



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennusinsinööri (AMK)

Muottiharkkorakenteisiin ja käytössä oleviin mitoitusohjeisiin tutustuminen

Jesse Laukkanen
Ville-Petteri Suhonen

Opinnäytetyö, toukokuu 2022

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijät

Jesse Laukkanen, Ville-Petteri Suhonen

Nimeke

Muottiharkkorakenteisiin ja käytössä oleviin mitoitusohjeisiin tutustuminen

Toimeksiantaja

Lakka Rakennustuotteet Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa Lakka Rakennustuotteet Oy:n tarpeesta saada Excel-pohjainen mitoitustaulukko heidän tuotteistaan valmistettavalle muottiharkkorakenteiselle seinälle, johon vaikuttaa yhtäaikaisesti normaalivoima ja vaakakuormitus.

Suomen rakentamismääräyskokoelman B9 osa 2 sisältää valettujen betoniharkkojen mitoituskaavoja. B9:n mukainen mitoitus ei kuitenkaan anna mitoituskaavoja sellaiselle muottiharkkoseinälle, johon vaikuttavat normaalivoima ja vaakakuormitus yhtäaikaisesti. Kuormitustapauksesta löytyy Betoniteollisuus ry:n julkaisema muottiharkkojen mitoittamiseen tehty laskentaesimerkki. Työssämme tutkimme tätä laskentaesimerkkiä ja toteuttamaan sen kautta mitoitustaulukkoa. Tarkemmin julkaisua tutkiessamme löysimme paljon epäkohtia laskentakaavojen merkintä tavoissa ja vääriä lukuarvoja oli käytetty laskennassa, mikä lisäsi työmääräämme laskelman toteuttamisen suhteen. Laskentaesimerkissä käytettyjä laskentakaavoja tutkimme kirjallisuudesta, minkä avulla pystyimme korjaamaan epäkohdat omaan laskelmaamme.

Mitoitustaulukon saimme tehtyä toimeksiantajan käytettäväksi. Mitoitustaulukkoon saimme tehtyä mitoitusarkastelun Betoniteollisuus ry:n julkaiseman laskentaesimerkin pohjalta. Tämän mitoitusarkastelun luotettavuuden tarkistaminen ja tuloksien todentaminen mitoitustaulukossa jäi vielä tämän opinnäytetyön osalta tekemättä.

Kieli
suomi

Sivuja 44
Liitteet 2
Liitesivumäärä 4

Asiasanat

muottiharkko, eristemuottiharkko, betoni, paikallavalu, maanpaine



THESIS
May 2022
Degree Programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors

Jesse Laukkanen, Ville-Petteri Suhonen

Title

Exploring the Shuttering Block Structures and the Dimensioning Instructions in Use

Commissioned by

Lakka Rakennustuotteet Oy

Abstract

The purpose of this thesis originated with Lakka Rakennustuotteet Oy's need to get an Excel-based dimensioning table for their shuttering block products. The dimensioning tool helps the dimensioning of the shuttering block wall, which is simultaneously affected by normal force and horizontal load.

Part 2 of National Building Code of Finland B9 contains dimensioning formulas for shuttering blocks. However, B9 does not provide dimensioning formulas for shuttering block wall which is affected by normal force and horizontal load simultaneously. Of the load case can be found a calculation example for shuttering blocks published by the Concrete Industry Association. In our work, we study this calculation example and implement a dimensioning tool with it. When the calculation example was studied more closely, a lot of inconsistencies were found in the ways of marking the calculation formulas and incorrect number values were used in the calculation. That increased the workload of the authors in terms of implementing the calculation. The calculation formulas used in the calculation example were studied in the literature, which helped in correcting the anomalies in the calculation.

The dimensioning table was made for the client to use. Dimensioning review was completed by review based on a calculation example published by Concrete Industry Association. The verification of the reliability of this dimensioning review and verification of the results in the dimension table were still left undone for this thesis.

Language

Finnish

Pages 44

Appendices 2

Pages of Appendices 4

Keywords

shuttering block, insulation block, concrete, cast-in-place, earth pressure

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Harkkorakentaminen.....	6
2.1	Lakka-muottiharkot	8
2.2	Lakka-eristemuottiharkot	9
2.3	Muottiharkkojen asennus	10
3	Betoni.....	14
3.1	Betonin valinta	14
3.2	Betonin logistiikka	17
4	Paikallavalurakentaminen	19
4.1	Seinämuottityöt	21
4.2	Valutyöt.....	22
5	Kuormat ja laskentaperusteet	25
5.1	Kuormat	25
5.2	Muottiharkkoseinän kestävydet.....	26
5.3	Muottiharkkoseinän mitoitus normaalivoimalle ja vaakakuormille	32
6	Tulokset	36
6.1	Lähtötiedot	36
6.2	MH-200 (liite 1)	36
6.3	EMH-400 Pro Grafit (liite 2).....	37
6.4	Mitoituskestävyyden tulokset	37
6.5	Mitoitustaulukon toiminta esimerkkilaskelmassa.....	38
7	Pohdinta.....	42
	Lähteet.....	44

Liitteet

- Liite 1 MH-200 laskenta
- Liite 2 EMH-400 Pro Grafit laskenta

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe valikoitui Lakka Rakennustuotteet Oy:n tarpeesta saada mitoitusaulukko heidän valmistamiensa muottiharkkojen kestävyydelle maanpaineisissa, kun seinään vaikuttaa normaalivoiman ja vaakakuorman yhteiskuormitus. Mitoitukseen vaikuttavia eroavaisuuksia eri harkkovalmistajien välillä voivat olla esimerkiksi harkon mitat, paino ja harkkojen valmistuksessa sekä työmaalla onteloiden valuuun käytettävän betonin laatu. Näiden eroavaisuuksien takia valmistajakohtaisen mitoitusaulukon tuottaminen oli tarpeellista.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua muottiharkkorakenteisiin ja pyrkiä tuottamaan toimeksiantajayritykselle käytössä olevien ohjeiden mukainen laskentataulukko muottiharkoista valmistettujen maanpaineisien mitoitusarkastelua varten. Halusimme myös tuoda esille opinnäytetyössämme hyödyllistä tietoa betonista, sekä muottiharkko- ja paikallavalurakentamisesta.

Opinnäytetyön tekemistä varten tietoa etsittiin betoni- ja harkkorakentamiseen liittyvistä määräyksistä, säädöksistä ja ohjeista. Aikaisempia tutkimuksia löysimme muottiharkkojen mitoittamisesta Miko Arffmanin opinnäytetyöstä vuodelta 2012 (Arffman 2012), ja eristemuottiharkkojen mitoitusta käsittelee Olli Vertasen opinnäytetyö vuodelta 2020 (Vertanen 2020).

Harkkorakentamisessa käytettäviä tietolähteitä ovat Harkkokäsikirja 2016 Kevytsoraharkot ja betoniharkot sekä siihen liittyvä Ladottavien muottiharkkorakenteiden suunnitteluohjeet ja mitoitus (liite 2). Viimeisimpänä mainittu liite 2 soveltaa kellarin seinän mitoituksessa eri betonirakenteiden suunnittelussa käytettävää kirjallisuutta. Rakenteen kantokyky ja mitoituskaavat tulevat vuoden 2008 julkaisusta Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210. Mitoituksessa käytettävät epäkeskisyydet määritetään vuoden 2012 Betoninormit by 50 mukaisesti.

Tällä hetkellä ei löydy mitoitusmenetelmää muottiharkkojen mitoitukseen, kun seinään vaikuttaa normaalivoiman lisäksi vaakakuormitus (Betoniteollisuus ry

2022a, 9). Tästä syystä harkkorakenteiden mitoitukseen täytyi soveltaa eri betonirakenteiden suunnittelussa käytettävää kirjallisuutta.

Opinnäytetyössä esitetty muottiharkkojen mitoitus esimerkki toteutettiin Harkko-käsikirja 2016 Ladottavien muottiharkkorakenteiden suunnitteluohjeet ja mitoitus (liite 2) kohdan 7.5 mukaisen laskennan pohjalta. Rakenteille tulevat kuormitukset määritellään tapauskohtaisesti kohteen rakennesuunnittelijan toimesta ja toimeksiantajan suunnitteluohjeissa on pyrkimyksenä esittää rakenteiden kestävyksiä, joiden avulla suunnittelija voi tarkistaa kestävyyskuormituksia vastaan. Tämän lähtökohdan vuoksi kuormien määrittäminen on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Opinnäytetyön viitekehys muodostuu harkkorakentamisesta ja siihen liittyvistä tuotteista, betonin käytöstä ja valintaan vaikuttavista tekijöistä sekä paikallavalurakentamisesta. Muottiharkkorakentamisessa yhdistyy elementtejä harkkorakentamisesta ja paikallavalurakentamisesta, joten näiden eri rakentamistapojen erityispiirteiden ymmärtäminen on opinnäytetyön kokonaisuuden kannalta tärkeää. Rakentamistavat ja niihin liittyvät materiaalit muodostavat taustan mitoituskestävyyden laskentaperiaatteille, joka kuuluu lisäksi opinnäytetyön viitekehukseen. Nämä edellä mainitut tekijät muodostavat opinnäytetyölle tietoperustan ja niitä on käsitelty opinnäytetyön kappaleissa 2–5. Opinnäytetyössä esimerkkitapaukseen tehty seinärakenteiden mitoituskestävyyden tarkastelu sekä laskentataulukon periaate ja käyttö on esitelty tulososiossa kappaleessa 6 ja opinnäytetyöhön liittyvä pohdinta kappaleessa 7.

2 Harkkorakentaminen

Suomessa rakentamisessa käytetään yleisesti muutamia harkkotyyppejä, joista yleisimpiä ovat ladottavat muottiharkot sekä muurattavat harkot. Harkkorakentaminen on helppoa harkkojen monipuolisen käytettävyyden vuoksi, joten se sopii hyvin esimerkiksi omatoimiseen pientalorakentamiseen. Harkkojen käytössä apuna ovat vakiomitat, jotka helpottavat niiden latomista ja mitoittamista. Tämä

vähentää harkkojen katkaisua ja hävikkiä työmaalla. (Petrow & Kaskiaro 2016, 3–6.)

Muottiharkkoja on mahdollista saada myös eristettyinä, joissa polystyreenistä tai polyuretaanista valmistettu lämmöneristys on sijoitettu yleensä harkkokuorien väliin (Petrow & Kaskiaro 2016, 27). Eristeharkkoja käytetään yleisesti rakennusten ulkoseinissä. Muita muottiharkkoja käytetään eri käyttötarkoituksiin kuten perustuksiin, väliseiniin ja pilareihin. (Petrow & Kaskiaro 2016, 3–6.)

Eristemuottiharkot ovat kasvattaneet suosiotaan rakennusmateriaalina sen useiden hyvien ominaisuuksien vuoksi. Harkkojen helppo käsiteltävyys, kosteustekniset ominaisuudet, lujuusominaisuudet sekä lämmön- ja ääneneristävyydet ovat esimerkkejä harkkojen hyvistä ominaisuuksista. (Betoniteollisuus ry 2022b.)

Harkkorakenteidensuunnittelussa tulisi huomioida moduulimitoitus, kun mitoitetaan seinien pituuksia ja määritetään aukkojen, välipohjalaatan, kiintokalusteiden ja palkkien paikkoja. Moduulimitoitus helpottaa rakentamista sekä parantaa eri rakennusosien yhteensopivuutta. Tämä vähentää työmaalla tarvittavaa työstöä ja eikä siitä aiheudu niin paljoa materiaalihävikkiä, kun esivalmistetut rakenteet osuvat niille kuuluville paikoille. (Betoniteollisuus ry 2022c.) Periaatteena on, että rakennuksen kokonaismitat perustuisivat kansainvälisesti standardisoituun moduulimitaan M ja tämän kerrannaisiin. Harkkojen moduulimitat ovat valmistaja- ja tuotekohtaisia. Harkoissa käytössä olevat moduulimitat ovat liittymismittoja, jolloin niiden mitat ilmoitetaan sauman keskeltä keskelle. (Petrow & Kaskiaro 2016, 48.) Ladottavissa muottiharkoissa tavallisimmat liittymismitat ovat leveyssuunnassa 600 mm tai 500 mm ja korkeussuunnassa kantavissa rakenteissa käytettävissä harkoissa 200 mm. Tyypillisimmät harkkolimitykset ovat 1/2-harkon ja 1/3-harkon limitykset. (Betoniteollisuus ry 2022c.)

2.1 Lakka-muottiharkot

Muottiharkot ovat ladottavia harkkoja, jotka ladotaan päällekkäin ilman erillistä kiinnityslaastia. Muottiharkkojen keskellä on betonivalua varten valuonkalot, jotka muodostavat yhtenäisen valuverkoston. Näin betoni pääsee valumaan vapaasti ja se helpottaa valamista. Vaakateräkset asennetaan muottiharkkoihin niille tarkoitetuille paikoille. Raudotteet määräytyvät seinän tarvittavan kestävyuden mukaan. Näille löytyy yleensä valmiit asennuspaikat (kuva 1) Jos rakenne vaatii erityistä vaakavoimien kestävyyttä, voidaan harkkojen onteloihin asentaa pystyteräkset, joka lisää harkkojen kantokykyä merkittävästi. Onkalot valetaan täyteen, mikä muodostaa tiiviin ja yhtenäisen rakenteen. (Betoniteollisuus ry 2022d.)



Kuva 1. Lakka MH-200 Muottiharkko, jonka keskellä näkyy vaakateräkselle tarkoitettu ura (Lakan Betoni -konserni 2022).

Muottiharkkojen mitat ovat vakioituja eli niiden korkeus on kantavissa rakenteissa yleisesti käytettävä 200 mm ja pituus 600 mm. Valikoimista löytyy myös eri paksuisia harkkoja, joissa sekä harkkojen seinämät että valuontelot vaihtelevat tuotteesta riippuen. Tyypillisimpiä muottiharkkojen paksuuksia ovat 150, 200, 250 ja 300 mm. Näiden lisäksi valikoimasta löytyy myös pilarirakenteissa

käytettävä pilarimuottiharkko, jonka keskusta raudoitetaan ja valetaan umpeen betonilla. (Lakan Betoni -konserni 2019, 3.)

2.2 Lakka-eristemuottiharkot

Eristemuottiharkot ovat ladottavia valuharkkoja, joiden kuorien välissä on polystyreeninen tai polyuretaaninen lämmöneriste. Eristemuottiharkkojen ensisijaiset käyttökohteet ovat rakennuksen ulkoseinissä, perusmuureissa ja kellarin seinissä. Harkkoa valittaessa tulee tarkistaa tarvittavan kohteen lujuuden- ja lämmöneristyksen vaatimukset. Harkkorakenne toimii samalla valumuotteina, että rakennuksen kantavana rakenteena. Harkoissa on niin sanotut valuonkalot, jotka ladotaan vastakkain, jolloin valettaessa betoni pääsee valumaan vapaasti koko rakenteen läpi. (Lakan Betoni -konserni 2019, 3.)

Lakan eristemuottiharkkojen nimelliskorkeutena on 200 mm, joka on kantavissa rakenteissa käytettävissä harkoissa vakio ja nimellispituutena käytetään 600 mm:ä. Eristemuottiharkkoja löytyy 350 mm paksuisena, jotka on tarkoitettu puolilämpimiin tiloihin, kuten esimerkiksi autotalleihin. Harkkoa on myös saatavilla Lakan valikoimasta 400 mm paksuisena (kuva 2), joka sopii paremman lämmönläpäisykertoimen vuoksi käytettäväksi talojen ulkoseinärakenteessa. Betonikuorien välissä on EPS Grafit -eriste (Lakan Betoni -konserni 2019, 3).



Kuva 2. Lakka eristemuottiharkko EMH-400 Pro Grafit (Lakan Betoni -konserni 2022).

2.3 Muottiharkkojen asennus

Rakentaessa kantavia harkkorakenteita tulee näiden alle asentaa anturat. Tämä yleensä onnistuu helpoiten valmiilla anturamuoteilla. Valmisanturamuotit sisältävät yleensä anturoiden minimipitkittäis- ja poikittaisraudoituksen. Ennen muottimista on kuitenkin hyvä huolehtia paikalleen erilaisten läpivientien ja putkien vedot. (Lakan Betoni -konserni 2019, 2-4.) Anturamuottiin voidaan kiinnittää tartuntateräksiä rakennesuunnittelijan perustuskuvien mukaisesti. Nämä voidaan asentaa ennen valua sitomalla ne kiinni raudoitukseen tai asettamalla raudat pystyyn betonimassaan anturavalun jälkeen. Tartuntateräksissä tulee huomioida työturvallisuusasiat niin, että tartuntateräs tulee kääntää U-malliseksi tai harjateräksen päässä tulee käyttää suojahattua.

Valettujen anturoiden päälle voidaan aloittaa latomaan muottiharkkoja. Ensimmäisen harkkorivin ja anturan väliin voidaan asentaa kapillaarikatkona toimiva anturakaista. Muottiharkkoseinän ladonnan alussa ladonta aloitetaan rakenteen nurkasta. Valikoimista löytyy tähän tarkoitettuja kulma- tai päätyharkkoja.

Pontillisia muottiharkkoja käytettäessä tulee pontit asentaa siten, että harkon urospontti tulee vasten edellisen harkon valuonteloa. Ensimmäistä harkkokerrosta asennettaessa voidaan apuna hyödyntää anturakiiloja, jotka auttavat tasaamaan mahdollisia anturavalun korkoeroja. Ladonnan suoruus tarkistetaan kulmiin asennettävien päätytolppien ja niiden väliin kiinnitetyn linjalangan avulla, myös vatupassin käyttö on suositeltavaa. Eristeen tiiveys varmistetaan vaahdotamalla eristeen pysty- ja vaakaurat uretaanivaahdolla ennen seuraavan harkkokerroksen latomista (kuva 3). Seuraavaa harkkoriviä aloittaessa jatketaan latomista jälleen rakennuksen nurkasta, mutta tällöin huomioidaan harkkorakenteen limitykset, jolloin pääty- tai kulmaharkot menevät kulmissa kerroksittain ristiin. (Lakan Betoni -konserni 2019, 9-12.) Tällöin muottiharkkojen sisällä olevat valuontelot muodostavat yhtenäisen verkoston (Petrow & Kaskiaro 2016, 48). Asennuskiiloilla voidaan korjata muottiharkkoladonnassa syntyviä mittaheittoja.



Kuva 3. Eristeessä olevat urat helpottavat vaahdon levittämistä (Lakka – Lakka konserni 2016).

Vaakaraudoitus asennetaan paikalleen rakennesuunnitelmien mukaisesti, harkoissa niille kuuluville urille. Vaakaraudoituksen paksuuden ja jaon määrittelee rakennesuunnittelija. Raudoituksen limitykset tulee huomioida ja asentaa raudat suunnitelmien mukaiseen limijatkospituuteen. Päätyharkkoja käytettäessä tulee niihin työstää tarvittavat raudoitusurat esimerkiksi vasaralla lyöden niihin pienet lovet. (Lakan Betoni -konserni 2019, 9-10.)

Harkkorakenteen valutöitä aloittaessa tulee rakenne estää sivuttaisilta siirtymiltä tukemalla rakenne hyvin. Tukien määrä määräytyy betonivalun korkeuden ja rakenteen mittojen mukaan. Ennen valun aloittamista harkkorakenne tulee kas- tella, joka helpottaa betonin tarttumista harkkopintaan. Tämä myös estää hark- koa imemästä liikaa kosteutta tuoreesta betonista, joka häiritsee betonin lujuu- denkehitystä. (Betoniteollisuus ry 2022d.) Betonointi tulee tehdä kerroksittain, jolloin suositeltava enimmäisvalukorkeus kerrallaan on 1,5 metriä (kuva 4). Va- lettaessa betonimassaa on hyvä varmistaa sen tiiveys käyttämällä pientä tärysauvaa. (Lakan Betoni -konserni 2019, 10.) Kerralla tapahtuvan valun yhtey- dessä on valu hyvä jättää ylimmän harkkokerroksen puoleen väliin, jolloin välte- tään työsauman ja harkkosauman osumista samaan kohtaan. Valupurseet suo- sitellaan poistamaan valamisen päättymisen yhteydessä, joka vähentää puhdis- tustyötä tasoitustöiden yhteydessä. Harkkorakenteen jälkihoito tulee aloittaa heti betonivalun jälkeen, betonirakenteiden jälkihoito-ohjeita noudattaen. Tällä pyritään estämään betonin liian nopeaa kuivumista, mikä voi aiheuttaa halkei- lua. (Betoniteollisuus ry 2022d.)

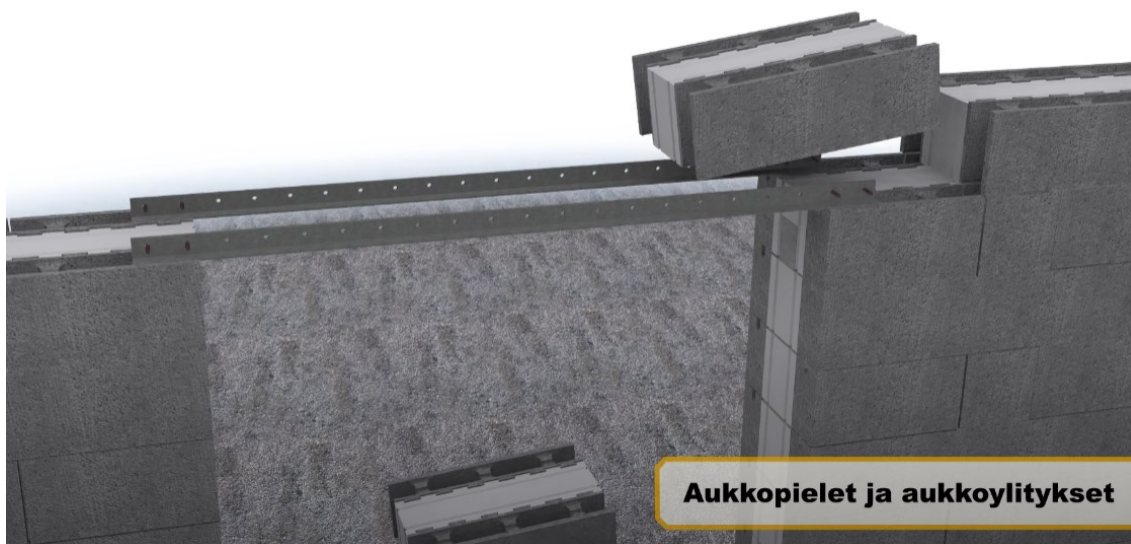


Kuva 4. Havainnollistavassa videossa näkyy kuinka betoni täyttää eristemuotti- harkkoseinän kuoren (Lakka – Lakka konserni 2016).

Ennen harkkoseinän pinnoitustöiden aloittamista tulee rakenteessa huomioida sen vaatima kuivumisaika. Rakentamisen aikana sitoutunut kosteus pyritään

poistamaan rakenteista tuulettamalla tai tarkoitukseen soveltuvilla rakennuskui-vureilla. Tälle prosessille tulee olla varattu oma aikansa rakennusaikatauluissa. Valetuille eristeharkkoseinille kuivatuksen tulee olla vähintään 10 viikkoa kuiva-tuksen aloitushetkestä. Kuivumisen varmistamiseksi tulee harkkoseinään tehdä rakenteelliset kosteusmittaukset. Seinän pinnoittamista ei tule aloittaa ennen vaadittujen asetettujen vaatimusten täyttymistä. (Koskiaro & Petrow 2016, 102.)

Muottiharkoille löytyy erinäisiä harkkotarvikkeita. Esimerkiksi Lakka muottihark-kojen aukonylityksissä käytetään T-profiiliterästä, jonka leveys määräytyy har-kon valuontelon paksuuden mukaisesti. T-profiili asetetaan paikoilleen harkkoon suunniteltuun uraan, jonka päälle voidaan latioa harkkoja normaaliin tapaan (kuva 5). T-profiili tukkii samalla valuontelon, joten erillistä muotitusta ei tarvitse tehdä. Eristemuottiharkkojen aukonylityksiä asentaessa tulee käyttää myös ha-kateräksiä molemmissa kuorissa, jotka toimivat rakenteen leikkausraudoitteena. Aukkopalkin taipumisen estämiseksi tulee aukonylitys tukea valun aikana al-haalta päin pystytpilla. (Lakan Betoni -konserni 2019, 13.)



Kuva 5. Aukonylitysraudan asennus (Lakka - Lakka konserni 2016).

3 Betoni

Betoni on yksi tärkeimmistä rakennusmateriaaleista, kun rakennetaan kantavia rakenteita. Käyttökohteista betonia käytetään eniten talonrakentamisessa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 15.)

Betonista syntyy kova materiaali, sementtiliiman kemiallisen reaktion kautta sitoen samalla runkoaineena toimivan kiviaineksen yhteen. Sementtiliimaa saadaan veden ja sementin sekoituksesta, joka kovettuessa muuttuu sementtikiveksi. Näiden aineiden lisäksi betoniin sekoitetaan usein lisä- ja seosaineita, joilla saadaan betonista tiiviimpää, lujempaa ja sen säilyvyys paranee. Betonissa käytettävien aineiden valinta ja suhteet ovat tärkeitä sen ominaisuuksien kannalta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 31.)

3.1 Betonin valinta

Betonityön onnistumisen ja haluttujen kovettuneen betonin ominaisuuksien saavuttamisen kannalta on oikeiden betonimassan ominaisuuksien valinnalla suuri merkitys. Ominaisuuksien mukainen betoni, koostumuksen mukainen betoni ja standardibetoni ovat Suomessa valmistettavia betonilaatuja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 301.)

Ominaisuuksien mukaisessa betonissa sen laatu määräytyy nimensä mukaan ominaisuuksien perusteella, kuten lujuusluokan. Jotta kyseisen betonin ominaisuudet saavutetaan, tulee järjestää laadunvalvonta. Ominaisuuksien mukaista betonia saa käyttää ainoastaan 1- ja 2-luokan rakenteissa. Koostumuksen mukaisessa betonin valmistuksessa on tarkoituksena noudattaa tietyn koostumuksen mukaisia kilomääriä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 301.)

Betonin valinta syntyy yhteistyössä rakennesuunnittelijan, työmaan ja valmisbetonitehtaan yhteyshenkilön kautta. Yhteistyön tuloksena on tarkoitus saada oikeanlaatuista ja vaatimukset täyttävää betonia. Oikeilla päätöksillä betonin

suhteen voidaan saada merkittäviä vaikutuksia betonirakenteiden säilyvyyteen ja käyttöikään. Muottiharkkoseiniä valussa käytettäviin betonilaatuihin on olemassa suunnittelutyötä helpottavia taulukoita, jotka ohjaavat betonin valinnassa (taulukko 1).

LAKKA MUOTTIHARKKOSEINIEN BETONILAADUT (Valubetoni)		
Harkko	Sisätilat	Ulkotilat
MH-150, EMH-350, EMH-400, Palkit	väh. C25/30, XC1, notkeus S4-S5 + notkistin, max. kiviaines 8 mm	väh. C30/37, XF1 XC3, XC4, notkeus S4-S5 + notkistin, max. kiviaines 8 mm
MH-200, 250, 300, PMH-250	väh. C25/30, XC1, notkeus S4-S5 + notkistin, max. kiviaines 16 mm	väh. C30/37, XF1 XC3, XC4, notkeus S4-S5 + notkistin, max. kiviaines 16 mm

Taulukko 1. Taulukosta nähdään, että ulkoseinissä on suositeltavaa käyttää vähintään C30/37 lujuusluokiteltua betonia (Lakan Betoni -konserni 2021, 3).

Rakennesuunnittelijan tehtävänä on määrittellä suunnitelmissaan rakenteessa käytettävän kovettuneen betonin ominaisuudet. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 301). Ominaisuuksia ovat

- betonin lujuus- ja rakenneluokka
- rasitusluokka ja suunniteltu käyttöikä
- kiviaineen maksimiraekoko
- betonipeitepaksuudet ja sallitut mittapoikkeamat
- tarvittaessa muut erityisohjeet (lämmönkehitys jne.)
- telineiden ja muottien purkulujuus
- jännittämislujuus
- toleranssit ja pintaluokat

Samassa rakennuskohteessa rakennesuunnittelijan on yritettävä välttää liian monen betoniluokan ja -laadun käyttöä. Rakennesuunnittelija ei saa määrittää sellaisia betoniteknologisia tekijöitä ja ominaisuuksia, jotka eivät ole keskeisesti merkittäviä betonin ominaisuuksien kannalta. Valmisbetonin toimittajan pitää antaa käyttöä heidän tekemäänsä reseptiä rakennesuunnittelijan määrittämien ominaisuuksien tavoittamiseen, kunhan resepti on muutoin rasitusluokan mukainen. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 301.)

Työmaalla määritetään usein tuoreen betonimassan vaadittavat ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia ovat betonin notkeus ja maksimirakoko (kuva 6). Työmaan betonointikohteesta, olosuhteista ja betonointimenelmästä johtuen työmaa määrittää mahdolliset lisäaineet betonimassaan. Työmaa ei saa kuitenkaan päätöksillään vaikuttaa betonimassaan, niin että suunnitelmissa esitetyt vaatimukset eivät täytyisi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 302)



Kuva 6. Lattiabetonin työstettävyyteen vaikuttaa betonin notkeus ja käytettävän kiviaineksen raekoko (Jesse Laukkanen).

Valmisbetonin toimittaja ohjeistaa, kuinka tehdään tuotevalikoiman betonilaatua käytetään, mitkä niiden käyttökohteet ovat ja antaa teknistä apua betonin ominaisuuksiin liittyen. Tarpeen mukaan tehdas laatii erilaisia suhteutuksia betonimassaan erikoisvaatimusten mukaan. Tehtaat tekevät lisäksi jatkuvasti töitä tuotekehityksen parissa, jotta betonin erilaisia ominaisuuksia saadaan paremmaksi. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 303.)

Seinissä betonin tiivistäminen onnistuu asianmukaisesti betonimassan notkeuden ollessa 2...3 sVB. Mikäli seinän rauditus ja varaukset vaikeuttavat tiivistämistä suositellaan, käytettäväksi notkistettua tai nesteytettyä betonimassaa. Tällöin seinärakenteen kuivatustarve pienenee. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 304.)

3.2 Betonin logistiikka

Betonimassa kuljetetaan yleensä betonitehtaalta kuorma-autolla, jossa on pyörivä säiliö betonia varten (kuva 7). Pyörivä säiliö pitää betonimassan tasalaatuisena eikä kuljetuksessa betonin laatu pääse huonontumaan. (Betoniteollisuus ry 2022e.)



Kuva 7. Pyörivällä säiliöllä varustettu betoninkuljetusauto (Lakan Betoni -konserni 2022).

Yleisimmissä betonin kuljetusautoissa säiliöön mahtuu kerralla 5–8 m³ betonia. Säiliöautoja löytyy myös tilavuudeltaan aina jopa 12 m³ asti. Kuljetusautosta betoni voidaan purkaa valukourulla tai hihnakuljettimella suoraan muottiin tai erilliseen pumppuautoon (Betoniteollisuus ry 2022e).

Valukourua käytetään silloin, kun pyörintäsäiliöautolla päästään valettavan muotin läheisyyteen. Valukourun pituus riippuu siitä, käytetäänkö mekaanista

vai hydraulista kourua. Mekaanisella kourulla päästään 3–4 m ulottuvuuteen ja hydraulisella kourulla aina jopa 9 m asti. (Betoniteollisuus ry 2022e.)

Hihnakuljettimella betonimassa voidaan kuljettaa enintään 30 asteen kulmassa ylöspäin. Hihnakuljetinta voidaan käyttää, kun betonia halutaan esimerkiksi rakennuksen toiseen kerrokseen. Hihnakuljettimella voidaan valaa myös vaakasuuntaisia rakenteita, kuten lattialaattoja ja anturoita. Tällöin tilaa täytyy olla valettavan rakenteen ympäristössä, että hihnaa pystytään säätämään ja kääntämään. Ulottuvuutta hihnakuljettimella saadaan eri mallista riippuen 10–14 metriä. (Betoniteollisuus ry 2022e.)

Säiliöautosta betoni voidaan laskea myös säiliön perässä olevalla kourulla erilliseen pumppuautoon. Näiden autojen yhdistelmästä tulee noin 20 m pituinen. Tämä on nopein ja käytännöllisin tapa betonimassan siirtämiseen suuremmissa valuissa ja kun tontilla on tarpeeksi tilaa. On myös varauduttava, että erillisen pumppuauton ympärillä on tarpeeksi tilaa 4 tukijalan levitykseen. Tukijaloille täytyy olla tarpeeksi kantava pohja, jotta jalat eivät uppoa maahan ja aiheuta pumppuauton kaatumista. Näille jaloille on syytä varata tilaa n. 2–3,5 m auton ympärille. Pumppuautolla betonia voidaan siirtää puomilla yleensä noin 40 metriä vaakasuunnassa. (Betoniteollisuus ry 2022e.) Pumppuautojen puomin pituudet vaihtelevat ja erilaisia pumppuautoja löytyy valmisbetonitehtaiden sivuilta.

Betonin kuljetusautoja on myös saatavilla, missä itsessään on oma pumppu betonin purkamiseen (kuva 8). Näitä ei kuitenkaan ole välttämättä saatavilla kaikilla valmisbetonintoimittajilla. Omalla pumpulla varustetut säiliöautot ovat yleinen vaihtoehto pienille tonteille, koska ne eivät vaadi suurta tilaa ja ulottuvuutta saadaan tällä jopa yli 20 metriä. (Betoniteollisuus ry 2022e.)



Kuva 8. Betoninkuljetusauto varustettuna omalla pumpulla (Lakan Betoni -konserni 2022).

4 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakentamisessa käytetään hyvin yleisesti teollisesti valmistettua betonia. Vuoden aikana Suomessa valmistettavan betonin määrä on noin kaksi miljoonaa kuutiometriä. Paikallavalettavia rakenteita ovat yleensä perustukset, palkit, väliseinät, lattiat ja erilaiset seinärunkoratkaisut. (Betoniteollisuus ry 2022f.)

Runkorakenteiden ratkaisuna yleisesti käytössä olevat paikalla valetut rakenteet ovat yksinkertaisesti suunniteltavissa ja toteutettavissa. Paikalla valettu runkoratkaisu toimii monessa eri rakennuksen käyttötarkoituksissa. Rakennuksen

runkoratkaisuun voidaan kätevästi sijoittaa asuin-, toimisto- tai liiketiloja. (RT 82-10814, 2004, 2.)

Betoni on yleisin käytettävä materiaali omakotitalon perustuksissa. Perustusten tehtävä on jakaa yläpuolelta tulevat kuormat tasaisesti kantavaan maapohjaan. (Palolahti 2011, 12.) Omakotitalon anturamuotit voidaan valmistaa, vaikka käyttämällä sahatavara lautoja tai harkkoja muotinseininä. Harkkoja käytettäessä on syytä käyttää muovia harkon ja betonimassan välissä. Saatavilla on myös eri valmistajilta valmisanturamuotteja, jotka on valmiiksi perusraudoitettu (kuva 9). Valmisanturamuotin edut ovat asentamisen helppous ja se, että tuotetta ei tarvitse purkaa valutyön jälkeen vaan se voidaan jättää täyttömäiden alle.



Kuva 9. Valmisanturamuotteja varten on olemassa valmistajakohtaisia asennusohjeita ja -videoita (Lakka - Lakka konserni 2016).

Paikalla valettavat rakenteet toimivat hyvin kantavina pilari-, ulkoseinä- ja väli-seinärakenteina, kun näiltä halutaan hyvää ääneneristävyyttä ja palonkestävyyttä. Vesitiiveyden ja kosteuskkestävyyden puolesta paikalla valettu betoni-seinä toimii erinomaisen hyvin kellareiden maanpainesseinissä sekä kylpyhuoneiden tai muina kosteiden tilojen seininä. Paikalla valettujen seinien tekemiseen on olemassa erivalmistajilta saatavia muottijärjestelmiä. (Palolahti 2011, 17.) Paikalla valettavia seinämuotteja voi myös rakentaa itse, vaikka puutavarasta sekä filmivanerista.

4.1 Seinämuottityöt

Paikallavaletun betoninpintaan ja laatuun vaikuttavat käytettävän betonin laatu, betonia vasten olevan materiaalin laatu, muotinrakenteiden tiiveys ja kestävyys (Betoniteollisuus ry 2022g). Muottityössä mittatarkkuus on erittäin tärkeää, koska betonoinnin jälkeen seinää on työlästä lähteä siirtämään tai korjaamaan.

Muottityössä käytettävien materiaalien täytyy olla tarpeeksi lujia ja muotti on tuettava hyvin, jotta se kestää valupainetta vastaan. Tällä vältetään myös betonista ja tiivistyksestä tulevan paineen vaikutuksia valmiiseen pintaan. Muottirakenteen tiiveys on tärkeää, ettei betonin sementtiliima pääse ulos muotin saumoista. Näin rakenteesta saadaan lujempi ja valmis pinta näyttää paremmalta. (Betoniteollisuus ry 2022g.)

Seinämuotit kasataan yleensä työmaalla vanerista ja laudoista rakennetuilla muottikaseteilla (kuva 10). Lauta toimii muotissa pystytukena, johon muottipintana käytetty vaneri kiinnitetään nauloilla. Lautana voidaan käyttää 22 x 100 mm² kokoista lautaa. Pystykoolauslaudat tuetaan vaakasuoraan kulkeviin 50 x 100 mm² soiroihin. Betoniin haluttu pinta ratkaisee muottipinnan materiaalin. Lautaa käytettäessä muottipintana, saadaan betoniseinään silloin arkkitehtonista elävää pintaa. Muottikasetit liitetään toisiinsa eli tuplataan käyttämällä sideteräksiä ja väliskeiteitä. (Betoniteollisuus ry 2022g.)



Kuva 10. Tukimuuriseinämuotti raudoittamista ja tuplaamista vaille valmis (Jesse Laukkanen).

Siteinä käytetään pyörötankoa tai välukkeitä. Harjaterästäkin käytetään yleisesti työmailla. Pyörötanko on harjaterästä parempi vaihtoehto, koska muottilukko pureutuu tankoon paremmin, kuin harjateräkseen. Tällöin muottilukko pitää paremmin eikä muotit pääse erkaantumaan toisistaan. Välukkeitä on saatavilla eri valmistajilta, mutta yleisin käytettävä muottivälike on Malthus-muottivälike.

4.2 Valutyöt

Ennen kuin valutoita muottipinnat käsitellään muottiöljyllä tai muottivahalla. Lautoja käytettäessä muottipintana lautoja kastellaan tasaisen kosteiksi ennen valutyön aloittamista (Betoniteollisuus ry 2022h).

Betonimassan pudotus muottiin saa tapahtua enintään 1,5 m korkeudesta, ettei massassa olevat kiviainesrakenteet ja vesi erottuisi (Betoniteollisuus ry 2022h). Seinämuotit ovat yleensä tiheään raudoitettuja ja ahtaita. Tästä syystä valussa täytyy käyttää valusukkia, -suppiloita tai tarpeeksi ohutta valuputkea, jotta tämä

ehto saadaan toteutumaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 327.) Betonimassa pitää laskea niin, ettei betonimassa valu muottipintaa pitkin muotin pohjalle (Betoniteollisuus ry 2022h). Seinämuotit on syytä valaa 25–30 cm korkeissa kerroksissa, joiden tiivistykseen käytetään sauvatärytintä. Mikäli ahtauden takia sauvatäryttimen käyttö ei onnistu, voidaan tässä tapauksessa käyttää esimerkiksi muottitäryttimiä. Normaaleissa seinärakenteissa valunopeuden tulisi olla alle 0,5–1 m/h, korkeissa ja paksuissa rakenteissa 0,15–0,3 m/h ja vesitiiviissä rakenteissa alle 0,25 m/h. Valutyö päätetään usein, kun lopulliseen pintaan tai työsaumaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 327–329.)

Työsaumoilla betonointi voidaan päättää suunniteltuun paikkaan. Mikäli työsauma sijaitsee pystysuunnassa, niin tässä tapauksessa käytetään siihen tarkoitukseen olevaa verkkoa. Työsaumaan jäävä pinta voi olla karhea tai sileä. Vaakasauman betonipinta on mahdollista karhentaa harjaamalla ennen sitoutumista. Työsauma raudoitetaan leikkausta vastaan ja mahdollisesti tiivistetään saumanauhalla suunnitelmien mukaisesti. Saumanauhoja on saatavilla muovisina tai metallisina. (Suomen Betoniyhdistys ry, 329.)

Tiivistäminen tapahtuu yleensä sauvatäryttimellä. Sauvatärytin lasketaan betonimassaan noin 0,5 m välein ja annetaan painua painollaan alas, niin että sauvatäryttimen kärki uppoaa edelliseen kerrokseen 10–15 cm. Tämän jälkeen sauva nostetaan rauhallisoin ottein ylös, jotta sauvan aiheuttama reikä umpeutuu. Täryttäessä on vältettävä raudoitusten täryttämistä, koska raudoitusten on tarkoitus pysyä niille suunnitelluille paikoilleen rakenteen kestävyuden kannalta. Mikäli seinämuotin raudoitteet tai kolovaraukset estävät sauvatäryttimen käytön yläpuolelta, täytyy muottiin jättää 1–1,5 m välein aukkoja, joista tiivistystyö voidaan suorittaa sauvatäryttimellä (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 327).

Sopiva betonin tärytys aika on yleensä silloin, kun betonin pinta on sileä sauvatäryttimen ympäriltä. Betonimassan tiivistyksellä on tarkoitus täyttää muotti, ympäröidä raudoitteet betonilla, saada betonin runkoaineet liikkumaan lähemmäksi toisiaan ja poistaa ylimääräistä ilmaa massasta. Huonosti tehdyllä tiivistyksellä voi muottiin jäädä tyhjiä aukkoja, joihin betonimassa ei ole levittänyt. Seinän rakenne jää huokoiseksi ja seinän pintaan jää koloja. (Betoniteollisuus ry 2022h.)

Betoni on työstettävä tuoreeltaan, yleensä hyvissä sääolosuhteissa betonimassa pysyy työstettävänä 2–3 tuntia. Betoniin on saatavilla hidasteita, joilla saadaan pitkitettyä betonin työstöaikaa. (Betoniteollisuus ry 2022h.)

Kun muotti on saatu täytettyä ja betonimassa tiivistettyä sen jälkeen seinänpää hierotaan tasaiseksi ja suoristetaan oikeaan korkoon. Korkoon saamisessa työmaalla voidaan käyttää muotin yläreunassa nauvoja, jotka asennetaan korkokoneella oikeaan korkoon.

Jälkihoidolla on tarkoituksena saada aikaan hyvät olosuhteet sille, että betoni pääsee kovettumaan suunniteltuun lujuteensa ja sen ominaisuudet eivät heikkenisi. Jälkihoidon toimenpiteisiin kuuluu, että rakennetta suojataan tuulelta, saateelta, auringonpaisteelta, virtaavalta vedeltä ja kylmältä. Jälkihoidossa pyritään myös estämään betonin liian nopea veden haihtuminen ja pyritään huolehtimaan lämpöolosuhteista. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 331.)

Suojaaminen on yksi jälkihoitomenetelmistä. Suojaamisella pyritään estämään ulkoiset haittavaikutukset sekä betonirakenteessa olevan veden haihtuminen liian nopeasti. Muotin jättäminen paikoilleen valun jälkeen toimii yhtenä suojaustoimenpiteenä. Erilaisilla muovikalvoilla valun peittäminen ja jälkihoitoainesten käyttö ovat yleisimpiä suojaamiseen käytettäviä menetelmiä. Talviolosuhteissa käytetään lämpösuojaukseen erilaisia mattoja tai lämpöeristettyjä muotteja. Suojauksen laiminlyönnillä betoniin syntyy halkeamia ja veden haihtuessa lujouden kasvu pysähtyy aluksi pintaosissa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 331–332.)

Suojaamiset tai kastelut aloitetaan yleensä heti kun betonirakenne kestää nämä toimenpiteet. Betonirakenteen kosteuden ylläpitoa tulee jatkaa 1–2 viikkoa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2004, 332.)

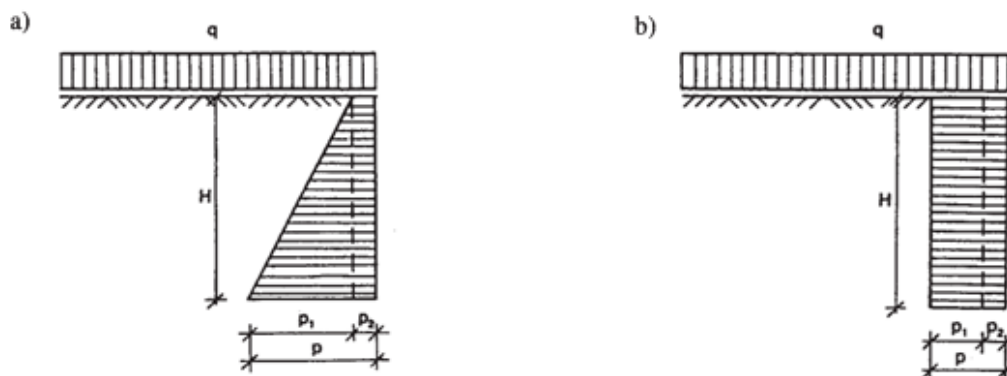
5 Kuormat ja laskentaperusteet

5.1 Kuormat

Muottiharkkorakenteet mitoitetaan Suomen rakennusmääräyskokoelman osan B9:n mukaisilla laskentakaavoilla, tästä syystä myös kuormat tulee määrittää B-sarjan mukaan. Pysyviin kuormiin lasketaan rakenteen omapaino ja kaikki sen yläpuolella olevien rakenteiden painot. Tässä opinnäytetyössä emme määrittele kuormituksia. Nämä tulee jokaisen suunnittelijan itse määrittää mitoittaessaan rakenteita. Eristemuottiharkoissa voidaan vaakavoimista tulevat kuormitukset jakaa molemmille kuorille tasan (Betoniteollisuus ry 2022a, 14).

Rakenteeseen kohdistuvia kuormia, joiden suuruudet vaihtelevat tarkastelevan ajankohdan mukaan kutsutaan muuttuviksi kuormiksi. Kaikkien hyötykuormien kohdistuminen täysmääräisesti on epätodennäköistä. Hyötykuormia laskettaessa käytetään osavarmuuskertoimia eri kuormitusyhdistelmille vastaamaan todennukaista tilannetta. Määräävä kuormitustapaus tulee huomioida, jos rakenteessa on eri luokkiin kuuluvia kuormituksia. (RakMK B9 1993, 14.)

Seinissä ja pilareissa jakautuvan pystykuorman oletetaan jakautuvan kuvan 11 mukaisella tavalla. Seinissä ja pilareissa oletetaan kuorman jakaantuvan tasan koko tukipinnalle rakenteen alapäässä. Kuvan 11 kohdassa a) näkyy maanpaine-kuorman laskenta-arvo ja vaakaraudoitetuille seinille on mahdollista käyttää myös kohdan b) arvoja. (RakMK B9 1993, 14.)



a)			b)		
MURTOTILA	P_1	P_2	MURTOTILA	P_1	P_2
kitkamaa	$6,5H$	$0,5q$	kitkamaa	$3,3H$	$0,5q$
koheesiomaa	$18H$	$1,6q-1,3c$	koheesiomaa	$9H$	$1,6q-1,3c$
KÄYTTÖTILA	P_1	P_2	KÄYTTÖTILA	P_1	P_2
kitkamaa	$5,4H$	$0,3q$	kitkamaa	$2,7H$	$0,3q$
koheesiomaa	$18H$	$q-2c$	koheesiomaa	$9H$	$q-2c$

Kuvan merkinnät ovat:

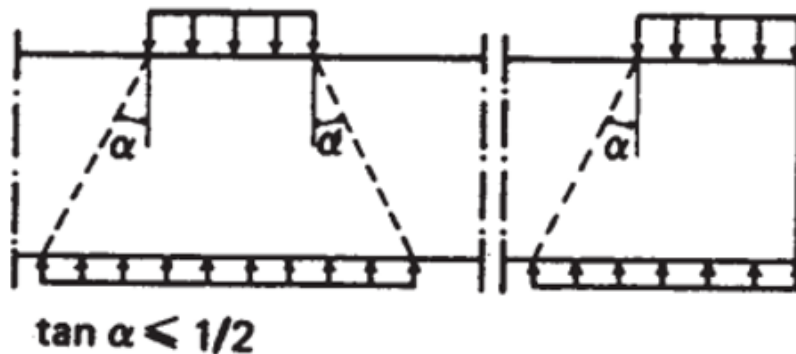
p_1 on maan painosta aiheutuva maanpaineen laskenta-arvo (kN/m^2)

p_2 on pintakuormasta ja koheesiomaassa lisäksi koheesiosta aiheutuvan maanpaineen laskenta-arvo (kN/m^2)

H on täyttökorkeus (m)

q on pintakuorma (kN/m^2)

c on koheesiomaan koheesio (kN/m^2).



Kuva 11. Maanpaine kuorman laskenta-arvo. (RakMK B9 1993, 14.)

5.2 Muottiharkkoseinän kestävydet

Tässä opinnäytetyössä muottiharkkoseinän mitoitus käytetään Suomen rakennusmääräyskokoelman B9:n mitoituskaavoja ja Harkkokäsikirja 2016 liite 2:sen esimerkkilaskelmia. Mitoitettaessa muottiharkkorakenteita tulee huomioida, että rakenteessa käytettävä tehollinen poikkileikkausala on harkkokuorien ja harkon poikkikannasten muodostava betonivalun pinta-ala. Poikkeuksia voidaan tehdä laskettaessa puristetun rakenteen epäkeskisyyttä, sekä nurjahduspituuden suhdetta rakenteen paksuuteen. Näissä tapauksissa voidaan lisätä muottiharkon kuoret rakenteen paksuuteen. Mitoituksessa käytetään rakenteen nimellismittoja. (RakMK B9 1993, 14.)

Muottiharkkoseinälle tulee mitoittaa normaalivoimakapasiteetti. Puristuskestävyyttä tarkastellaan seinän puolella välissä metrin levyisellä kaistalla. Rakenteessa käytettävän betonin puristuslujuuden ominaisarvo saadaan RakMK B9 (1993, 15) kaavasta 1.

$$f_{ck} = 0,6 K \quad (1)$$

missä K = betonin nimellislujuus

Raudoituksen ja betonin osavarmuuslukuina käytetään kuvassa 12 käytettäviä arvoja, joilla materiaalien ominaislujuudet tulee jakaa (RakMK B9 1993, 15).

	Osavarmuusluku Murtotila	Käyttötila
Betoni	$\gamma_c = 2,0$	1,0
Raudoitus	$\gamma_s = 1,2$	1,0

Kuva 12. Aineiden osavarmuusluvut (RakMK B9 1993, 16).

Suomen rakennusmääräyskokoelman B9 ohjeen mukaan seinän ja pilarin puristuskestävyys saadaan kaavan 2 mukaisesti (RakMK B9 1993, 16).

$$N_u = \frac{1 - 2 \frac{e_d}{h_c}}{1 + 0,001 \left(\frac{L_c}{h}\right)^2} A_c f_{cd} \quad (2)$$

missä e_d = kuorman epäkeskisyyden laskenta-arvo
 h_c = poikkileikkauksen tehollinen paksuus
 L_c = nurjahduspituus
 A_c = betonipoikkileikkauksen tehollinen pinta-ala
 f_{cd} = betonin puristuslujuuden laskenta-arvo

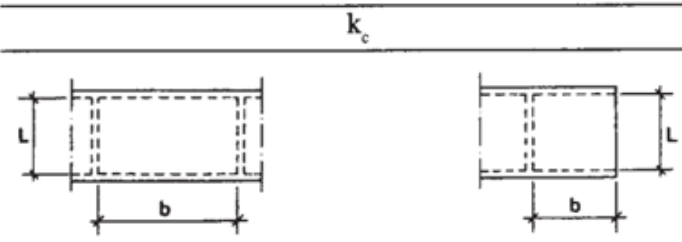
Seuraavaksi tarkastellaan kellarin seinän nurjahduspituutta. Rakenteen nurjahduspituutena pystytään käyttämään rakenteen vapaata korkeutta, silloin kun sen sivusiirtymät on estetty (RakMK B9 1993, 16).

Puristetun seinän ollessa tuettu nurjahdussuunnastaan riittävän jäykällä rakenneratkaisulla toiselta reunaltaan suhteen b/h ollessa enintään 15, tai molemmilta reunoilta enintään 30, voidaan nurjahduspituus laskea kaavalla 3 (RakMK B9 1993, 16).

$$L_c = k_c L \quad (3)$$

missä k_c = kerroin, esitetty kuvassa 13

L = seinän vapaa korkeus



b/L	$b/h < 30$	$b/h < 15$
0,3	0,2	0,5
0,5	0,3	0,7
1,0	0,6	0,9
1,5	0,8	1,0
2,0	0,9	1,0
>2,0	1,0	1,0

Kuva 13. Kertoimen k_c arvot (RakMK B9 1993, 16).

Mitoittaessa toisiinsa sidottuja rakoseiniä siten, että näiden murtorajatilassa olevat taipumat ovat samat voidaan suhdetta L_c/h suhdetta laskettaessa h voidaan laskea kaavalla 4 (RakMK B9 1993, 16).

$$h = (h_1^3 + h_2^3)^{1/3} \quad (4)$$

missä h_1 ja h_2 ovat seinien paksuudet.

B9 tarjoaa erilliset kaavat raudoittamattomalle ja raudoitetulle taivutuskestävyydelle. Kaavalla 5 saadaan taivutuskestävyys M_u raudoittamattomalle rakenteelle (RakMK B9 1993, 16).

$$M_u = f_{ctd} W_c \quad (5)$$

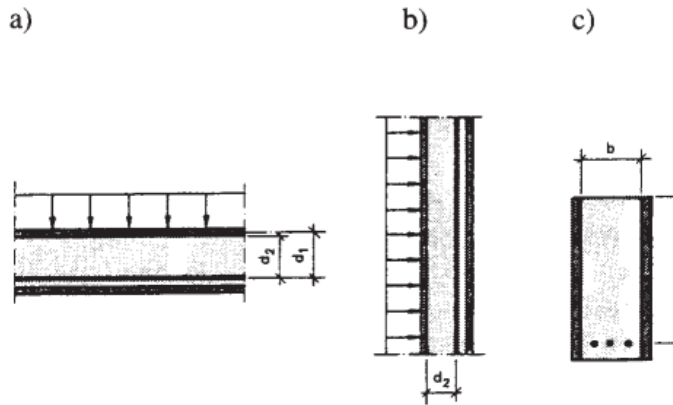
missä f_{ctd} = betonin vetolujuuden laskenta-arvo
 W_c = poikkileikkauksen tehollinen taivutusvastus, johon saadaan ottaa mukaan puolet puristetun kuoren paksuudesta

Raudoitetun poikkileikkauksen taivutuskestävyys saadaan laskettua kaavalla 6 (RakMK B9 1993, 16).

$$M_u = 0,85 A_s f_{yd} d \leq 0,3 b d^2 f_{cd} \quad (6)$$

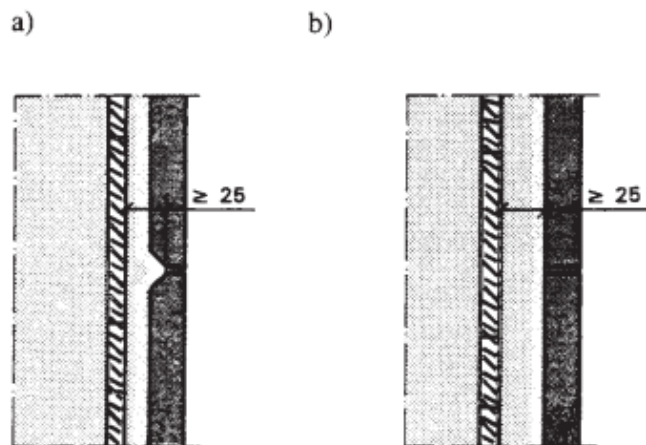
missä A_s = vetoraudoituksen poikkileikkausala
 f_{yd} = teräksen lujuuden mitoitusarvo
 d = poikkileikkauksen tehollinen korkeus
 b = seinän tai palkin tehollinen korkeus

Poikkileikkauksen tehollinen korkeus voidaan laskea vaakaraudoitetussa seinässä vetoraudoituksen painopisteestä puristetun harkkokuoren puoliväliin. Pystyraudoitetussa seinärakenteessa tehollinen korkeus saadaan laskettua harkon puristetun kuoren sisäpintaan. (Betoniteollisuus ry 2022a.) Kuvassa 14 esitetään, kuinka poikkileikkauksen tehollisen korkeuden ja leveyden määrittäminen tapahtuu. Kuvan 14 kohdassa a) määrittäminen tapahtuu vaakaraudoitetulle juoksulimitetylle seinälle, kohdassa b) pystyraudoitetulle seinälle ja kohdassa c) palkille. (RakMK B9 1993, 17.)



Kuva 14. Tehollisen korkeuden määrittäminen. (RakMK B9 1993, 17).

Tehollista korkeutta laskettaessa tulee mitoituksessa huomioida asennusvaiheen mitat ja harkkoon asennettavan vaakaraudoituksen asennuspaikka. Raudituksen tulee peittyä betonivalun alle, jolloin suojabetonin paksuus tulee olla vähintään 25 mm kuvan 15 mukaisesti. Harkkoseinäpinta rapataan yleensä tiiviiksi, minkä takia suojabetonin paksuudeksi voidaan olettaa muottiharkkokuoren koko paksuus. Muissa tapauksissa, kuten harkkojen saumojen välissä ollessa viiste otetaan harkkokuoresta huomioon vain puolet. (RakMK B9 1993, 18.)



Kuva 15. Raudituksen sijoittaminen rakenteeseen. (RakMK B9 1993, 18).

Kaavasta 7 saadaan laskettua rakenteen tuella mitoitettava ankkurointikestävyysarvo F_{bu} (RakMK B9 1993, 17).

$$F_{bu} = 1,7 f_{ctd} u_s l_b \geq \sigma_s A_s \quad (7)$$

missä u_s = tangon ympäröisyysmitta
 l_b = tangon ankkurointipituus
 σ_s = murtorajatilan laskentakuormaa vastaava teräsännitys

Tuelle tulevan ankkurointipituuden vähimmäispituus saadaan kaavalla 8 (Betoniteollisuus ry 2022a, 21).

$$l_b = V_d / (1,7 f_{ctd} u_s) \quad (8)$$

missä V_d = poikkileikkauksen leikkausvoiman mitoitusarvo

Tarkasteltavan rakenteen poikkileikkauksen raudoituksen vetorasitus saadaan taivutusmomentin ja leikkausvoiman yhteenlasketusta summasta. Raudoitettujen ankkurointikestävyiden yhteenlaskettu arvo ΣF_{bu} rakenteen poikkileikkauksessa saadaan tarkistettua kaavasta 9. (RakMK B9 1993, 17.)

$$\Sigma F_{bu} \geq M_d/z + V_d \quad (9)$$

missä M_d = poikkileikkauksen taivutusmomentin laskenta-arvo
 z = poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi

Kenttäraudoitus vapaalla tuella määritetään vähintään mitoitettun leikkausvoiman maksimiarvoa vastaavalle voimalle. Kiinnitetyissä tuissa minimiankkurointipituus saadaan tuen reunasta ja se on vähintään 10 kertaa käytetyn raudoitustangon halkaisijan koko.

Ankkurointimitoituksen jälkeen tulee rakenteelle mitoittaa tuelle aiheutuva leikkausvoima. Leikkausvoiman mitoitusarvo saadaan laskettua etäisyyden d päässä tuen reunasta. Jos vetorausituksen oletetaan olevan ankkuroitu riittävän hyvin, saadaan taivutusraudoitetun rakenteen leikkauskestävyys kaavan 10 mukaisesti. (RakMk B9 1993, 17.)

$$V_c = 0,4 f_{ctd} b d \quad (10)$$

Poikkileikkauksen leikkausvoiman mitoitusarvon V_d ollessa pienempi, kuin edellä laskettu leikkauskestävyyden arvo V_c voidaan todeta laskenta tämän kohdan osalta hyväksytyksi.

5.3 Muottiharkkoseinän mitoitus normaalivoimalle ja vaakakuormille

Kellarin seinää mitoittaessa tarkastellaan yleensä metrin kaistaa, jonka mitoitukseen voidaan käyttää pilarin mitoituskaavoja ja -periaatteita. Eristemuottiharkoissa tehdyissä seinissä sekä ulko- että sisäkuoret voidaan ottaa huomioon toimimaan kantavana rakenteena. Harkkokuorien yhteistoiminta voidaan huomioida rakenteen nurjahduspituutta ja hoikkuutta laskettaessa. (Betoniteollisuus ry 2022a, 4.)

Seinän kantokyky määritetään by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 julkaisussa olevien mitoituskaavojen avulla. Laskennassa käytettävät epäkeskisyydet saadaan määritettyä by50 Betoninormit 2012 mukaisilla laskumenetelmillä. (Betoniteollisuus ry 2022a, 16.)

Muottiharkkorakenteita ei mitoituksessa lasketa kantavana rakenteena, vaan sen oletetaan toimivan vain rakentamisaikana olevana muottina (Betoniteollisuus ry 2022a, 3).

Normaalivoimien on oletettu vaikuttavan sisäkuoreen keskeisesti. Seinälle aiheutuu taivutusmomenttia, sitä rasittavan normaalivoiman epäkeskisyydestä. Epäkeskisyydet saadaan kaavoilla 11–15.

Normaalivoiman perusepäkeskisyyden e_a kaava on (Betoniteollisuus ry 2022a, 16).

$$e_a = h_c/20 + l_c/500 \quad (11)$$

missä h_c = valuontelon leveys

l_c = seinän nurjahduspituus

Ellei laskennassa käytetä tarkempia menetelmiä, saadaan rakenteen lisäepäkeskisyys e_2 seuraavalla kaavalla 12 (Betoniteollisuus ry 2022a, 16).

$$e_2 = (\lambda/145)^2 \cdot h_c \quad (12)$$

missä λ on rakenteen hoikkuus. Tämä saadaan kaavasta 13 (Betoniteollisuus ry 2022a, 16).

$$\lambda = l_c/i \quad (13)$$

missä i = jäyhyysäde suorakaidepoikkileikkaukselle

Vaakakuormituksesta aiheutuva momentti jaetaan normaalivoiman epäkeskisyudeksi kaavalla 14 (Betoniteollisuus ry 2022a, 16).

$$e_0 = M_d/N_d \quad (14)$$

missä M_d = taivutusmomentin laskenta-arvo

N_d = normaalivoiman laskenta-arvo

e_{01} = itseisarvoltaan suurempi on e_{02} pienempi rakenneosan päissä esiintyvistä alkuperäisistä epäkeskisyyksistä

Mitoitusepäkeskisyys e_d saadaan laskemalla epäkeskisyydet yhteen kaavalla 15 (Betoniteollisuus ry 2022a, 17).

$$e_d = e_a + e_2 + e_0 \quad (15)$$

Näillä kaavoilla saadaan mitoituksessa käytettävä mitoitusepäkeskisyys, joka vaikuttaa rakenteen puolivälissä.

Seuraavaksi mitoitetaan keskeisen puristuksen normaalivoimakestävyys $N_{Rd,0}$ ja tasapainomurtoon kuuluvat normaalivoima $N_{Rd,b}$, jotka saadaan kaavoilla 16 ja 17 (Suomen Betoniyhdistys ry 2008, 419-420).

$$N_{Rd,0} = (A_s + A_{sc}) f_{sd} + b h_c f_{cd} \quad (16)$$

missä A_s = vetoraidoituksen poikkileikkauksen pinta-ala
 A_{sc} = puristusraidoituksen poikkileikkauksen pinta-ala
 f_{sd} = vetoraidoituksen mitoituslujuus

$$N_{Rd,b} = \lambda b d f_{cd} \frac{\varepsilon_{cu} E_s}{f_{sk} + \varepsilon_{cu} E_s} + (A_{sc} - A_s) f_{sd} \quad (17)$$

missä $\lambda = 0,8$
 $\varepsilon_{cu} = 0,0035$

Tasapainomurtoon kuuluvan normaalivoiman epäkeskisyys $e_{d,b}$ saadaan kaavasta 19 (Suomen Betoniyhdistys ry 2008, 420).

$$e_{d,b} = \frac{f_{cd} y_b b \left(d - d_s - \frac{y_b}{2} \right) + A_{sc} f_{sd} (d - d_c - d_s) + A_s f_{sd} d_s}{N_{Rd,b}} \quad (18)$$

missä d = vetoteräksien etäisyys painopisteestä poikkileikkauksen yläpintaan
 d_c = puristusteräksien etäisyys painopisteestä poikkileikkauksen yläpintaan
 $x_b = \frac{d \varepsilon_{cu} E_s}{f_{sd} + \varepsilon_{cu} E_s}$
 $y_b = 0,8 x_b$
 $d_s = d - x_b$

Laskennassa saadun normaalivoiman mitoitusarvon tulee olla pienempi kuin normaalivoimakestävyuden tai tasapainomurtoon kuuluva normaalivoima, ettei seinässä synny puristumurtumaa.

Pilarin poikkileikkauksen puristuskestävyyden laskemiseen voidaan käyttää kahta eri kaavaa, joista mitoituksessa käytetään näistä saatua pienempää arvoa. Puristuskestävyyden arvo voidaan saada kaavalla 20. (Suomen Betoniyhdistys ry 2008, 420).

$$N_{Rd} = \frac{f_{cd} \gamma_b b \left(d - d_s - \frac{\gamma_b b}{2} \right) + A_{sc} f_{sd} (d - d_c - d_s) + A_s f_{sd} d_s}{N_{Rd,b}} \quad (19)$$

tai Whitneyyn menetelmään perustuen arvioidulla kaavalla 21 (Suomen Betoniyhdistys ry 2008, 420).

$$N_{Rd} = \frac{A_{sc} f_{sd} (d - d_c) + 0,4 f_{cd} b d^2}{e_d + d - h_c \div 2} \quad (20)$$

Mitoitus on hyväksyttävä, kun normaalivoiman mitoitusarvon N_{Ed} arvo on pienempi kuin puristuskestävyyden N_{Rd} arvo. Ulkokuoreen kohdistuva normaali-voima tulee ainoastaan ulkokuoren painosta, jolloin seinärakenne on pääsääntöisesti taivutettu. (Betoniteollisuus ry 2022h, 18-19.)

Rakenteen teräsännitykset voidaan tarkistaa kaavalla 21 (Betoniteollisuus ry 2022a, 20).

$$\sigma = \frac{M_d}{z A_s} \leq f_{yd} \quad (21)$$

missä z = poikkileikkauksen sisäinen momenttivarsi ($z = 0,85 d$)

Muottiharkkoseiniin tulee asentaa vähintään kutistuman vaatima vaakaraudoitus. Kutistumaraudoitus saadaan laskettua kaavalla 22 (Betoniteollisuus ry 2022a, 20).

$$A_s = 0,001 A \quad (22)$$

missä A = seinän poikkileikkaus bruttopinta-ala, johon lasketaan mukaan myös harkon kuoret

6 Tulokset

6.1 Lähtötiedot

Muottiharkkorakenteisten maanpaineeseinien mitoituskestävyyden laskelmat tehtiin 200 millimetrin paksuiselle muottiharkkoseinälle ja 400 millimetrin paksuiselle eristemuottiharkkoseinälle, johon kohdistuu vaakakuormituksen lisäksi pystykuormitusta. Laskenta suoritettiin PTC Mathcad Prime 7.0.0.0 laskentaohjelmalla.

Laskennassa käytettiin seuraavia vertailutapaukseen valittuja vakioarvoja:

- Seinän korkeus $l = 3,2$ m
- Maantäyttö korkeus $1,8$ m
- Tarkasteltavan poikkileikkauksen leveys $b = 1$ m
- Seinään kohdistuva normaalivoima $N_d = 70$ kN
- Maanpaineesta aiheutuva momentti $M_d = 5,2$ kNm
- Betonin lujuusluokka = C30/37 (taulukko 1)
- Pystyraudoitus = T10 K200
- Teräksen laatu = A500HW
- Teräksen kimmokerroin $E_s = 200000$ N/mm²
- Betonin murtopuristuma $\epsilon_{cu} = 0,0035$
- Vetoraudoituksen poikkileikkauksen pinta-ala $A_s = 392,7$ mm²
- Puristusraudoituksen poikkileikkauksen pinta-ala $A_{sc} = 0$ mm²
- Vetoraudoituksen mitoituslujuus $f_{sd} = 417$ N/mm²
- Betonin ominaislujuus $f_{ck} = 22,2$ N/mm²
- Betonin laskentalujuus $f_{cd} = 11,1$ N/mm²

6.2 MH-200 (liite 1)

- Valuontelon leveys $h_c = 138$ mm
- $h = h_c$

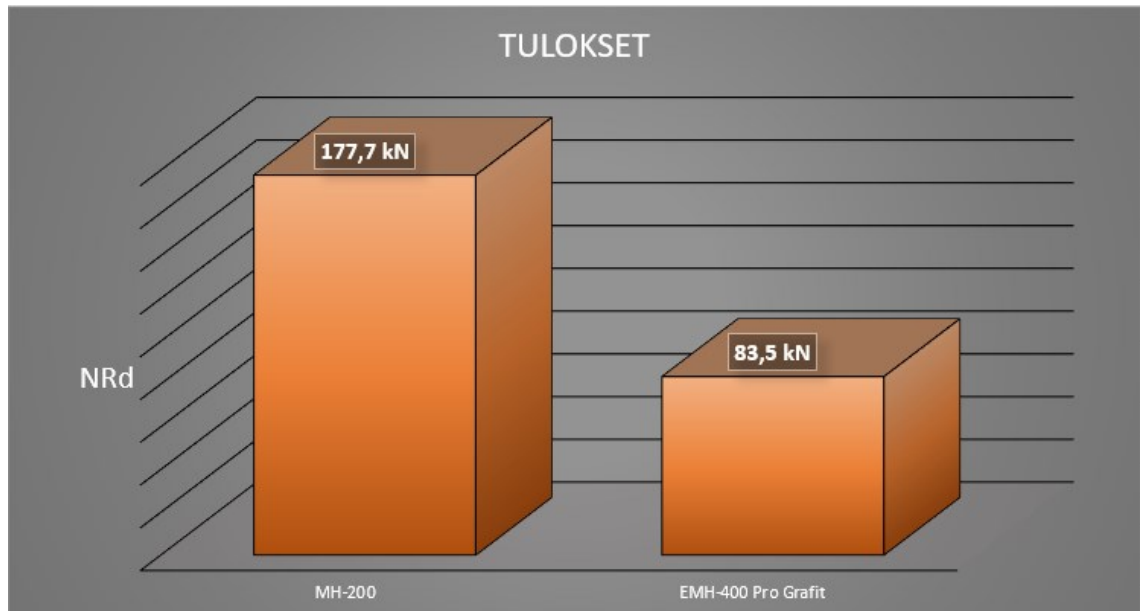
- Etäisyys vetoterästen painopisteestä poikkileikkauksen yläpintaan $d = 91$ mm (kuva 14)

6.3 EMH-400 Pro Grafit (liite 2)

- Valuontelon leveys $h_c = 75,6$ mm
- $h = 95,25$ mm (kaava 4)
- Etäisyys vetoterästen painopisteestä poikkileikkauksen yläpintaan $d = 50$ mm (kuva 14)

6.4 Mitoituskestävyyden tulokset

Laskennassa käytetyt kaavat ovat opinnäytetyön kohtien 5.2 ja 5.3 mukaisia mitoituskaavoja. Mitoituskaavat on johdettu Betoniteollisuus ry:n julkaisemasta muottiharkkojen mitoitusohjeesta, josta löytyy puristetun ja taivutetun rakenteen laskentaesimerkki (Betoniteollisuus ry 2022a, 16). Laskentaesimerkin tulkitsemiseen ja epäkohtien selvittämiseen käytössä oli myös by210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008 julkaisu (Suomen Betoniyhdistys ry 2008). Ohjeen mukaisesti muottiharkkojen mitoituskestävyydessä huomioitiin pelkästään harkkokuorien keskelle jäävä valuosa. Muottieristeharkossa ulkokuoren jäykistävä vaikutus huomioitiin kaavalla 4, joissa käytettiin harkkokuorien valuonteloiden leveyttä (liite 2). Laskennassa saadut normaalivoimakestävyyden arvot löytyvät kuviosta 1.



Kuvio 1. Tuloksista voimme nähdä tässä tapauksessa muottiharkkoseinän kestävän yli puolet enemmän pystykuormitusta verrattuna eristemuottiharkkoseinään, kun niihin kohdistuu samanaikaisesti vaakakuormitusta.

Keskeisimmät tuloksiin vaikuttavat tekijät ovat valuontelon leveys h_c , vetoterästen etäisyys painopisteestä poikkileikkauksen yläpintaan d ja mitoituksessa laskettava laskentaepäkeskisyyden e_d . Valuontelon leveys muottiharkkoseinä MH-200:ssa on suurempi, kuin eristemuottiharkko EMH-400 seinässä. Tämä lisää tässä tapauksessa muottiharkkoseinän normaalivoimakestävyyttä, koska sen mitoituksessa huomioon otettavan betonin poikkileikkaus on suurempi. Valuontelon leveyden ollessa suurempi, on d -mitta myös tällöin suurempi mikä myös parantaa poikkileikkauksen mitoituskestävyyttä. Teräksen sijainti molemmissa tapauksissa 25 mm:ä sisäkuorien sisäpinnoista (kuva 15).

6.5 Mitoitustaulukon toiminta esimerkkilaskelmassa

Tässä kappaleessa käymme edellä opinnäytetyössä esitetyn laskennan läpi tuottamassamme mitoitustaulukossa täytettävien lukuarvojen ja tulosten osalta. Tarkastelussa EMH-400 Pro Grafit -harkosta rakennettu seinä. Tarkastelu viehdään tässä osiossa hieman pidemmälle, kuin liitteinä olevissa laskelmissa.

Keltaisella pohjalla olevat solut kertovat siitä, että luvut on tarkistettava ja muutettava suunniteltavan kohteen mukaisiksi. Punaisella tekstillä kerrotaan lukuarvoon liittyvä huomio tai mainitaan lähde minkä perusteella arvo määritetään. (kuva 16.)

Mitoitustaulukosta löytyy omat täyttösolunsa, minne syötetään suunnittelijan määrittämät seinään kohdistuvat normaalivoiman mitoitusarvo N_d ja maanpaineesta syntyvän momentin mitoitusarvo M_d (kuva 16).

M_d	2,623	kNm/m	Momentti yhdelle harkkokuorelle
N_d	70	kN	

Kuva 16. Kuvakaappaus mitoitustaulukosta, johon on syötetty laskentaesimerkin mukaiset kuormitukset.

Seinän mittatietojen osalta mitoitustaulukoon syötetään mitoitettavan seinän korkeus l ja k_c kerroin (kuva 17).

Seinän korkeus l	3,2	[m]	
k_c	1	Nivel-Nivel ja sivusiirtymä estetty	

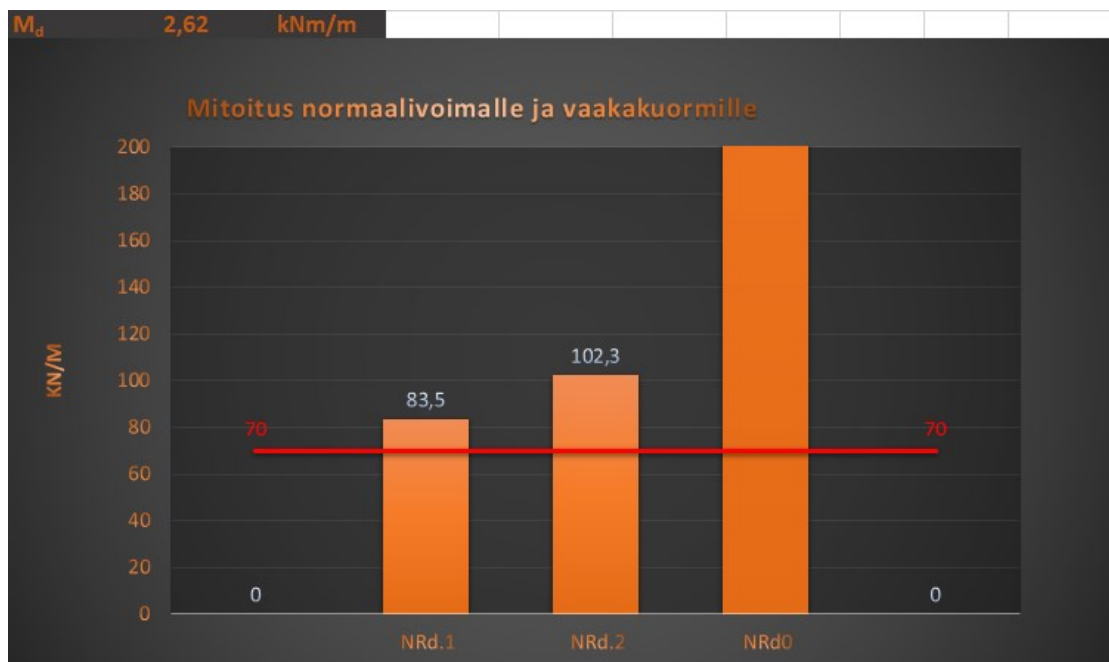
Kuva 17. Kuvakaappaus mitoitustaulukosta, johon on syötetty laskentaesimerkissä olevan seinän korkeus ja käytetty k_c kerroin.

Seinässä käytettävä rauditus syötetään mitoitustaulukon syöttösoluihin (kuva 18).

RAUDOITUKSEN MÄÄRITTÄMINEN		
Teräksen laatu A500HW		
Vetorausoituis A_s	392,7	mm ² /m
f_{yk} (f_{sk})	500	mm ² /m
Teräksen lujuuden suunnitteluarvo f_{yd} (fsd)	417	N/mm ²
Puristusraudoitus A_{sc}	0	mm ² /m
Y_b	23,33	mm
d_s	20,83	mm
Osavarmuusluku Murtotila Raudoitus γ_s	1,2	Taulukko M 3.2 B9
Vaaka teräksen halkaisija \emptyset	0	mm
Pysty teräksen halkaisija \emptyset	10	mm
Teräsjako k/k [m]	0,20	m
Ecu betonin murtopuristuma	0,0035	
Teräksen kimmokerroin E_s	200000	N/mm ²
Etäisyys puristusterästen painopisteestä poikkileikkauksen yläreunaan d_c	0	mm

Kuva 18. Kuvakaappaus mitoitustaulukosta, johon syötetään seinässä käytettävän raudoituksen mukaiset arvot.

Syöttösoluihin syötettyjen tietojen perusteella muodostuu mitoitustaulukossa kuvaaja, joka osoittaa kestäkö seinärakenne siihen kohdistuvat rasitukset (kuvio 2).



Kuvio 2. Mitoitus on onnistunut tämän tarkastelun osalta. Oranssien pystypilareiden arvot ovat suuremmat kuin punaisen merkkiviivan arvo.

Kuviossa punainen merkkiviiva on seinään vaikuttava normaalivoiman mitoitusarvo N_d . Seinä ei kestä kuormitusta, mikäli jokin kuvaajan pystypilareista jää

punaisen merkkiviivan alapuolelle ja tällöin on palattava vaihtamaan lähtöarvoja. Kuviossa normaalivoimakestävyys NRd.1 tulee kaavasta 19 ja NRd.2 kaavasta 20. (kuvio 2.)

Tarkistetaan mitoitusaulukosta kestäkö raudoitus teräsjännityksen kaavan 21 mukaisesti (kuva 19).

z	42,5	mm			
σ	157,2	N/mm ²	<	416,7	TOSI

Kuva 19. Mitoitusaulukossa käytimme JOS-funktiota tuomaan mitoitusarvojen tulokset selkeämmin esiin.

Tarkistetaan raudoitetun poikkileikkauksen taivutuskestävyys mitoitusaulukosta (kuva 20).

$M_{u,raudoitettu} = k \cdot A_s \cdot f_{yd} \cdot d$	7,0	kNm/m	$\leq 0,3 b d^2 f_{cd}$	8,325	TOSI
--	-----	-------	-------------------------	-------	------

Kuva 20. Poikkileikkaus kestää taivutusmomentin. Mitoitusaulukossa oleva täyttösolu käyttää opinnäytetyön kaavaa 6.

Seuraavaksi tarkistetaan mitoitusaulukosta leikkausvoimakapasiteetti (kuva 21), missä täyttösolu käyttää kaavaa 10.

LEIKKAUSKESTÄVYYS		Yhden harkkokuoren leikkausvoima kestävyys			
A_{sv}	78,54	mm ²			
$\sin \alpha$	1				
$\cos \alpha$	0				
V_c	16,70	kN	>	10,17	Vd arvo [kN] TOSI

Kuva 21. Mitoitusaulukosta näemme, että harkkokuoren leikkausvoimakapasiteetti riittää ottamaan vastaan leikkausvoiman tässä tapauksessa.

Viimeisenä tässä mitoituksessa tarkistetaan kutistumaraudoitus (kuva 22).

Kutistumaraudoitus		
A_s	110,5	mm ² /m

Kuva 22. Täyttösolu käyttää opinnäytetyön kaavaa 22.

Kuvan 22 tuloksesta voimme päätellä, että vaakaraudoitukseksi valitaan T8 K400, jolloin $A_s = 125,66 \text{ mm}^2$.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön alussa aikaa meni paljon laskentaan perehtyessä ja esimerkkilaskelman epäkohtiin ratkaisuja etsiessä. Onneksemme teimme opinnäytetyön parityönä ja pystyimme etsimään tietoa monista eri lähteistä ja tekemään erilaisia laskutoimituksia tiukan ajan puitteissa.

Harkkokäsikirjan esimerkkilaskelmassa 7.5 (Betoniteollisuus ry 2022a, 16) oli paljon epäkohtia kaavojen merkinnöissä, kun vertasimme näitä esimerkkilaskelman käyttämiin kirjallisuuslähteisiin. Esimerkkilaskelmassa ei ole kerrottu miksi näitä eri merkintöjä on käytetty tai, että mihin ne perustuvat. Luotimme epäselvissä tapauksissa kirjallisuudesta löytyviin kaavoihin. Tämän mitoitustarkastelun 7.5 luotettavuuden tarkistaminen jäi vielä tämän opinnäytetyön osalta tekemättä, koska emme saaneet laskentaesimerkin julkaisijaa kommentoimaan asiaa tämän opinnäytetyön teon aikana.

Toimeksiantajalle tuottamaamme mitoitustaulukkoon jäi vielä kehitettävää ja siitä on mahdollista vielä tuottaa ja jatkokehittää suunnittelutyötä helpottavia mitoitustaulukoita. Mitoitustaulukossa olevien mitoitustarkastelujen testaaminen ja tarkastaminen jäi toimeksiantajalle vielä tehtäväksi. Mitoitustaulukkoa on päivitettävä muottiharkkojen mitoitushjeiden päivittyessä.

Tutkimus- ja kehitystyölle harkkoseinien mitoitukseen näkisimme lisää tarvetta ja päivityksiä näiden mitoitushjeisiin. Tällä hetkellä mitoitushjeet harkkojen osalta ovat selkeät B9:n puolesta, mutta betonirakenteiden mitoitushjeiden kehittyessä, on tullut lisää erilaisia tapoja soveltaa muottiharkkojen mitoitustuloksia. Tämän näemme ongelmallisena, kun ilman tarkempia muottiharkkojen mitoitushjeita suunnittelijalla on suuremmat riskit suorittaa mitoitus väärällä

tavalla. Suomen rakentamismääräyskokoelman B9 ohjeet ovat 1993 vuodelta, mutta vieläkin käytössä, kun suunnitellaan betoniharkkorakenteita.

Muottiharkkojen mitoitusohjeiden päivityksestä kerrotaan vuoden 2016 Harkko-käsikirjassa seuraavasti.

Muottiharkkorakenteiden suunnitteluohjeet ovat päivittymässä ja uudet ohjeet tulevat perustumaan betonirakenteiden eurokoodiin SFS-EN1992-1-1 ja ne tullaan julkaisemaan todennäköisesti kansallisen liitteen yhteydessä. Toistaiseksi muottiharkkorakenteet suunnitellaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B9 mukaisesti. (Koskiaro & Petrow, 3 2016.)

Muottiharkkorakenteita voidaan mitoittaa betonirakenteena nykyisten eurokoodien ja näihin liittyvien kansallisten ohjeiden mukaan, mutta tällöin ei voida ottaa harkkokuoria huomioon kantavana rakenteena (Betoniteollisuus ry 2022a).

Muottiharkkoseinän mitoittamisessa betoniseinän mitoitusohjeiden mukaisesti voisimme käyttää kohdan 5.3 esimerkkilaskelmassa ominaislujuuden kertoimena 0,85 arvoa ja laskentalujuuden määrittämisessä pienempää osavarmuuslukua 1,5.

Saimme hyvää kokemusta muottiharkkojen mitoittamisesta ja jatkossa odotamme mielenkiinnolla uusia mitoitusohjeita. Toivomme, että jatkossa muottiharkkojen mitoitusohjeet tehtäisiin tarkemmin ja helpommin ymmärrettäviksi sekä niiden olisi hyvä olla koostettu yhteen ohjeeseen.

Lähteet

- Arffman, M. 2012. Muottiharkkorakenteiden mitoittaminen eurokoodeilla. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205035987>. 2.2.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022a. Harkkokäsikirja 2016 Ladottavien muottiharkkorakenteiden suunnitteluohjeet ja mitoitus (liite 2) https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Muottiharkkorakenteiden-mitoitus-ohje_liite2.pdf 10.1.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022b. <https://betoni.com/betonirakentaminen/harkkorakentaminen/> 10.1.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022c. Moduulimitoitus suunnittelussa. <https://harkkokivitalo.fi/rakennesuunnittelu/moduulimitoitus-suunnittelussa/> 12.1.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022d. Harkkotalon rakentaminen. <https://harkkokivitalo.fi/rakentaminen/> 12.01.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022e. Betonin kuljetus ja siirto. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonin-kuljetus-ja-siirto/> 12.01.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022f. Paikallavalurakentaminen. <https://betoni.com/betonirakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen/> 12.01.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022g. Muottityö. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/muottityo/> 12.01.2022.
- Betoniteollisuus ry. 2022h. Betonointi. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/betonointi/> 12.01.2022.
- Koskiaro, T. & Petrow, S. 2016. Kevytsoraharkot ja betoniharkot. Helsinki: Betoniteollisuus ry. http://kivitalo.asiakkaat.sigmatic.fi/core/wp-content/images/2016/01/harkkokasikirja_2016-sisallysluettelolla.pdf 10.1.2022.
- Lakan Betoni -konserni. 2019. Muottiharkot työohje. <https://lakka.fi/wp-content/uploads/2021/04/muottiharkot-tyohje-01072019.pdf> 17.1.2022.
- Lakan Betoni -konserni. 2021. Muottiharkot suunnitteluohje. https://lakka.fi/wp-content/uploads/2021/09/Muottiharkot_suunnitteluohje_17092021.pdf 17.1.2022.
- Lakan Betoni -konserni. 2022. Anturamuotit asennusohje. https://lakka.fi/wp-content/uploads/2021/04/lakka_anturamuotti_asennusohje_2021.pdf 17.1.2022.
- Lakka – Lakka konserni. 2016. ”Näin rakentuu Lakka Kivitalo valettavista EMH-400pro -harkoista” Youtube-video. https://www.youtube.com/watch?v=P-o74ni_3KQ&ab_channel=Lakka-Lakkakonserni 14.4.2022.
- Palolahti, T. 2011. Pienrakentajan betoniopas. Helsinki: Betoniteollisuus ry.
- RakMK B9. 1993. Betoniharkkorakenteet. Suomen rakennusmääräyskokoelma. Ympäristöministeriö.
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004 (by201)
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2008. Betonirakenteiden Suunnittelu ja Mitoitus 2008 (by210)
- Vertanen, O. 2020. Valueristeharkkorakenteisen kellarinseinän mitoittaminen. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020060115909>.

$$kNm := kN \cdot m$$

MH-200

T10k200

$$l := 3.2 \text{ m}$$

$$b := 1 \text{ m}$$

$$A_s := 392.7 \text{ mm}^2$$

$$k_c := 1$$

$$h_c := 138 \text{ mm}$$

$$A_{sc} := 0 \text{ mm}^2$$

$$l_c := k_c \cdot l = 3.2 \text{ m}$$

$$h := h_c = 138 \text{ mm}$$

$$f_{sk} := 500 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Täyttökorkeus h1

$$h1 := 1.8 \text{ m}$$

Pintakuorma q

$$q := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_1 := 6.5 \cdot \frac{h1}{m} \cdot \frac{kN}{m^2} = 11.7 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_2 := 0.5 \cdot q = 1.25 \frac{kN}{m^2}$$

$$M_{p1,max} := \frac{p_1 \cdot h1^2}{6 \cdot l} \cdot \left(l - h1 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{h1}{3 \cdot l}} \right) \right) = 3.79 \frac{kNm}{m}$$

$$M_{p2,max} := \frac{p_2 \cdot h1^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{h1}{2 \cdot l} \right) = 1.455 \frac{kNm}{m}$$

$$M_d := M_{p1,max} + M_{p2,max} = 5.246 \frac{kNm}{m}$$

$$N_d := 70 \frac{kN}{m}$$

$$f_{cd} := 11.1 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{sd} := 417 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ck} := 22.2 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$i := \frac{h}{12^{\frac{1}{2}}} = 39.837 \text{ mm} \quad \lambda := \frac{l_c}{i} = 80.327$$

$$e_0 := \frac{M_d}{N_d} = 74.936 \text{ mm}$$

$$e_a := \frac{h_c}{20} + \frac{l_c}{500} = 13.3 \text{ mm}$$

$$e_2 := \left(\frac{\lambda}{145} \right)^2 \cdot h_c = 42.351 \text{ mm}$$

$$e_d := e_a + e_2 + e_0 = 130.587 \text{ mm}$$

$$N_{Rd,0} := ((A_s + A_{sc}) \cdot f_{sd} + b \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 1695.556 \text{ kN}$$

$$d := 91 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{cu} := 0.0035$$

$$E_s := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \lambda := 0.8$$

$$N_{Rd,b} := \lambda \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon_{cu} \cdot E_s}{f_{sk} + \varepsilon_{cu} \cdot E_s} + (A_{sc} - A_s) \cdot f_{sd} = 307.624 \text{ kN}$$

$$x_b := \frac{d \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s}{f_{sk} + \varepsilon_{cu} \cdot E_s} = 53.083 \text{ mm}$$

$$y_b := \lambda \cdot x_b = 42.467 \text{ mm}$$

$$d_c := 0 \text{ mm}$$

$$d_s := d - x_b = 37.917 \text{ mm}$$

$$e_{d,b} := \frac{f_{cd} \cdot y_b \cdot b \cdot \left(d - d_s - \frac{y_b}{2}\right) + A_{sc} \cdot f_{sd} \cdot (d - d_c - d_s) + A_s \cdot f_{sd} \cdot d_s}{N_{Rd,b}} = 68.989 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} := \frac{N_{Rd,0}}{1 + \frac{e_d}{e_{d,b}} \cdot \left(\frac{N_{Rd,0}}{N_{Rd,b}} - 1\right)} = 177.726 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,whitney} := \frac{A_{sc} \cdot f_{sd} \cdot (d - d_c) + 0.4 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}{e_d + d - \frac{h_c}{2}} = 240.962 \text{ kN}$$

Teräsjännityksen tarkistus

$$z := 0.85 \cdot d = 0.077 \text{ m}$$

$$\sigma := \frac{M_d}{z \cdot A_s} \cdot m = 172.69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma < f_{sd} = 1 \text{ -----} > \quad 0 = \text{Epätosi} \\ 1 = \text{Tosi}$$

$$kNm := kN \cdot m$$

EMH-400 PRO GRAFIT

T10k200

$$l := 3.2 \text{ m}$$

$$b := 1 \text{ m}$$

$$A_s := 392.7 \text{ mm}^2$$

$$k_c := 1$$

$$h_c := 75.6 \text{ mm}$$

$$A_{sc} := 0 \text{ mm}^2$$

$$l_c := k_c \cdot l = 3.2 \text{ m} \quad h := \left(h_c^3 + h_c^3 \right)^{\frac{1}{3}} = 95.25 \text{ mm} \quad f_{sk} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Täyttökorkeus h1

$$h1 := 1.8 \text{ m}$$

Pintakuorma q

$$q := 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_1 := 6.5 \cdot \frac{h1}{m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 11.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$p_2 := 0.5 \cdot q = 1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$M_{p1.max} := \frac{p_1 \cdot h1^2}{6 \cdot l} \cdot \left(l - h1 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \sqrt{\frac{h1}{3 \cdot l}} \right) \right) = 3.79 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_{p2.max} := \frac{p_2 \cdot h1^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{h1}{2 \cdot l} \right) = 1.455 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$M_d := \frac{(M_{p1.max} + M_{p2.max})}{2} = 2.623 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$N_d := 70 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$f_{cd} := 11.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{sd} := 417 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ck} := 22.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$i := \frac{h}{12^{\frac{1}{2}}} = 27.496 \text{ mm} \quad \lambda := \frac{l_c}{i} = 116.379$$

$$e_0 := \frac{M_d}{N_d} = 37.468 \text{ mm}$$

$$e_a := \frac{h_c}{20} + \frac{l_c}{500} = 10.18 \text{ mm}$$

$$e_2 := \left(\frac{\lambda}{145} \right)^2 \cdot h_c = 48.701 \text{ mm}$$

$$e_d := e_a + e_2 + e_0 = 96.349 \text{ mm}$$

$$N_{Rd.0} := ((A_s + A_{sc}) \cdot f_{sd} + b \cdot h_c \cdot f_{cd}) = 1002.916 \text{ kN}$$

$$d := 50 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{cu} := 0.0035$$

$$E_s := 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \lambda := 0.8$$

$$N_{Rd.b} := \lambda \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon_{cu} \cdot E_s}{f_{sk} + \varepsilon_{cu} \cdot E_s} + (A_{sc} - A_s) \cdot f_{sd} = 95.244 \text{ kN}$$

$$x_b := \frac{d \cdot \varepsilon_{cu} \cdot E_s}{f_{sk} + \varepsilon_{cu} \cdot E_s} = 29.167 \text{ mm}$$

$$y_b := \lambda \cdot x_b = 23.333 \text{ mm}$$

$$d_c := 0 \text{ mm}$$

$$d_s := d - x_b = 20.833 \text{ mm}$$

$$e_{d.b} := \frac{f_{cd} \cdot y_b \cdot b \cdot \left(d - d_s - \frac{y_b}{2}\right) + A_{sc} \cdot f_{sd} \cdot (d - d_c - d_s) + A_s \cdot f_{sd} \cdot d_s}{N_{Rd.b}} = 83.408 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} := \frac{N_{Rd.0}}{1 + \frac{e_d}{e_{d.b}} \cdot \left(\frac{N_{Rd.0}}{N_{Rd.b}} - 1\right)} = 83.517 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.whitney} := \frac{A_{sc} \cdot f_{sd} \cdot (d - d_c) + 0.4 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2}{e_d + d - \frac{h_c}{2}} = 102.258 \text{ kN}$$

Teräsännityksen tarkistus

$$z := 0.85 \cdot d = 0.043 \text{ m}$$

$$\sigma := \frac{M_d}{z \cdot A_s} \cdot m = 157.148 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma < f_{sd} = 1 \text{ -----} \rightarrow \begin{array}{l} 0 = \text{Epätosi} \\ 1 = \text{Tosi} \end{array}$$