M_{Rd} [kNm/m]	M_{ed} [kNm/m]	As [mm²/m]
2600	130	2000	2,68	2,33	56,5
3100	130	2000	4,03	2,42	84,8
3600	130	2000	4,03	2,50	84,8
4100	130	2000	4,03	2,57	84,8

7 POHDINTA

Edellisessä luvussa taulukoitujen tulosten perusteella pystytään vertailemaan kussakin mitoitustyyppissä erikorkuisia seiniä. Tässä luvussa pohditaan olennaisimpia eroja ja ratkaisuja tuloksiin liittyen.

7.1 Kantava väliseinä

Mitoitusta tehdessä kävi ilmi, että 130 mm paksuisella tiilellä muurattavan 4100 mm korkean ja 3000 mm leveän seinän hoikkuusluku ylittää raja-arvon.

Taulukossa 1 esitettävien tiilivaihtoehtojen NKH väliseinätiilen paksuus ei siis tässä tapauksessa riitä. Kuten taulukosta 8 nähdään, 130 mm paksuisella tiilellä voitaisiin hoikkuuslukuvaatimuksen rajoissa muurata vielä 3500 mm korkea seinä, mutta sen kapasiteetti ei kestä siihen kohdistuvaa rasitusta. Tämän korkeampaa seinästä ei voida tehdä hoikkuusluvun rajoittaman ehdon takia, vaikka normaalivoimakapasiteetin puolesta kestävyys olisi hyvä. 3500 mm korkeisella seinällä tiilen vaihtaminen 198 mm paksuiseen KH väliseinätiileen hoikkuusluku saadaan laskettua reilusti alle raja-arvon, ja tällöin myös normaalivoimakapasiteetti nousee. Taulukosta 8 käy myös ilmi, että alun perin halutulle 4100 mm korkealle seinälle saadaan raja-arvoissa pysyvä hoikkuusluku, sekä kuormituksen kestävä normaalivoimakapasiteetti käyttämällä 198 paksuista kalkkihiekkatiiltä.

7.2 Ei-kantava väliseinä

85 mm paksuisella MKH väliseinätiilellä muuratusta seinästä ei saada tuulikuormasta aiheutuvaa taivutusmomenttia kestävää rakennetta, vaikka korkeutta seinällä olisi vain 2600 mm. Raudoittamattomana rakenteen kestävyys saadaan kasvatettua halutulle tasolla nostamalla rakenteen paksuutta. Käyttämällä 130 mm paksuista NKH tiiltä kapasiteetit nousevat kestäviksi tuulikuorman aiheuttamalle momentille.

7.3 Paine kuormitettu väliseinä

85 mm paksuisella MKH väliseinätiilellä rakenne itsessään saataisiin kestävänsä vaakasuuntainen momentti nostamalla rauditusmääriä, mutta tällöin ongelmaksi muodostuu jänneväliä lyhentävien ja pystymomentin vastaanottavien teräspilareiden mitoitus. 85 mm paksuiseen seinään soveltuvien teräspalkkien, esimerkiksi HEA100, taipumat nousevat melko korkeaksi. Nyt mitoitettuihin 130 mm paksuisiin seiiniin saadaan sopimaan hyvin HEA160 pilarit, joiden arvot myös pysyvät sallituissa rajoissa ja taipuma maltillisena. Pilarin arvot ovat nähtävissä liitteessä 1, jossa on Steel Member -ohjelmalla laskettu pilarin kestävyys. Rakenne saadaan hyvin kestävänsä 6 kN/m²

räjähdyskuorma teräspilareiden sekä rakenteeseen asennettavan vaakasuuntaisen raudoituksen avulla.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä muurattuihin rakenteisiin yleisemmin sekä mitoittaa muurattuja rakenteita keskittyen suurempiin rakenteisiin ja painekuorman vaikutukseen rakenteessa. Työn tarkoitus saavutettiin, ja tutkimusongelmana ollut korkeampien rakenteiden kestävyys itsessään sekä painekuorman vaikutuksen alaisena saatiin ratkaistua eri keinoin. Mitoitusmenetelmät sekä esimerkkilaskut esittävät perusperiaatteen ja kaavat rakenteiden suunnittelulle. Vaikka nämä tulokset ja esimerkkilaskut koskevatkin vain käsiteltyjä rakenteita ja materiaalin osalta kalkkihiekkatiiltä, on niitä helppo hyödyntää muunlaisiinkin rakenteisiin. Esimerkkimitoituksista saadut tulokset koottiin taulukoihin, joihin saatiin määriteltyä myös erikorkuisten vastaavien rakenteiden tulokset.

Muuratuista rakenteista olevaa tietoa on melko vähän suhteessa aiheen laajuuteen. Tieto on myös hyvin hajanaista eikä kovinkaan selkeää ja täsmällistä. Etenkin muurattujen rakenteiden aukkoihin liittyvää tietoa olisi hyvä analysoida ja selventää esimerkiksi uuden opinnäytetyön muodossa.

LÄHTEET

- A-Insinöörien www-sivut. (n.d). Viitattu 4.4.2023. <https://www.ains.fi/>
- Kinnunen, J. (1988). Muuratut rakenteet 2. Kuopio. Rakentajain kustannus.
- Kivifaktaa www-sivut. Kahi-tuotteet. (n.d). Viitattu 12.1.2023. <https://kivifaktaa.fi/suomea-rakentamassa/kahi-tuotteet/>
- Kivitaloinfo. (n.d). Kalkkihiekkaharkot. Viitattu 12.1.2023. <https://kivitaloinfo.fi/harkot/kalkkihiekkaharkot/>
- Kivitaloinfo. (n.d). Tiilet. Viitattu 30.1.2023. <https://kivitaloinfo.fi/tiilet/>
- Lastunen, A. (2021). Eurokoodit - Tarkoitus. <https://www.eurocodes.fi/eurokoodit-tarkoitus/>
- RIL 144-1997. (1997). Rakenteiden kuormitusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki.
- RIL 201-1-2017. (2017). Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. Helsinki.
- RIL 206-2010. (2010). Muurattujen rakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL.
- RIL 99. (1975). Muuratut rakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL. Helsinki.
- RT 103283. (2020). Kalkkihiekkatiilet ja -harkot <https://kortistot-rakennustieto.fi/lillukka.samk.fi/resource/juha/content/25404#page=1>
- RT RakMK-21751. (2018). Muuratut rakenteet. <https://kortistot-rakennustieto.fi/lillukka.samk.fi/resource/juha/content/24674#page=1>
- Sain-Gobain Weber. (2022). Kahi-talot, väliseinät ja Facade -harkkojulkisivut. https://www.fi.weber/files/fi/2019-09/4-33_Weber-Kahi-talot_Suunnitteluohje.pdf
- Saint-Gobain Weber. (2021). Kahi Väliseinäpalkki VH/VHR. <https://www.fi.weber/files/fi/2019-04/Kahi-Valiseinapalkki-VH-VHR-Tuotekortti.pdf>
- Scribbr. (n.d). Opinnäytetyön rakenne. Viitattu 28.2.2023. <https://www.scribbr.fi/opinnaytetyon-rakenne/kirjallisuuskatsaus-opinnaytetyo/>
- SFS-EN 1990+A1+AC. (2006) Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/150857.html.stx>

SFS-EN 1991-1-1 + AC. (2002). Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/170636.html.stx>

SFS-EN 1996-1-1 + A1. (2013). Eurokoodi 6. Muurattujen rakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: raudoitettuja ja raudoittamattomia muurattuja rakenteita koskevat yleiset säännöt. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/237794.html.stx>

SFS-EN 1996-2:2006 + AC:2009. (2006). Eurokoodi 6. Muurattujen rakenteiden suunnittelu. Osa 2: Muuratun rakenteen materiaalien valinta ja työn suoritus. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/414263.html.stx>

Tiileri tekninen opas II. (2001). Poltettu tiili ja ympäristö. https://tiileri.fi/wp-content/uploads/2017/04/tekninen_opas_II_2015.pdf

Tiili-infon www-sivut. Tiilen CE-merkinnät. (n.d). Viitattu 12.1.2023. <https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/tiilen-ce-merkinta/>

Wienerberger www-sivut. Kymmenen syytä valita tiili julkisivuratkaisuksi. (n.d). Viitattu 30.1.2023. <https://www.wienerberger.fi/referenssit/pientalot/tiili-julkisivu-10-syyta.html>

Wienerberger www-sivut. Tiilen valmistus. (n.d). Viitattu 12.1.2023. <https://www.wienerberger.fi/inspiroidu-tiilesta/tiilen-valmistus.html>

Ympäristöministeriö. (2016). Rakenteiden lujuus ja vakaus. Muuratut rakenteet. [muuratut_rakenteet_lopullinen_20122016-4E9DAF6E_8E56_44D8_8207_67E6F051B831-123774.pdf](https://www.ymparisto.fi/documents/2012/2016-4E9DAF6E_8E56_44D8_8207_67E6F051B831-123774.pdf) (ym.fi)

Ympäristöministeriö. (n.d). Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kumotut ja vanhentuneet määräykset ja ohjeet. Viitattu 7.2.2023. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITEET

Liite 1	Saint-Gobain Weber Kahi-väliseinätiilet suoritusta-soilmoitus
Liite 2	Steel Member -ohjelmalla laskettu teräspilari luvun 4.2.1 esimerkkilaskuun

C0 Julkinen
3.1.2023

SUORITUSTASOILMOITUS
DECLARATION OF PERFORMANCE

in accordance with EU Construction Products Regulation (CPR) no 305/2011

No. DoP-FI-500023 - 500032-030123

- 1 Tuotetyypin yksilöllinen tunnistus:
Produkttypens unika identifikationskod:/Unique identification code of the product-type:
500023, NKH
500025, NKH Palkkitiili
500026, NKH Roilotiili
500027, NKH Osatiili 35
500029, KH
500030, MKH
500031, MKH Palkkitiili
500032, MKH Roilotiili
- 2 Aiottu käyttötarkoitus (aiotut käyttötarkoitukset):
Användningsändamål:/Intended use or uses:
Muurauskappale sisä- ulkokäyttöön
Protected/unprotected masonry
- 3 Valmistaja:
Tillverkare:/Manufacturer:
Saint-Gobain Finland Oy / Weber
PL 70 (Strömberginkuja 2)
00381 Helsinki
Puhelin: 010 44 22 00, tel. +358 10 44 22 00
www.fi.weber
- 4 Valtuutettu edustaja:
Tillverkarens representant:/Authorised representative:
-
- 5 Suoritusason pysyvyyden arvioinnissa ja varmentamisessa käytetty järjestelmä/käytetyt järjestelmät:
System för bedömning och fortlöpande kontroll prestanda:/System/s of AVCP:
2+
- 6 **a.** Yhdenmukaistettu standardi:
Harmoniserad standard:/Harmonised standard:
EN 771-2:2011+A1:2015
Ilmoitettu laitos/ilmoitetut laitokset:
Anmält övervakningsorgan:/Notified body/ies:
Inspecta Sertifiointi Oy (0416-CPR-5189)

b. Eurooppalainen arviointiasiakirja:

Europeiskt bedömningsdokument:/European Assessment: Document

-

Eurooppalainen tekninen arviointi:

Europeisk teknisk bedömning:/European Technical Assessment:

-

Teknisestä arvioinnista vastaava laitos:

Tekniskt bedömningsorgan:/Technical Assessment Body:

-

Ilmoitettu laitos/ilmoitetut laitokset:

Anmält övervakningsorgan:/Notified body/ies:

-

7

Ilmoitettu suoritustaso/ilmoitetut suoritustasot:

Angiven prestanda:/Declared performance/s:

Olennaiset ominaisuudet Väsentliga egenskaper Essential chracteristics	Tasot ja/tai luokat Prestanda Performance
Mitat Dimensioner Dimensions	<div>Pituus (Length) <div>270 mm</div> <div>270 mm</div> <div>270 mm</div> <div>270 mm</div> <div>270 mm</div> <div>285 mm</div> <div>285 mm</div> <div>285 mm</div> </div> <div>Leveys (Width) <div>130 mm</div> <div>130 mm</div> <div>130 mm</div> <div>130 mm</div> <div>198 mm</div> <div>85 mm</div> <div>85 mm</div> <div>85 mm</div> </div> <div>Korkeus (Height) <div>75 mm</div> <div>75 mm</div> <div>75 mm</div> <div>35 mm</div> <div>75 mm</div> <div>85 mm</div> <div>85 mm</div> <div>85 mm</div> </div>
Sallitut mittapoikkeamat Dimensionella tolleranser Dimensional tolerances	<div>Luokka Class <div>T1</div> </div> <div>Lappeiden tasaisuus Flatness of bed faces <div>NPD</div> </div> <div>Lappeiden yhdensuuntaisuus plane parallelism of bed faces <div>NPD</div> </div>
Kappaleen muoto Konfiguration Configuration	Standardin EN 1996-1-1 aukkoryhmän 1S mukainen Group 1S (geometrical requirement) according to the Standard EN 1996-1-1

Olennaiset ominaisuudet Väsentliga egenskaper Essential chracteristics	Tasot ja/tai luokat Prestanda Performance
Puristuslujuus Tryckhållfasthet Compressive strength	<p>Normalisoitu puristuslujuuden keskiarvo Normalized compressive strength – average</p> <p>Puristuslujuustulosten keskiarvot Compressive strength – average</p> <p>$f_b=20,0 \text{ N/mm}^2$ NKH $f_b=15,0 \text{ N/mm}^2$ MKH $f_b=20,0 \text{ N/mm}^2$ KH (\perplape, 100x100x100 mm kuutio – bedface, cut prism)</p> <p>$f_m=32,8 \text{ N/mm}^2$ NKH $f_m=27,0 \text{ N/mm}^2$ MKH $f_m=38,1 \text{ N/mm}^2$ KH (\perplape, kokonainen harkko – bedface, whole unit)</p>
Tartuntalujuus Bindningshållfasthet Bond strength	<p>Leikkaustartuntalujuus, ominaisarvo shear strength, characteristic value</p> <p>NPD</p>
Palokäyttäytyminen Brandbeständighet Reaction to fire	<p>Euroluokka Euro class</p> <p>A1</p>
Vedenimukyky Vattenabsorption Water absorption	14 %
Vesihöyryn läpäisevyyden diffuusiokerroin, taulukkoarvo Water vapour permeability	5/25 (μ, EN 1745)
Ilmaääneneristävyyys Luftljudisolering Sound insulation	<p>Bruttokuivatiheysluokka Gross dry density class</p> <p>1,6 - 2,0</p> <p>Kappaleen muoto Configuration:</p> <p>Umpinainen + kuten yllä Without holes + see above</p>
Ekvivalentti lämmönjohtavuus, taulukkoarvo Värmemotstånd, tabellvärde Thermal properties, tabulated value	0,75 W/mK ($\lambda_{10, \text{dry, mat}}$) (EN 1745)
Jäädytys-sulatuskestävyys Frostbeständighet Durability against freeze-thaw	F2
Vaaralliset aineet Farlig ämnen Dangerous substances	NPD

NPD = No Performance Determined, ominaisuutta ei määritelty ko. tuotteelle./ Ingen prestanda fastställd.

8

Asianmukainen tekninen asiakirja ja/tai tekninen erityisasiakirja:

Teknisk documentation och/eller särskild teknisk documentation:/Appropriate Technical Documentation and/or Specific Technical Documentation:

-

Edellä yksilöidyn tuotteen suoritustaso on ilmoitettujen suoritustasojen joukon mukainen. Tämä suoritustasoilmoitus on asetuksen (EU) N:o 305/2011 mukaisesti annettu edellä ilmoitetun valmistajan yksinomaisella vastuulla.

Prestandan för ovanstående product överensstämmer med den angivna prestandan. Denna prestandadeklaration har utfärdats i enlighet med förordning (EU) nr 305/2011 på eget ansvar av den tillverkare som anges ovan./

The performance of the product identified above is in conformity with the set of declared performance/s. This declaration of performance is issued, in accordance with Regulation (EU) No 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.

Valmistajan puolesta allekirjoittanut:

Undertecknad av i egenskap som tillverkarens representant:/Signed for and on behalf of the manufacturer by:

Tommi Talonen Tuotantojohtaja / Production Director

nimi ja tehtävä
(namn och titel / name and function)

Helsinki 3.1.2023



(paikka ja aika)
(ort och dag för utförande/place and date of issue)

(allekirjoitus)
(underskrift/signature)

Liitteet CPR Artiklan 6 (5) sekä REACH säännösten (EC) No 1907/2006 Artiklan 31 tai 33 mukaisesti

Bilagor enligt CPR Article 6 (5) och REACH förordning (EC) No 1907/2006, Artikel 31 och 33

Attachments to DoP according to CPR Article 6 (5) and the REACH regulation (EC) No 1907/2006, Article 31 or 33

1 **(31) Käyttöturvallisuustiedote**

Säkerhetsdatablad/Safety data sheet:

2 **(33) Tiedote erityistä huolta aiheuttavista aineista**

Information om ämnen med särskilt farliga egenskaper:/Information on substances of very high concern:

Untitled - SteelMember v. 3.92

FileViewNormiHelp

Valssatut

Hitsatut

Tangot

Näytä kaikki valssatut

HEA

HEB

IPE

1xJNP

2xJNP

RR-CFRHS

RR-CFRHSY

RR-CFSHS

RR-CFCHS

HE100A

HE120A

HE140A

HE160A

HE180A

HE200A

HE220A

Sauvan jänneväli [mm]:

4100

Nurjahduspituus vahvempaan suuntaan [mm]:

4100

Nurjahduspituus heikompaan suuntaan [mm]:

4100

Kiepahdustukien väli [mm]:

500

Teräksen myötöraja:

355

355

(Laskennassa käytetty myötöraja, kun ainevahvuus on huomioitu)

Annatko kuormat sauvan jännevälikuormina

vai suoraan valitun poikkileikkauksen rasitukset

Kuorman muoto:

☒ Viivakuorma

☐ Trapetsikuorma

☐ Pistekuorma

☐ Päätymomentti

☐ Aksiaalinen voima

Pysyvä

Muuttuva

Kuorman nimi:

Lisää

Muuta

Poista

Poista kaikki

Jänteen kuormat ominaiskuormina:

Kuorma [kN/m]:

8

Lisää omapaino

Kysy Käyrältä

Mk (g+q)

Md (g+q)

Md (g)

Vk (g+q)

Vd (g+q)

Vd (g)

Taivutus

Muuttuva viivakuorma 8 kN/m

HE160A

152

160

6

15

v

z

A = 38.8E2 mm² (30.5 kg/m)

Iy = 1673E4 mm4

Iz = 615.6E4 mm4

Wy = 220E3 mm3

Wply = 245.147E3 mm3

Wz = 76.9E3 mm3

Wplz = 117.633E3 mm3

Iv = 12.3E4 mm4

Wv = 13.7E3 mm3

Iw = 31400E6 mm6

Poikkileikkausluokka muutettu PLL 3:ksi, koska plastinen nivel täytyy tukea voimakkaasti sivusuunnassa. (EC3-1-1 6.3.5)

Voit sallia plastisuusteorian käytön asetuksista.

EuroCode 3, SFS-EN 1993-1-1, Poikkileikkausluokka 3:

Taivutus [kNm](y)	<div><div>25.2</div><div>78.1</div></div>	= 32.3 %	<div><div></div><div>100 %</div></div>
Leikkaus [kN](z)	<div><div>24.6</div><div>271.4</div></div>	= 9.1 %	<div><div></div><div></div></div>
Uuma tukireaktiolle [kN], 1-5 6.1 (c)	<div><div>24.6</div><div>205.5</div></div>	= 12.0 %	<div><div></div><div></div></div>
Kiepahdus [kNm]	<div><div>25.2</div><div>78.1</div></div>	= 32.3 %	<div><div></div><div></div></div>
Taipuma [mm] (muuttuvat kuormat)	<div><div>L/489 = 8.4</div><div>L/300 = 13.7</div></div>	= 61.3 %	<div><div></div><div></div></div>
Taipuma [mm] (kokonais)	<div><div>L/489 = 8.4</div><div>L/300 = 13.7</div></div>	= 61.3 %	<div><div></div><div></div></div>

Laipan puristusvoima = 165 [kN].