



Kantavat muuratut rakenteet korjaus- suunnittelussa

Henni Jääskeläinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (AMK)

Jääskeläinen, Henni

Kantavat muuratut rakenteet korjaussuunnittelussa

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 44 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Muurattuja rakenteita käytettiin aikoinaan paljon kantavissa rakenteissa. Rakentamiseen liittyviä säännöksiä ja ohjeita ei ole aina ollut. Vanhat tiedot, kuten muuruskappaleiden ja -laastien ominaislujuudet ovat usealta suunnittelijalta saavuttamattomissa. Suunnittelijat tarvitsevat tietoa aikoinaan käytetyistä puristuslujuuksista korjaussuunnittelua varten. Vastaavaa tutkimusta aiheesta ei löydetty. Tarkoituksena oli saada suunnittelijoita varten suuntaa antavaa tietoa ja pohjatietoa jatkotutkimuksia ajatellen. Pää tavoitteena oli selvittää muurattujen rakenteiden ominaislujuuksia. Niiden lisäksi oli tarkoitus perehtyä kyseessä olevien rakenteiden suunnittelussa käytettyyn varmuusmenettelyyn sekä selvittää, mitä määräyksiä ja ohjeita suunnittelijan tulee korjaussuunnittelussa käyttää.

Käsiteltävä aihe ja tutkimuskysymykset saatiin työelämän puolelta. Toimeksiantajana toimi Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toteutus tapahtui teoreettisena tutkimuksena. Aineistonkeruumenetelmänä oli narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Käsiteltävät aineistot olivat pääasiassa ammattilaisille ja opetuskäyttöön tarkoitettuja. Tärkeimpänä aineistona työssä oli Rakentajain kalenteri -kirjasarja. Aineisto kerättiin pääasiassa Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjastosta sekä teknologiayksikön arkistosta. Sisältöanalyysi toteutui kvalitatiivisella ja kvantitatiivisella menetelmällä. Kvalitatiivisella menetelmällä saatiin avattua aiheen kokonaiskuvaa. Kvantitatiivisella menetelmällä koottiin tulokseksi saatuja ominaislujuuksia yhteen.

Kaikkiin tutkimuskysymyksiin ei työssä pystytty vastaamaan täysin luotettavasti. Osaan kysymyksistä saatiin kuitenkin vastauksia. Muuruskappaleille ja -laasteille vaadittuja vähimmäislujuuksia vuosien varrelta koottiin liitteeseen 1. Liitteeseen listattiin myös vuosien varrella käytettyjä sallittuja jännityksiä. Varmuusmenettelyn osalta käsiteltiin mitoittamisessa käytettävää osavarmuuslukua. Tuloksissa todettiin, että osavarmuuslukuna tulee käyttää vähintään kansallisten liitteiden taulukkoarvoa. Korjaushankkeessa käytettävien määräyksien ja ohjeiden tulkinta todettiin Työn tulokset -osiossa. Tulkinnan mukaan vanhoja rakentamistapoja ja -säännöksiä saa käyttää kohteissa, jossa rakenteen kuormitus ei lisääntynyt, vaan rakennetta vahvistetaan.

Johtopäätöksenä todettiin, että käytettyjen lujuuksien ja varmuusmenettelyn varmentamiseksi aiheesta tulee tehdä jatkotutkimuksia. Lisäksi todettiin myös, että tietoperustaa ja tuloksia voidaan hyödyntää tavoitteiden mukaisesti suunnittelijoille suuntaa antavana aineistona ja pohjatietona jatkotutkimuksille.

Avainsanat (asiasanat)

Muuratut rakenteet, kantavat rakenteet, korjausrakentaminen, mitoitus

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Jääskeläinen Henni

Load-bearing masonry structures in repair planning

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 44 pages

Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Masonry structures were once used a lot in load-bearing structures. There have not always been regulations nor instructions related to construction. Old information such as the characteristic strengths of masonry and mortars is inaccessible to many designers. Designers need information about the compressive strengths used in the past for renovation projects. No similar study on the subject was found. The aim was to provide the designers with directional material and background information for further research. The main goal was to find out the characteristic strengths of masonry structures. In addition, the aim was to look at the factors of safety (FoS) used in design of the structures in the question and find out which regulations and instructions the designer should obey in renovation projects.

The topic and research questions were obtained from the company in the field. The mandator of the study was JAMK University of Applied Sciences. The execution was a theoretical study. The data collection method was narrative literature review. The materials processed were mainly intended for professional and educational use. The most important material used was the Rakentajain kalenteri book series. The material was mainly collected from the library of JAMK University of Applied Sciences and the achieves of the Technology Unit. The content analysis was carried out by using a qualitative and quantitative method. The qualitative method opened the overall picture of the topic. The quantitative method was used to aggregate the characteristic strengths.

Not all the research questions could be answered completely reliably. However, some questions were answered. The minimum strengths required for masonry bricks and mortars over the years were compiled in attachment 1. The attachment also listed permissible stresses used over the years. Partial safety factor for materials used in dimensioning was covered. The results stated that at least the tabular value of the Finnish National Annexes should be used as a partial factor for materials. The interpretation of the regulations and instructions used in the renovation projects was stated in the result section. According to the interpretation old construction methods and regulations may be used in projects where the loads on the structures do not increase but the structure is strengthened.

In conclusion it was concluded that further studies should be carried out on the subject in order to verify the strengths used and partial factors for materials. In addition, it was also noted that the database and results can be utilized in accordance with the objectives as directional material for designers and as a basis for further research.

Keywords/tags (subjects)

Masonry structures, load-bearing structures, renovation building, dimensioning

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Työn tausta.....	3
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus	4
1.3	Menetelmäkuvaus.....	5
2	Muuratut rakenteet.....	7
2.1	Muuratut rakenteet eri aikakausina	7
2.2	Materiaalit ja niiden ominaisuudet.....	9
2.2.1	Tiilet	9
2.2.2	Laastit.....	11
2.2.3	Limitykset.....	13
2.3	Kantavat rakenteet.....	14
2.4	Tiilirakenteiden murtuminen	15
3	Kantavien puristettujen rakenteiden mitoitus	16
3.1	Mitoitus yleisesti	16
3.2	Puristetun rakenteen mitoitus.....	17
3.2.1	Puristuslujuuden laskenta	17
3.2.2	Pystykestävyys	19
3.2.3	Paikallinen puristus.....	21
3.2.4	Leikkauskestävyyden laskenta.....	22
3.2.5	Vaakakestävyys.....	23
3.3	Korjausrakentaminen.....	24
3.4	Määräykset ja asetukset?.....	25
4	Ajan vaikutus.....	26
4.1	Materiaaleihin	26
4.2	Ominaisuuksiin	28
4.3	Mitoitukseen	28
5	Työn tulokset.....	29
5.1	Millaisia ominaislujuuksia rakenteilla on ollut vuosien varrella?	29
5.2	Tuleeko tutkittavien rakenteiden mitoituksessa hyödyntää vanhoja normeja vai nykyisiä normeja?	29
5.3	Millainen varmuusmenettely ko. rakenteiden mitoituksessa tulisi olla?	30
5.4	Mitä parametreja suunnittelussa tulisi käyttää?	30

6 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset	30
7 Pohdinta.....	32
7.1 Tulosten tarkastelu.....	32
7.2 Luotettavuus ja eettisyys	34
Lähteet	35
Liitteet	38
Liite 1. Poltettujen tiilien ja laastien ominaisuuksia vuosien varrella	38

Kaavat

Kaava 1. Muuratun rakenteen puristuslujuuden ominaisarvo (3.1) (RIL 206-2010)	18
Kaava 2. Pystykestävyyden mitoitussarvo (RIL 206-2010, 61)	19
Kaava 3. Pienennystekijä seinän ylä- tai alapäässä (6.4) (RIL 206-2010, 62).....	19
Kaava 4. seinän ylä- tai alapään epäkeskisyys (6.5) (RIL 206-2010, 62)	20
Kaava 5. Paikallinen puristuskestävyys (6.10) (RIL 206-2010, 67)	21
Kaava 6. Paikallisen puristuskestävyyskaavan korotuskerroin (6.11) (RIL 206-2010, 67)	22
Kaava 7. Leikkauskestävyyden mitoitussarvo (6.13) (RIL 206-2010, 68).....	22
Kaava 8. Leikkauslujuuden ominaisarvo ja sen raja-arvot (3.5) (RIL 206-2010, 36)	23
Kaava 9. Momenttikestävyyden mitoitussarvo (6.14) (RIL 206-2010, 69)	24
Kaava 10. Leikkauslujuus 1975 (39) (Muuratut rakenteet 1975).	29

Kuviot

Kuvio 1. Tiilimuurit 1900-luvun alkupuolella (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 70)	8
Kuvio 2. Juoksulimitykset	14
Kuvio 3. Pystykuormien jakautuminen seinässä ja aukon kohdalla (Kinnunen 2002, 25–26) ...	17

Taulukot

Taulukko 1. Tiilen luokkajako (Kinnunen 2002, 8)	11
Taulukko 2. Kertoimen K arvot käytettäessä yleis-, ohut- ja kevytlaasteja (3.3FI.) (RIL 206-2010, 31)	18
Taulukko 3. Osavarmuusluvun γ_M arvot (FI) (RIL 206-2010, 25).....	19
Taulukko 4. Taivutusvetolujuuden taulukkoarvo (3.6.3 FI) (RIL 206-2010, 40)	24

Keskeisiä käsitteitä

Muurattu rakenne	Muurauskappaleista, -laasteista ja limityksestä koostuva rakenne. Tässä työssä muuratulla rakenteella tarkoitetaan rakennetta, jossa muurauskappaleena on käytetty poltettuja tiiliä.
Rakentajain kalenteri -kirjasarja	Alalla käytetty käsikirja, joka sisältää erinäistä tietoa, kuten materiaalien ominaisuuksia, laskentakaavoja ja teoriaa. Käsikirja on suunnattu alan ammattilaisille ja opiskelijoille.
Varmuusmenettely	Tässä työssä varmuusmenettelyllä on pääasiassa tarkoitettu muurattujen rakenteiden mitoituksessa käytettyä materiaalin osavarmuuslukua. Osavarmuusluvulla saadaan ominaisarvosta suunnittelu-arvo.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Muurattujen rakenteiden historia on varsin pitkä ja vaikka kyseisiä rakenteita ei tehdä enää yhtä paljon kuin aikoinaan, ovat ne hyvin yleisiä katukuvassa. Muurattuja rakenteita ja etenkin työssä käsiteltyjä tiilirakenteita esiintyy asuinrakennusten lisäksi paljon myös historiallisesti merkittävissä ja suojelluissa kohteissa. Lähtään kyseiset rakenteet alkavat olla siinä vaiheessa, että niiden korjaus on ajankohtaista ja vaikka niiden suosio on ollut suurta, ei tietoa ole juurikaan taltioitu. Ongelmalista on myös se, että suunnittelijoiden on haasteellista päästä käsiksi vanhoihin tietolähteisiin. Vanhan rakenteen tunteminen on tärkeä osa korjaussuunnittelua. Rakennusmateriaalit, ohjeet, normit ja alaan sekä työhön liittyvät käytännöt ovat muuttuneet ja kehittyneet vuosien varrella useampaan otteeseen. Korjauskohteen suunnittelijan tulee olla tietoinen vanhasta rakenteesta ja sen ominaisuuksista, jotta suunnittelu sekä toteutus onnistutaan tekemään mahdollisimman vaittomasti. Tällaisessa suunnittelussa suunnittelija tarvitsee tietoa korjattavan rakenteen ominaisuuksista kuten lujuuksista, mitoista ja käyttöasteista. Tutkimusta, jossa olisi koottua tietoa rakenteiden historiasta ja kehityksen kulusta ei ole löydettävissä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vanhoja kantavia muurattuja rakenteita - niiden historiaa sekä tärkeimpiä ominaisuuksia Suomessa. Suunnittelijoille tarvitaan selkeitä ohjeita muun muassa pa-

rametreista, joita korjaussuunnittelussa tarvitaan. Varmuusmenettely on myös tärkeä osa rakennesuunnittelijan mitoittamistyötä. Tämän takia työssä on esitelty sekä nykyistä mitoitusmenetelmää että aiemmin käytettyjä mitoitusmenetelmiä. Rajallisen aikataulun vuoksi opinnäytetyössä ei ole esimerkkilaskelmia.

Toimeksianto sekä tutkimuskysymykset ovat tulleet työelämän puolelta. Alkuperäisellä toimeksiantajalla ei ollut resursseja osallistua tutkimusprosessiin alkuvaihetta pidemmälle. Toimeksiantajaksi on vaihtunut Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tutkimuksen aihe on kuitenkin todettu kysynnän vuoksi tärkeäksi ja sen voidaan olettaa hyödyntävän alaa. Opinnäytetyö on pääasiassa suunnattu rakennusalan ammattilaisille kuten suunnittelijoille tai korjaushankkeeseen ryhtyvälle. Tämän vuoksi työssä on oletettu, että lukijalla on peruskäsitys alasta ja rakenteiden toiminnasta.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tarkoituksena on edistää muurattujen rakenteiden ja tässä tapauksessa tarkennettuna tiilirakenteiden tutkimista ja korjaussuunnittelun helpottamista. Rajallisen tutkimusaineiston vuoksi korjaussuunnittelijoiden tiedot vanhoista muurauskappaleista, -laasteista ja niiden yhteistoiminnasta syntyvistä kokonaislujuuksista voivat olla vajaat, mikä hankaloittaa toimivien suunnitelmien tuottamista. Tavoitteena on kerätä koottua tietoa muurattujen rakenteiden historiasta näiden ominaisuuksien ja kehityksen kannalta, jota voidaan käyttää suunnittelijoille suuntaa antavana aineistona ja pohjatietona jatkotutkimuksille. Tärkein koottava tieto on muurattujen rakenteiden ominaislujuudet vuosien varrella. Työssä pyritään selvittämään ohjeellisia arvoja muurattujen rakenteiden lujuuksille vuosien varrella. Koottua tietoa pystytään hyödyntämään jo korjaussuunnittelussa suuntaa antavana tietona sekä jatkotutkimuksissa pohjatietona. Rakennesuunnittelijan laskelmissa käytetään varmuusmenettelyjä, kuten osavarmuuslukuja. Tavoitteena on saada selville myös muuratulle rakenteelle käytettävä osavarmuusluku korjaussuunnittelussa. Kootun tiedon sekä varmuusmenettelyn lisäksi työssä tavoitellaan normien ja ohjeiden selkeyttä kussakin tilanteessa. Tavoitteista muodostuu selkeät tutkimuskysymykset, joilla lähdetään hakemaan vastausta.

Opinnäytetyö on hyvin laaja ja sitä on pyritty rajaamaan mahdollisimman hyvin. Rajaus perustuu siihen, että aiempaa tutkimusta kyseisestä aiheesta ei olla tehty. Kaikkien osapuolien eli työelämän edustajan, ammattikorkeakoulun ja kirjoittajan tiedossa on alusta asti ollut, että jatkotutki-

muksia joudutaan tekemään, eikä näitä pystytä mahduttamaan kyseessä olevaan työhön. Aiheena on kantavat rakenteet, eikä tutkimuksessa olla käsitelty kevyitä rakenteita. Työssä muuratut rakenteet on rajattu tarkoittamaan rakenteita, joissa muurauskappaleina on käytetty tiiliä ja tarkemmin sanottuna poltettuja tiiliä. Lisäksi työssä on keskitytty tarkastelemaan muurattuja rakenteita pystykuormitettuna rakenteina eli raudoittamattomana rakenteena, sillä aikoinaan tiili oli tällaisena yleisin. Työssä käsiteltävä mitoittamisosio on rajattu yksinkertaiseen mitoittamiseen, jotta pääpiirteittäiset erot voidaan tuoda esille. Mitoittamista ja murtumismekanismia ei opinnäytetyössä ehditä käsitellä tarkemmin. Rajaus perustuu työn tavoitteisiin ja aiemman tutkimustiedon vähäisyyteen. Työn avulla pystytään asetettujen rajausten puitteissa ja tavoitteiden mukaisesti tarjoamaan suuntaa antavaa tietoa suunnittelijoille sekä pohjustamaan aihetta jatkotutkimuksia varten. Aihetta ei pystytä rajaamaan tarkemmin eikä sitä pystytä laajentamaan, sillä se jättää osan tärkeistä läpikäytävistä asioista pois. Tässä tilanteessa työtä ei pystytä käyttämään tavoitteiden mukaisesti. Aiheen rajaus on tarkka, sillä käytettävä aika ei riitä käsittelemään aihetta laajemmin.

1.3 Menetelmäkuvaus

Työ suoritetaan teoreettisena tutkimuksena. Aiheen kokonaisuutta on pyritty käsittelemään laajalti ja tietoa on pyritty kokoamaan yhteen (Teoreettinen tutkimus 2015). Työssä on tutkittu jo tehtyjä tutkimusaineistoja sekä julkaisuja. Aineistot ovat pitkälti vanhoja asetuksia, normeja, standardeja ja opetusmateriaaleja.

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksessa tutustutaan aiheesta aiemmin tehtyihin julkaisuihin, kuten tutkimuksiin, joiden avulla pystytään luomaan kokonaiskuva aiheesta. Kirjallisuuskatsauksien avulla on mahdollista kehittää sekä luoda teorioita käsiteltävästä aiheesta. Useimmiten katsauksella pyritään etsimään vastausta esimerkiksi tutkimusongelmaan. Kirjallisuuskatsaukset voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin, joita ovat kuvaileva kirjallisuuskatsaus, systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja meta-analyysi. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on yleisin kolmesta perustyyppistä. Menetelmällä päästään käsittelemään aihetta laajasti ilman tiukkoja sääntöjä verraten muihin menetelmiin. Työssä käytetty narratiivinen kirjallisuuskatsaus on toinen kuvailevan kirjallisuuskatsauksen suuntautumisista. Suuntautumisesta ovat narratiivinen ja integroiva katsaus. Integroivassa kirjallisuuskatsauksessa luodaan uutta tietoa vanhojen julkaisujen perusteella ja tutkittavaa ilmiötä tarkastellaan monipuolisesti. Narratiivisessa kirjallisuuskatsauksessa voidaan esittää laajoja aiheita ja käsitellä myös aiheiden historiaa ja kehitystä. Narratiiviselle katsaukselle on yleis-

tä myös, että varsinaista vastausta ei saada aikaiseksi. (Salminen 2011, 3–8.) Narratiivinen kirjallisuuskatsaus sopii paremmin opinnäytetyön aiheeseen aiemman tutkimustiedon vähäisyyden vuoksi. Opinnäytetyön toteutus aloitetaan muodostamalla tutkimuskysymykset, jonka jälkeen aineistoa ryhdytään valitsemaan työhön, niin että ne vastaavat tutkimuskysymyksiin. Työelämän edustajan kanssa on keskusteltu tiedon tarpeesta ja tutkittavista asioista. Lopputulemana on saatu muodostettua seuraavanlaiset tutkimuskysymykset:

- Millaisia ominaislujuuksia muuratuilla rakenteilla on ollut vuosien varrella?
- Tuleeko tutkittavien rakenteiden mitoituksessa hyödyntää vanhoja vai nykyisiä normeja?
- Millainen varmuusmenettely ko. rakenteiden mitoituksessa tulee olla?
- Kun tutkittavaa rakennetta lähdetään korjaamaan, mitä parametrejä suunnittelussa tulee käyttää?

Opinnäytetyössä käytetyt aineistot on kerätty etsimällä aiheeseen liittyvää materiaalia ammattikorkeakoulun käytössä olevien tietokantojen sekä kirjaston kautta ja tietoa kansallisista liitteistä kerättiin ympäristöministeriön sivuilta. Näiden lisäksi käytössä on ollut Jyväskylän ammattikorkeakoulun teknologiayksikön kokoelma Rakentajain kalentereista. Aineiston hankintamenettelynä on narratiivinen kirjallisuuskatsaus. Valitulla menettelytavalla on vaikutusta tiedon hakemiseen ja valintaan sekä opinnäytetyön kulkuun. Aineistoa on valittu sillä perusteella, sisältääkö se luotettavaa tietoa käsitellystä aiheesta ja auttaako aineiston tiedot vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Lähteinä käytetään luotettavaksi todettua aineistoa sekä aineistoa, jossa on yhtäläistä tietoa luotettujen lähteiden kanssa tai perustuivat niihin. Aineiston valinnan jälkeen sille toteutetaan sisältöanalyysi.

Työssä on käytetty sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista analyysia. Kvalitatiivisella eli laadullisella sisältöanalyysillä tavoitellaan kokonaiskuvan laajaa ymmärrystä. Tutkimuksessa käsitellään lähdeaineistojen perusteella muurattujen rakenteiden ominaisuuksia ja niiden mahdollisia muutoksia. Ominaisuuksien ja niiden kehittymisen lisäksi työssä on pyritty tuomaan kokonaiskuva rakenteesta. Opinnäytetyö on pääasiassa luonnontieteisiin perustuva, jolloin sille luontainen menetelmä on kvantitatiivinen eli määrällinen sisältöanalyysi. Määrällisessä analyysissä on tyypillistä käsitellä muun muassa numeroita ja tilastoja. (Tuomi & Sarajärvi 2018.) Opinnäytetyössä kvantitatiivinen

menetelmä näkyy suunnittelussa käytettyjen parametrien keräämisessä vuosien varrelta eri aikakausien Rakentajain kalentereista. Sisältöanalyysissä selvinneet tulokset on koottu työn lopussa olevaan liitteeseen 1. Käytetyt menetelmät ovat olleet opinnäytetyön tutkimus tavoitteisiin sekä kysymyksiin parhaat mahdolliset ja niillä on saatu tutkimuskysymyksiin vastauksia.

2 Muuratut rakenteet

Muuratuilla rakenteilla tarkoitetaan rakennekokonaisuutta, joka koostuu muurauskappaleista ja sidosaineesta eli laastista. Rakenteesta saadaan yhtenäinen kokonaisuus limityksen avulla. Tällä on suuri vaikutus rakenteen toimivuuteen. Muurauskappaleet voivat olla esimerkiksi kiviä, harkkoja ja tiiliä. Muurauslaasteja on kolmea tyyppiä. Laastin tyyppillä on vaikutusta rakenteen lujuusominaisuuksiin, mikä on huomattavissa rakenteen mitoituksessa. (RIL 206-2010, 18–29.) Muuratuilla rakenteilla on pitkä historia niiden kestävien ominaisuuksien ansiosta. Lujuusteknisten kestävyyksien vuoksi muuratut rakenteet ovat yleisimpiä seinärakenteissa. Seinät voivat olla kantavia tai ei-kantavia. Muurattuja rakenteita käytetään kuitenkin myös esimerkiksi pilareissa, palkeissa ja holveissa. (Koski 2010, 167.) Oikein suunniteltuna ja toteutettuna tiilirakenteet ovat hyvinkin kestäviä. Turun kirkko on hyvä esimerkki tiilen pitkäikäisyydestä, sillä sen rakennus aloitettiin 1280-luvulla (Siikanen 2023, 107). Muurattuja ulkoseinärakenteita on erilaisia, riippuen aikakaudesta ja käyttö-tarkoituksesta. Vanhoissa kerrostaloissa massiivitiilimuurit ovat yleisimpiä ratkaisuja (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 70). Nykyään käytössä on myös rakoseinä, joka on lämmöneristetty kantava rakenne ja kuorimuri, jota käytetään ei-kantavana rakenteena julkisivumuurauksissa. Rakoseinissä ja kuorimuurissa muurauskappaleet tulee sitoa toisiinsa muuraussiteillä. Massiivitiilimuurit ovat rakoseiniä kantavampia ja täten kestävätkin enemmän kuormien aiheuttamia rasituksia. (RT 103281 2020, 4.)

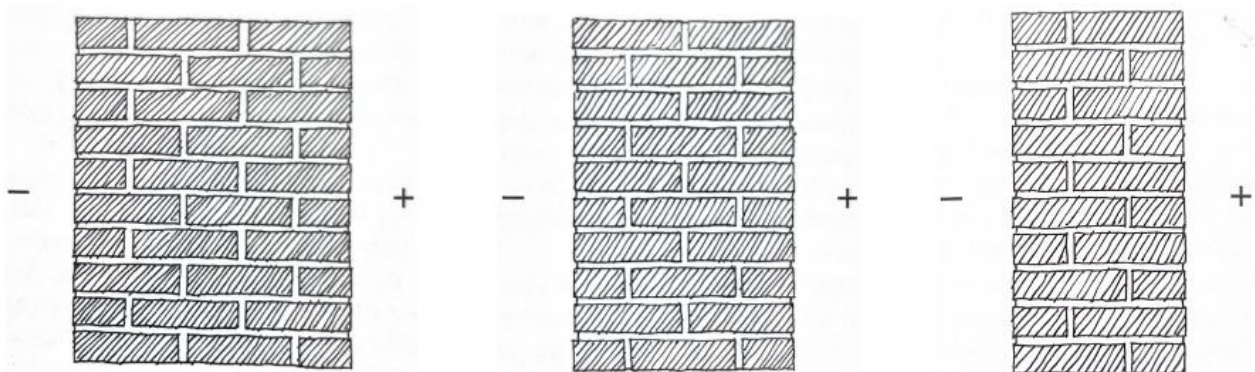
2.1 Muuratut rakenteet eri aikakausina

Muurattujen rakenteiden historia on erittäin pitkä, joten käytetyt materiaalit sekä tekniikat ovat ehtineet kehittyä. Tutkijat ovat arvioineet, että poltettuja tiiliä on käytetty jopa jo 10000–20000 vuotta sitten. Tutkimusten perusteella tiilen polttaminen on ollut tunnettu 4000–5000 vuotta. Euroopassa muurattuja rakenteita on esiintynyt jo antiikin Rooman aikaan, jolloin muuraus on tehty poltettuja tiiliä ja luonnonkiveä käyttäen. Luonnollisesti myös laasteja on käytetty pitkään. Kalkkilaastien käytöstä on todisteita noin 3000 vuoden takaa. On arvioitu, että Suomessa tiilen käytön

sekä valmistuksen alkamisen ajankohta sijoittuu vuosille 1230–1280, kun taas laastin käyttö ja valmistustaito 1100-luvulle. (Siikanen 2023, 107–138.)

Varhaisina vuosina tiilet valmistettiin käsin. Hämeen linnan rakennusaikana 1300-luvulla on mahdollisesti ollut tilapäisiä tiiliruukkeja eli tuotantolaitoksia yksittäisiä hankkeita varten. Tietoa näiltä ajanjaksoilta on hyvin vähän ja ensimmäiset tiedot tiilitehtaista sijoittuvat 1700-luvulle. (Siikanen 2023, 107.)

Suomessa kerrostaloissa tiilirakenteet ovat olleet yleisimmät runkotyypit aina 1960-luvulle asti. Tiilirakenteiden suosio kuitenkin laski, kun betonirakentaminen alkoi yleistymään ja lopulta syrjäytti tiilirakentamisen. Kerrostaloissa yleisimpänä ulkoseinärakenteena on ollut massiivinen täystiilimuuri. Tämä rakenne toimi paitsi hyvin kantavana ja tarpeeksi paksuna, myös lämpöä eristävänä. Suomessa muuratun tiiliseinän paksuuden määräävänä tekijänä on ollut lämmöneristävyys. Siksi ohuin mahdollinen tiilestä valmistettu ulkoseinä oli kahden kiven vahvuinen hyvinkin pitkään. Toisen maailmansodan aikoihin alkoi yleistyä massiivinen tiilimuuri, jossa käytettiin reikätiiliä. Reikätiilillä on paremmat lämmöneristävyysominaisuudet, jonka ansiosta seinäpaksuutta pystyttiin kaventamaan. Kuviossa 1 on esitetty 2½-kiven täystiilimuuri, jota on käytetty vielä 1900-luvun alku puolella. Lisäksi kuviossa on esitetty 2-kiven täystiilimuuri ja 1930-luvun loppupuolella yleistynyt 1½-kiven reikätiilimuuri. Vanhoissa kerrostaloissa on myös kokeiltu ilmarakoja ja onkaloita parantamaan lämmöneristävyyttä, mutta ne eivät osoittautuneet suosituiksi. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen, 2002, 64–70.)



Kuvio 1. Tiilimuurit 1900-luvun alkupuolella (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 70)

2.2 Materiaalit ja niiden ominaisuudet

Muuratut rakenteet ovat erinomainen vaihtoehto kantavissa rakenteissa. Ne ovat yleisiä vanhoissa kantavissa seinissä, sillä niillä on erinomainen puristuslujuus tiilen ansiosta. Tiilirakenteet eivät kuitenkaan kestä taivutusta tai vetoa, jonka vuoksi ne vaakarakenteissa tarvitsevat raudoitusta toimiakseen. Muuratun rakenteen lujuuteen vaikuttaa tiilen lisäksi laasti ja rakenteen limitys. Koko rakenteen puristuslujuus voidaan laskea standardin EN 1052-1 kaavalla 3.1, joka on esitetty kaavassa 1. (RIL 206-2010, 30). Rakentamisessa käytettävien materiaalien tulee nykyään olla CE-merkittyjä. Mikäli tuotteet eivät ole CE-merkittyjä tai niissä on käytetty lisäaineita, joiden antamia ominaisuuksia ei tunneta, tulee lujuusominaisuudet selvittää ennakkokokein. Ennakkokokeissa selvitetään myös muut ominaisuudet, kuten kosteustekninen toiminta. Lujuuden osalta ennakkokokeet tehdään eurooppalaisia testistandardeja soveltaen. Säilyvyys voidaan todentaa standardin SFS 7001 kautta. (Rakenteiden lujuus ja vakaus 2016, 4.)

2.2.1 Tiilet

Tiilet ovat savesta polttamalla aikaansaatuja muurauskappaleita. Tarvittaessa massaan voidaan lisätä myös erinäisiä muita ainesosia kuten hiekkaa. Tiili saa polttamisen aikana punertavan värin rautaoksidipitoisuuksien vaikutuksesta. Tästä tulee nimitys punatiilelle, joka on Suomessa yleisin tiilituote. Valmistustavan vuoksi tiili kuuluu myös keraamisiin materiaaleihin. Tiilet poltetaan nykyään +950–1200°C asteen lämpötilassa yleisimmin tunneliuuneissa tasaisen laadun varmistamiseksi. Polttoasteella on vaikutusta tiilen väriin, mutta tärkeimpänä sen ominaisuuksiin kuten lujuuteen. (Siikanen 2023, 107–108.)

Korkeassa polttolämpötilassa tiili muuttuu tiivisaineiseksi. Siinä missä tiheys kasvaa, kasvaa myös tiilen puristuslujuus lämpötilan vaikutuksesta. Tiheyteen vaikuttavat myös tiilen kutistumat, jotka lisääntyvät etenkin +1020–+1050°C:n polttolämpötilassa. (Siikanen 2023, 107–108.) Polttolämpötilalla ja -ajalla on vaikutusta sekä tiilen tummuuteen että lujuuteen, joten tummemman tiilen voidaan olettaa olevan lujempaa. Aikoinaan on myös ohjeistettu sijoittamaan tummemmat tiilet kaikkien kuormitetuimpiin alueisiin. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 64.) Muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeessa (2010, 27) todetaan, että puristuslujuutena käytetään normalisoitua puristuslujuutta. Poltettujen tiilien puristuslujuus on suuri, mutta taivutuslujuus on vain 20–

25 % tiilen puristuslujuudesta (Siikanen 2023, 116). Heikomman vetokestävyyden vuoksi muuratuissa rakenteissa käytetään erilaisia muuraustarvikkeita kuten raudotteita (Koski 2010, 170).

Tiiliä on monia erilaisia - kuten täys- tai reikätiiliä - ja niiden mitat vaihtelevat. Muuratuissa rakenteissa tulee käyttää standardin SFS-EN 771-1-1 mukaisia tiiliä. Mikäli kantavissa rakenteissa ei käytetä perusmittojen mukaisia tiiliä, tulee se huomioida rakenteen lujuuden heikentävänä tekijänä erikseen. Tiilille on määritelty myös mittapoikkeamaluokat, joita tulee noudattaa. (RT 103281 2020, 4.) Tiileen kohdistuvat kutistumat polton aikana aiheuttavat muurauskappaleissa mittapoikkeamia (Siikanen 2023, 110). Se mitä tiiltä on käytetty, riippuu aikakaudesta ja käyttötarkoituksesta. Peruskokoiset tiilet ovat mitoiltaan 257 mm x 123 mm x 57 mm, kun taas normaalikokoiset tiilet ovat mitoiltaan 270 mm x 130 mm x 7 mm. Näiden lisäksi on moduulimittaisia tiiliä, jotka ovat mitoiltaan esimerkiksi 285 mm x 85 mm x 85 mm. (Rakentajain kalenteri 2019, 165–166.) Kantavissa rakenteissa voidaan käyttää nykyään esimerkiksi (PRT) peruskokoista reikätiiltä. Vanhemmissa rakenteissa oli yleistä käyttää normaalitiiltä kaksinkertaisena. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 64.)

Polttoasteella on lujuuden ja tiheyden lisäksi vaikutusta myös muihin ominaisuuksiin. Sintrauksessa materiaali saa huokoisen rakenteen. Korkeassa lämpötilassa materiaalin isojen huokoisten määrä kasvaa. Huokoisuudella on vaikutusta muun muassa ilmanläpäisevyyteen, veden imukykyyn ja pakkasenkestävyyteen. Tiilirakenteiden ilmanläpäisevyys on pientä tai olematonta, riippuen siitä onko tiili kuivaa vai kosteaa. Rakenteen läpäisevä ilma kulkeutuu yleensä laastin tai laastin ja muurauskappaleen rajapinnan kautta. Veden imukyvyllä tarkoitetaan imetyn veden määrää kuivapainosta. (Siikanen 2023, 117–118.) Veden imunopeus ilmoittaa puolestaan kapillaarihuokosten määrän. Molemmat ominaisuudet paranevat polttolämpötilan kasvamisen myötä, sillä poltettaessa huokosten määrä tiilessä kasvaa. Huokosilla on vaikutusta myös pakkasenkestävyyteen. Vesi laajenee jäätyessään. Näin ollen tyhjiä huokosia tarvitaan tiilessä, jotta laajentunut vesi ei aiheuta sisäisiä jännitteitä materiaaliin. (Höyhty & Vänttinen 1988, 17–18.) Tiilen ollessa alttiina säärasituksille tulee sen olla säänkestäväksi luokiteltua, jolloin se on myös pakkasenkestävää (RT 103281 2020, 4). Standardin mukaisille tiilille on asetettu vaatimuksia puristuslujuudelle, tiheydelle, vedenimunopeudelle ja säänkestävyydelle. Luokkajaot on esitelty taulukossa 1. (Kinnunen 2002, 8.)

Taulukko 1. Tiilen luokkajako (Kinnunen 2002, 8)

Luokiteltava ominaisuus	Luokkajako	
	Poltettutiili	Kalkkiahiekkatiili
Puristuslujuus (MN/m ²)	5, 15, 25, 35, 45, 55	5,10,15,25,35
Tiheys (kg/dm ³)	0,7, 0,9, 1,1, 1,3, 1,5, 1,7, 2,1,	0,7, 0,9, 1,1, 1,3, 1,5, 1,7, 1,9, 2,1
Vedenimunoisuus	1, 2, 3, 4	1, 2, 3

Polttolämpötilan sekä -ajan lisäksi tiilen ominaisuuksiin vaikuttaa muun muassa käytettyjen materiaalien laatu sekä määrä. Haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi voidaan massan sekaan lisätä lisäaineita. Yleisimpiä lisäaineita ovat hiekka, tiilimurska sekä savijauhe. Hiekka ja tiilimurska toimivat massassa laihdutusaineina, kun taas savijauhe kuivikkeena. Sahanpuru on myös yksi tiilen lisäaineista ja sillä voidaan parantaa tiilen pakkasenkestävyyttä. Sahanpuru lisää poltettaessa tiilen huokoista rakennetta. (Siikanen 2023, 108–114.)

2.2.2 Laastit

Muurauslaasteja on monia erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Laastin kolme tyyppiä, johon ne lajitellaan ainesosien perusteella, ovat yleislaasti, ohutsaumalaasti ja kevytlaasti. Muurauslaasti on seos, jossa voi olla yhtä tai useampaa sideainetta sekoitettuna. Yleensä laastissa on kiviaineksena hiekka ja tämän lisänä sideaine, kuten sementti. Muurauslaasteihin voidaan lisätä lisäaineita, jotta halutut ominaisuudet saadaan aikaiseksi. Käytettyjen laastien tulee olla ajankohtaisten SFS-standardien mukaisia. (RIL 206-2010, 17–29.) Laastit luokitellaan niiden puristuslujuuden ja säänkestävyyden mukaan ja niiden tehtävänä on sitoa muurauskappaleet yhtenäiseksi kokonaisuudeksi limityksen avulla. Lisäksi tehtäviin kuuluu muurauskappaleiden välisten epätasaisuuksien tasaaminen. Epätasaisuuksista aiheutuu jännityshuippuja rakenteessa, jolloin jännitykset saattavat ylittää paikallisesti

muuratun rakenteen kestävyys. (Kinnunen 2002, 8.) Laastin avulla rakenne saa sen lopullisen lujuuden ja tiiviyyden. Tiilen ja laastin muodostaman rakennekokonaisuuden tulee täyttää sille annetut lujuusvaatimukset. (RT 103281 2020, 4.) Muurauslaastien valmistaja ilmoittaa muurauslaastin puristuslujuuden. Lujuus ilmoitetaan tuotteen CE-merkinnässä ja se merkitään kirjaimella M. Esimerkki laastin lujuudesta on M5. (RIL 206-2010, 17–29.)

Muurauslaastien tunnuksot riippuvat niihin käytettyistä materiaaleista. Kinnusen (2002, 8) mukaan yleisimmät muurauksissa käytetyt laastit ovat kalkista tai sementistä tai niiden seoksesta valmistettuja. Laastin tunnuksessa ilmoitetaan sideaine ja koostumuksen paino-osa. Esimerkiksi KS 35/65/500 tarkoittaa kalkkisementttilaastia, jossa kalkkia on 35 painoyksikköä, sementtiä 65 painoyksikkö ja hiekkaa 500 painoyksikköä. Sideaineiden lyhenteitä ovat:

K	Kalkki (ei hydraulinen)
HK	Hydraulinen kalkki
S	Sementti
KS	Kalkki + sementti
M	Muurausementti
G	Kipsi
GK	Kipsi + kalkki

Sideaineen valinta riippuu muun muassa kohteen olosuhteiden asettamista vaatimuksista. Kipsi- ja kalkkilaastit eivät sovellu ulkorakenteisiin kosteuden vuoksi. Kipsi on veteen liukenevaa ja kalkkilaasti ei sovellu ulos kovettumisen vuoksi. Sen sijaan kalkkisementttilaasteja voidaan käyttää ulkona kantavissa rakenteissa, sillä sementti antaa laastille lujuutta ja tiiviyyttä. Sementtilaastit itseksään voivat olla hyvinkin kovia, koska laastin lujuus kasvaa mitä enemmän sideainetta on suhteessa kiviainekseen. Sementtilaasteissa lujuuden kasvaessa kasvavat kuitenkin myös kutistumistaipumiset. Muurausementttilaastit sisältävät lisäaineita, joiden avulla niillä ei ole sementtilaastien tapaan kutistumaa ja lisäksi niillä on hyvä pakkasenkestävyys. (Siikanen 2023, 140–142.)

Laastin ominaisuuksia ovat muun muassa tartuntalujuus, sään- ja pakkasenkestävyys sekä puristuslujuus. Kuten tiiliin, myös laasteihin voidaan lisätä erinäisiä lisäaineita haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Laasteissa käytettyjä lisäaineita ovat muun muassa kiihdyttimet, hidastimet,

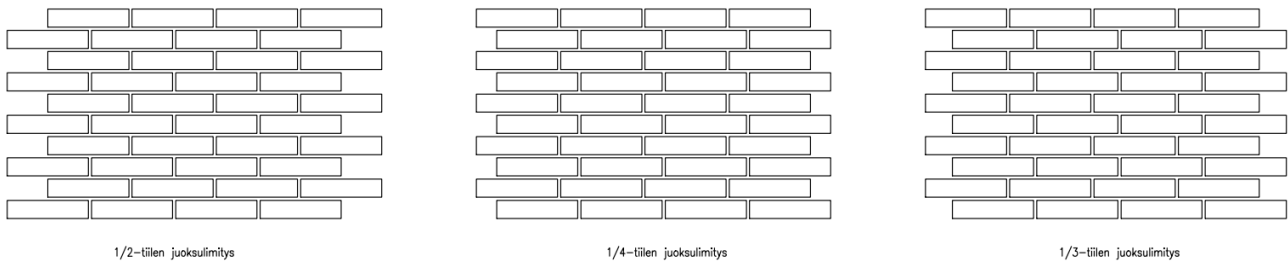
lisähuokoistusaineet, notkistimet, pakkassuoja-aineet ja tartuntaa parantavat aineet. (Koski 2020, 172.) Lämpö- ja kosteusliikkeistä eli kuivumiskutistumasta syntyy suuriakin jännityksiä rakenteesseen. Tämän vuoksi laastin tartuntalujuuden tulisi olla hyvä. Tartuntalujuus ei ole yhteydessä laastin lujuuteen, vaan siihen vaikuttavia tekijöitä ovat muurauskiven vedenimukyky ja laastin vedenpitävyyskyky. Kohteessa käytetyt muurauskappaleet vaikuttavat käytettävän laastin valintaan, koska tartunta syntyy molempien ominaisuuksien yhteistoiminnasta. Laastin pitää päästä kovettumaan, jotta laastin ja muurauskappaleen välille syntyy tartunta. Laastista voidaan saada myös sään- ja pakkasenkestävää käyttämällä massan huokoisuutta lisäävää lisäainetta. Pakkasenkestävyyteen vaikuttaa myös tuoreen laastin ilmapitoisuus. Mikäli laasti on riittävän ilmapitoinen, siihen syntyy huokoisia, joihin vesi mahtuu laajenemaan jäätyessään. Laastin lujuus kovettuneena riippuu käytetyistä materiaaleista. Rakenteeseen käytettävän laastin lujuus määräytyy kohteen ympäristöolosuhteiden perusteella. (Siikanen 2023, 139–144.)

2.2.3 Limitykset

Limitys on muurauskappaleiden sijoittelua, minkä avulla muurauskappaleista ja laastista saadaan aikaiseksi yhtenäinen ja toimiva rakenne. Limitykset vaikuttavat myös ulkonäköön. Limityksen tärkein tehtävä on kuitenkin jakaa rakennukseen kohdistuvat kuormat kantavissa rakenteissa. Ilman limitystä kuormitus ei jakaantuisi koko rakenteen pituudelle, ja jännitykset kasvaisivat mahdollisesti paikoittain liian suuriksi kestävyteen nähden. Kevyissä eli ei-kantavissa rakenteissa limityksellä ei luonnollisesti ole merkitystä kuorman jakajana, mutta se kuitenkin tasaa rakenteen jännityksiä. Limitys tulee valita kyseessä olevissa rakenteissa siten, että se ei heikennä ratkaisua, koska limitys vaikuttaa merkittävästi kantavien rakenteiden toimintaan ja kestävyteen. (RT 103282 2020, 5.)

Limityksiä on useita erilaisia ja ne ovat myös muuttuneet aikojen saatossa. Neuvosen, Mäkiöisen ja Malisen (2002, 68) mukaan vanhoissa rakenteissa yleisimmät limitykset ovat olleet vuoro- ja ristilimitys. Ristilimityksen suosion syy oli se, että sillä oli siihen aikaan paras lujuus. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 68.) Nykyään yleisin limitys on 1/2-tiilen juoksulimitys, jossa joka toinen kerros siirtyy aina puoli tiiltä. Juoksulimitys voidaan toteuttaa myös 1/3-tiilen ja 1/4-tiilen siirtymillä. Juoksulimitykset on esitetty kuviossa 2. Muita tunnettuja limityksiä ovat muun muassa goottilainen- ja votsilimitys. Votsilimityksessä muurauskappaleilla ei ole limitystä, vaan ne on ladottu päällekkäin symmetrisesti. Tätä limitystyyppiä käytetään vain koristemuurauksissa ja se vaatii raudoi-

tuksen sekä jaon rakenteellisiin kenttiin. Tämä johtuu yllä mainitusta limityksen vaikutuksesta rakenteen lujuusteknisiin ominaisuuksiin. (RT 103282 2020, 5–6).



Kuvio 2. Juoksulimitykset

2.3 Kantavat rakenteet

Kantavalla rakenteella tarkoitetaan rakennetta, joka kykenee itsensä lisäksi kannattelemaan myös muita rakennuskokonaisuuden rakenteita. Kantavat rakenteet siis nimensä mukaan kannattelevat rakennusta ja siirtävät kuormia perustuksille. Kantavien rakenteiden purkaminen vaatii aina erillisiä tuentoja, jotta ympärillä olevat rakenteet eivät sortuisi. Ei-kantavat rakenteet sen sijaan voidaan purkaa ilman erillistä rakennekokonaisuuden tarkastelua. Kantavien rakenteiden minimipaksuus on standardin EN 1996-1-1 mukaan 100 mm. (RIL 206-2010, 27.)

Tiilien suuren puristuskestävyyden ansiosta ne ovat yleisiä pystyrakenteissa, esimerkiksi pilareissa ja seinissä. Vedetyissä ja taivutetuissa rakenteissa tiilirakenteet eivät ole suosittuja. Tiili on sellaisenaan kestävästä pystysuuntaisista rasituksista vastaan ja ainoastaan raudoitettuna sitä on mahdollista käyttää vedettyinä tai taivutettuina rakenteena. Vaakarakenteita on käytetty kuitenkin esimerkiksi holveissa, joita on ollut käytössä vuosisatoja. Edellytyksenä kyseisten rakenteiden toimivuudelle on, että syntyvät vaakavoimat siirretään pystyrakenteille. Toisin sanottuna vaakarakenteiden taivutusrasitukset muutetaan pystyrakenteiden puristusrasitukseksi. Voimien siirtäminen onnistuu holvimaisella rakenteella. Palkkien tulee kuitenkin aina olla raudoitettu tiilen heikon kestävyysveto- ja taivutusrasituksista vastaan. (Koski 2010, 168.)

2.4 Tiilirakenteiden murtuminen

Muurauskappaleiden ja sideaineen tutkiminen erikseen on vain suuntaa antavaa arvioita koko rakenteen toiminnalle. Muuratuissa rakenteissa tapahtuvat jännitysmuodonmuutokset syntyvät rakenteen kokonaisuudesta. Standardikoepilarille suoritetuissa puristuslujuuden määrittämissä murtojännitys osuu usein tiilen ja laastin lujuusarvojen välille. Lujuuden arvo on riippuvainen jännitysmuodonmuutosominaisuuksista ja niiden suhteesta. Kinnunen (2002, 17) huomauttaa, että muurattujen rakenteiden lujuusopillinen analysointi on kuitenkin vaikeaa. (Kinnunen 2002, 12–17.)

Tutkimusten mukaan laastilla on huomattavasti heikommat lujuusominaisuudet tiileen verrattuna. Laasti ei kestä aksiaalista puristusta ja vetoa samalla tavalla kuin tiili. Laastisauman ja tiilen rajapinnassa tapahtuu jännitysmuodonmuutoksia, jotka vaikuttavat tartuntaan. Tutkijat ovat siis todenneet, että tartunta laastin ja tiilen välillä on useimmiten määräävä tekijä kantavissa rakenteissa. Mikäli tartuntalujuus ylittyy materiaalien rajapinnassa, alkavat tiili ja laasti erkaantua toisistaan. Muurattujen rakenteiden eri osissa esiintyy viittä erilaista rasitusta: puristus, veto, leikkaus, vääntö ja taivutus. Rasitukset esiintyvät yhtäaikaaisesti rakenteessa erilaisina yhdistelminä. Kombinaatorasitukset synnyttävät laastisaumoihin avaruusjännitystiloja. Laastin murtumistapahduma on siis haastava selvittää, mutta laastin jännitystilat eivät kuitenkaan ole määräävinä tekijöinä murtumisen kannalta. Aiemmin mainitun mukaan yhdistettyjen rasitusten aiheuttamien murtumisten määräävänä tekijänä on tartunta. (Kinnunen 2002, 12–13.)

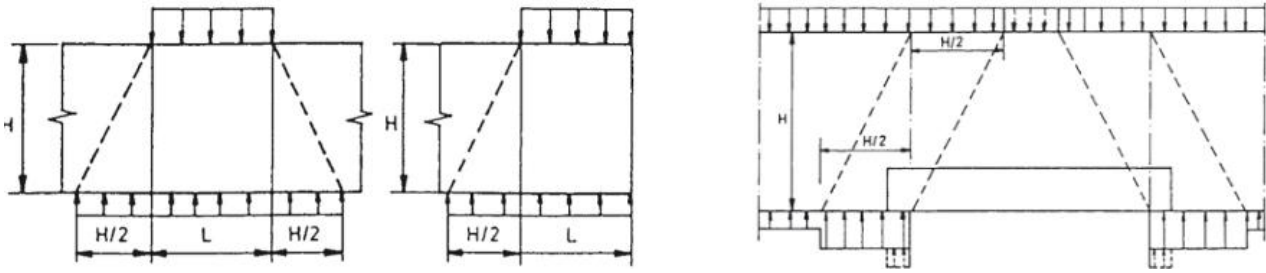
Muuratuissa rakenteissa tapahtuu puristus-, leikkaus-, veto- ja taivutusmurtoa. Näistä puristusmurto on yleisin, sillä tiilirakenteita käytetään pääasiallisesti puristettuina rakenteina. Puristetuissa rakenteissa tiili pyrkii laajenemaan, mutta laasti estää tiilen laajenemista. Tällöin rajapintaan syntyy pystykuormien vuoksi vetojännityksiä. Puristusjännitys kohdistuu tiiliin ja vetojännitys kohdistuu laastiin. Murtuminen alkaa halkeiluna. Halkeamat alkavat leventyä ja jakaa rakennetta yhä pienemmiksi osiksi, joka johtaa siihen, että kantokyky ei enää riitä rasitukseen nähden ja rakenne sortuu. Leikkausmurrossa leikkausjännitys esiintyy aina puristus- ja vetojännityksen kanssa yhtä aikaa. Vetomurto tapahtuu lähestulkoon aina rajapinnassa tapahtuvan vetotartunnan tai laastin vetolujuuden ylittyessä. Muuratut rakenteet ajatellaan kuitenkin aina vetoa kestävämmiksi. Poikkeuksena on rakenteen kestävyys lyhytaikaisissa rasituksissa, esimerkkinä tuulen aiheuttama rasitus. Taivutusmurto tapahtuu pääasiassa vetovyöhykkeen reunajännityksien vaikutuksesta. Mi-

käli reunajännitykset ylittävät muurin vetolujuuden, ne murtuvat. Taivutetut tiilirakenteet ovat raudoitettuja, koska niillä on heikko veto ja taivutuskestävyys. (Kinnunen 2002, 15–17.)

3 Kantavien puristettujen rakenteiden mitoitus

3.1 Mitoitus yleisesti

Mitoituksessa tulee osoittaa rakenteen riittävä kestävyys koko suunnitellun käyttöajan ajaksi. Suunnittelu tulee toteuttaa ajantasaisten eurokoodien ja ympäristöministeriön laatimien kansallisten asetusten mukaisesti. (A 477/2014.) Opinnäytetyön kirjoitusajankohtana suomalainen mitoitus perustuu eurooppalaiseen standardisarjaan. Kyseistä standardisarjaa kutsutaan eurokoodiksi. Eurokoodien avulla saadaan muodostettua yhtenäinen lähestymistapa rakentamiseen. (Eurocodes: Building the future n.d.) Eurokoodeissa ja sen kansallisissa liitteissä esitetään muun muassa mitoituksen vaatimuksia ja käytettäviä osavarmuuslukuja. Suomessa on käytössä SFS-EN 1996 ja lisäksi sen kansalliset liitteet. Ympäristöministeriön laatimissa kansallisissa liitteissä ohjeistetaan eurokoodien soveltamisesta Suomessa. (Rakenteiden lujuus ja vakaus 2016, 7–8.) Muurattujen rakenteiden standardit EN 1996 on jaettu neljään osaan. Ensimmäiset kaksi osaa EN 1996-1-1 ja EN 1996-1-2 käsittelevät yleisiä sääntöjä muurattujen rakenteiden suunnittelussa sekä palomitoituksessa. Jälkimmäiset EN 1996-2 ja EN 1996-3 käsittelevät materiaalien valintaa sekä rakenteen toteutusta ja yksinkertaistettuja laskelmamenetelmiä. (Eurocode 6: Design of masonry structures n.d.) Suomen Rakennusinsinöörien Liitto on julkaissut muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeen, joka tukee kyseisten rakenteiden suunnittelua. Muuratut rakenteet mitoitetaan useimmiten samalla periaatteella. Tiilirakenteet mitoitetaan murtorajamenetelmällä puristus- ja leikkausjännitykselle. Mitoituksessa tulee lisäksi tarkastella myös vaakakuormien aiheuttama taivutusmomentti. Kuorma tulee laskea ohjeiden mukaan. Pystykuormitettujen kuormien jakautuminen muuratusrakenteessa on esitetty kuviossa 3. (RIL 206-2010, 27–70.) Suunnittelussa käytetään varmuusmenettelyitä luotettavuuden hallintaa varten. Varmuusmenettelyitä on osavarmuuslukujen lisäksi myös seuraamusluokkamenettely ja kuormakertoimien käyttäminen suunnittelussa. (A 3/16, 2.)



Kuvio 3. Pystykuormien jakautuminen seinässä ja aukon kohdalla (Kinnunen 2002, 25–26)

3.2 Puristetun rakenteen mitoitus

Kantava seinä voi olla pysty- ja vaakakuorman rasittama. Normaalivoiman kuormittama eli pystykuormitettu seinä mitoitetaan pääasiassa pystykestävyydelle. Mikäli rakenne on vaakakuormitettu, on rakenne raudoitettu. Poikkeuksena ovat kuitenkin rakenteet, jotka ottavat vastaan vaakakuormana vain tuulta. Vaakakuormitetut muuratut rakenteet mitoitetaan taivutukselle. Pysty- ja taivutuskestävyyden lisäksi rakenteelle lasketaan leikkauskestävyys ja mikäli rakenteeseen kohdistuva puristusvoima kuormittaa rakennetta vain osasta poikkileikkausta, lasketaan sille paikallinen puristuskestävyys. Pystykuormitettujen rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon normaalivoiman lisäksi myös epäkeskisyydet. (RIL 206-2010, 50–70.) Tässä työssä raudoittamattomien puristettujen rakenteiden mitoitus on esitetty pääpiirteittäin. Mitoitus auttaa ymmärtämään rakenteen toimivuutta. Tarkemmat ohjeistukset mitoitukseen löytyvät muun muassa muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeesta.

3.2.1 Puristuslujuuden laskenta

Puristuslujuuden kaava ottaa huomioon sekä muurauskappaleen että -laastin lujuusominaisuudet. Puristuslujuus lasketaan kaavan 1 mukaisesti, jossa f_b on muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus ja f_m on laastin puristuslujuus. Muurauskappaleen ja -laastin puristuslujuudet saadaan tuotteen CE-merkinnöistä. Puristuslujuuden ominaisarvo f_k muunnetaan laskenta-arvoksi f_d jakamalla se osavarmuusluvulla. Osavarmuusluvut on esitetty muurauskappaleiden osalta taulukossa 3. (RIL 206-2010, 50–70.)

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

Kaava 1. Muuratun rakenteen puristuslujuuden ominaisarvo (3.1) (RIL 206-2010)

Kerroin K on riippuvainen käytetyistä muurauskappaleista ja -laastista ja se saadaan eurokoodien kansallisten liitteiden taulukosta. Kyseinen taulukko on tuotu opinnäytetyössä esille poltettujen tiilien osalta taulukossa 2. Potenssit α ja β ovat riippuvaisia käytettävästä laastista. Potenssit α ja β ovat esitetty seuraavanlaisesti: (RIL 206-2010, 50–70.)

Yleis- ja kevytlaastia käyttäessä $\alpha = 0,65$ $\beta = 0,25$

Ohutsaumalaastia käyttäen

Seuraaville muurauskappaleille:

- Poltetut tiilet, aukkoryhmä 2 ja 3 $\alpha = 0,85$ $\beta = 0$

Ohutsaumalaastia käyttäen

Seuraavissa muurauskappaleissa:

- Muut kuin aukkoryhmän 2 ja 3 poltetut tiilet $\alpha = 0,7$ $\beta = 0$

Taulukko 2. Kertoimen K arvot käytettäessä yleis-, ohut- ja kevytlaasteja (3.3FI.) (RIL 206-2010, 31)

Muurauskappale		Yleislaasti	Ohutsaumalaasti (vakauma $\geq 0,5$ mm ja ≤ 3 mm)	Kevytlaasti, tiheys	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 \leq \rho_d \leq 1300$ 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

Taulukko 3. Osavarmuusluvun γ_M arvot (FI) (RIL 206-2010, 25)

γ_M (normaalisti vallitseva mitoitustilanne)	
Muurattu rakenne, jossa käytetään:	
- Kategorian I muurauskappaleita ja ominaislaastia	1,8
- kategorian I muurauskappaleita ja muuta kuin ominaislaastia	2,4
- Kategorian II muurauskappaleita ja mitä tahansa laastia	2,5

3.2.2 Pystykestävyys

Normaalivoiman kuormittamalle raudoittamattomalle muurille todistetaan pystykestävyys. Pystykestävyyden mitoituksessa mitoituskuorman N_{Ed} ei saa ylittää pystykestävyyden mitoitusarvoa N_{Rd} , joka lasketaan kaavalla 2. Kaavassa Φ on pienennystekijä, joka huomioi rakenteen hoikkuutta ja epäkeskisyyttä. Muut tekijät eli t on rakenteen paksuus ja f_d on muurille laskettu puristuslujuus. (RIL 206-2010, 61–65.)

$$N_{Rd} = \Phi * t * f_d$$

Kaava 2. Pystykestävyyden mitoitusarvo (RIL 206-2010, 61)

Pienennystekijä Φ saadaan selville joko laskemalla se kaavasta 3 tai suunnitteluohjeesta löytyvästä (6.1.2S.) käyrästä. Pienennystekijän valinnassa on turvallisempaa valita pienempi arvo, jolloin ollaan varmemmalla puolella. Käyrästä vaaka-akselilla on hoikkuuden vaikutus $\frac{h_{ef}}{t_{ef}}$ ja itse käyrästä töt ovat epäkeskisyyden vaikutuksia $\frac{e_i}{t}$. (RIL 206-2010, 61–65.)

$$\Phi = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$$

Kaava 3. Pienennystekijä seinän ylä- tai alapäässä (6.4) (RIL 206-2010, 62)

Kaavassa 3 olevat tekijät ovat seuraavat:

e_i Seinän ylä- tai alapään epäkeskisyys, joka voidaan laskea kaavan 4 mukaisesti.

t Seinän paksuus.

Sekä keskeisesti että epäkeskeisesti kuormitetut puristetut sauvat voidaan ajatella päistään nivellisinä sauvoina niiden jännitysjakautumien vuoksi (RIL Muuratut rakenteet 1975, 111–115). Tällöin tehollisen korkeuden h_{ef} voidaan ajatella olevan seinän korkeus. Tiilen tehollinen paksuus riippuu saumauksesta. Mikäli muuraus on tehty täyssaumauksella, on tehollinen paksuus tiilen paksuus. Muussa tapauksessa tehollinen paksuus katsotaan saumapaksuuden mukaan. Tilanne, jossa seinän tukipintaan muodostuu epäjatkuvuuskohta, syntyy seinän keskipisteen ja tuen keskilinjaa pitkin tulevan puristusresultantin välillä epäkeskisyys. Epäkeskisyys on siinä tapauksessa keskilinjan ja resultantin välinen mitta. Epäkeskisyys vaikuttaa pienennyskertoimeen, sillä epäkeskistä kuormasta aiheutuu rakenteeseen taivutusta. Taivutus aiheuttaa vetoa, joka heikentää rakenteen kestävyyttä. Epäkeskisyteen e_i vaikuttaa edellä mainitun lisäksi myös alkuepäkeskisyys. Epäkeskisyys e_i voidaan laskea kaavasta 4. (RIL 206-2010, 61–65.)

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} \pm e_{init} \geq 0,05 * t$$

Kaava 4. seinän ylä- tai alapään epäkeskisyys (6.5) (RIL 206-2010, 62)

Kaavassa 4 olevat tekijät ovat seuraavat:

M_{id} Taivutusmomentin mitoitusarvo seinän ylä- tai alapäässä. Mitoitusarvo on muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeen kohdan 5.5.1 mukainen.

N_{id} Pystysuuntaisen voiman mitoitusarvo seinän ylä- tai alapäässä.

e_{he} Vaakavoiman aiheuttama epäkeskisyys seinän ylä- tai alapäässä.

e_{init} alkuepäkeskisyys, jonka suuruus on $\frac{h_{ef}}{450}$

t seinän paksuus

3.2.3 Paikallinen puristus

Silloin kun rakenteeseen kohdistuu paikallista kuormitusta N_{Edc} , tulee sen olla enintään muuratun rakenteen pystysuoran paikallisen kestävyuden mitoitusarvon N_{Rdc} suuruinen. Kyseinen kestävyys on riippuvainen aukkoryhmästä. Muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeessa (2010, 18) selitetään, että aukkoryhmien ryhmittely perustuu aukkojen suhteelliseen pinta-alaan ja kokoon sekä niiden suuntaan rakenteessa. Aukkoryhmittely on esitetty kyseisessä julkaisussa taulukossa 3.1. Mikäli rakenteen muurauskappaleet ovat aukkoryhmään 2, 3 tai 4 kuuluvia, puristuskestävyyttä verrataan rakenteen puristuslujuuden mitoitusarvoon f_d . Jäljelle jääneen aukkoryhmän 1 tapauksessa paikalliseen kestävyyteen otetaan mukaan korotuskerroin paikalliseen kuormitukseen. Siinä tapauksessa kestävyyteen vaikuttaa kohdistuvan voiman sijainti ja vaikutusala. Aukkoryhmän 1 paikallisen puristuksen kestävyuden laskeminen on esitetty kaavassa 5. Kaavassa puristuslujuuden mitoitusarvo kerrotaan korotuskertoimella ja kuormitusalalla. Kaavassa kerroin β on vähintään yksi. Korotuskerroin voidaan laskea kaavalla 6. (RIL 206-2010, 66–68.)

$$N_{Rdc} = \beta * A_b * f_d$$

Kaava 5. Paikallinen puristuskestävyys (6.10) (RIL 206-2010, 67)

Kaavassa 5 olevat tekijät ovat seuraavat:

β Korotuskerroin, joka on vähintään 1. Kerroin saadaan kaavan 6 mukaisesti.

A_b Kuormitusala.

f_d Muurin puristuslujuuden laskenta-arvo, joka saadaan kohdan 3.2.1 mukaisesti.

$$\beta = \left(1 + 0,3 * \frac{a_1}{h_c}\right) \left(1,5 - 1,1 * \frac{A_b}{A_{ef}}\right) \leq 1,25 + \frac{a_1}{2h_c} \text{ tai } 1,5$$

Kaava 6. Paikallisen puristuskestävyykskaavan korotuskerroin (6.11) (RIL 206-2010, 67)

Kaavassa 6 olevat tekijät ovat seuraavat:

a_1 Kuormituspinnan etäisyys lähimmästä reunasta.

h_c Korkeus kuorman vaikutustasoon asti.

A_b Kuormitusala.

A_{ef} Tukipinnan tehollinen korkeus, joka saadaan

Kuormitusalan ja tukipinnan tehollisen korkeuden suhde ei kuitenkaan voi ylittää 0,45. Mikäli suhde on raja-arvoa suurempi, raja-arvo astuu voimaan. Tehollinen pinta-ala saadaan laskettua tuen tehollisen pituuden ja seinän paksuuden tulona. Tuen tehollinen pituus tarkastellaan seinän korkeuden puolessavälissä. (RIL 206-2010, 66–68.)

3.2.4 Leikkauskestävyyden laskenta

Leikkauskestävyyttä V_{Rd} verrataan leikkausvoiman mitoitusarvoon V_{Ed} . Leikkauskestävyyteen vaikuttavana tekijänä on leikkauslujuuden mitoitusarvo f_{vd} . Kyseinen mitoitusarvo kerrotaan seinän paksuudella t sekä puristetun osan pituudella l_c , jossa vedettyjä osia ei ole mukana. Leikkauskestävyys voidaan laskea kaavalla 7.

$$V_{Rd} = f_{vd} * t * l_c$$

Kaava 7. Leikkauskestävyyden mitoitusarvo (6.13) (RIL 206-2010, 68)

Leikkauslujuuden mitoitusarvo perustuu keskimääräiseen puristusjännitykseen, joka kohdistuu seinään puristetussa osassa. Mikäli rakenteessa käytetään täysiä laastisaumoja, voidaan f_{vk} laskea suunnitteluohjeen mukaisesti kaavalla 3.5, joka on esitetty tässä työssä kaavana 8. Mikäli pystysaumoissa ei ole käytetty laastia, tulee laskennassa noudattaa suunnitteluohjeen kaavaa 3.6. Ominaisarvo saadaan muunnettua mitoitusarvoksi jakamalla se taulukon 3 osavarmuusluvulla. Kaavan yläraja, jota se ei saa ylittää, on f_{vit} . Kaavan termit on lueteltu alla. (RIL 206-2010, 36–69.)

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d \leq f_{vit} = 0,45 * f_{bt}\sqrt{1 + \sigma_d/f_{bt}} \leq f_b - \sigma_d$$

Kaava 8. Leikkauslujuuden ominaisarvo ja sen raja-arvot (3.5) (RIL 206-2010, 36)

Kaavassa 8 olevat tekijät ovat seuraavat:

f_{vko}	Ominaisleikkauslujuuden perusarvo puristusjännityksen ollessa nolla.
σ_d	Puristusjännityksen mitoitusarvo, joka on leikkaustasoa vastaan kohtisuorassa.
f_{vit}	Luvun f_{vk} yläraja, joka on sisällytetty kaavaan 8.
f_{bt}	Muurauskappaleen vetolujuus
f_b	Valmistaja CE-merkinnöissä esitetty muurauskappaleen normalisoitu puristuslujuus

3.2.5 Vaakakestävyys

Seinälle lasketaan momenttikestävyuden mitoitus arvo M_{Rd} , jota verrataan suunnitteluohjeen mukaiseen mitoitusarvoon M_{Ed} . Momenttikestävyuden mitoitusarvo voidaan laskea kaavalla 9. Kaavassa oleva f_{xd} on taivutuslujuuden mitoitusarvo taulukkoarvona tai korotettuna tekijänä. Taulukkoarvo on löydettävissä muurattujen rakenteiden suunnitteluohjeesta, joka on tiivistetty poltettujen tiilien suhteen taulukkoon 4. Korotetussa arvossa taivutuslujuuden taulukkoarvoon lisätään seinän pystysuuntainen mitoitusjännitys. Kyseinen jännitys voi olla enintään 20 prosenttia muurin puristuslujuudesta f_d . (RIL 206-2010, 39–70.)

$$M_{Ed} = f_{xd} * Z$$

Kaava 9. Momenttikestävyyden mitoitusarvo (6.14) (RIL 206-2010, 69)

Taulukko 4. Taivutusvetolujuuden taulukkoarvo (3.6.3 FI) (RIL 206-2010, 40)

Muurauskappale	f_{xk1} (N/mm ²), vaakasaumojen suuntaisessa murtotasossa		
	Yleislaasti ja ohutsaumalaasti		
	$f_m \leq 5$ N/mm ²	$f_m = 7,5$ N/mm ²	$f_m \geq 10$ N/mm ²
$f_b \leq 20$ N/mm ²	0,15	0,17	0,20
$f_b = 25$ N/mm ²	0,20	0,22	0,25
$f_b \geq 35$ N/mm ²	0,20	0,27	0,35
Muurauskappale	f_{xk2} (N/mm ²), vaakasaumoja vastaan kohtisuorassa murtotasossa		
	Yleislaasti ja ohutsaumalaasti		
	$f_m \leq 5$ N/mm ²	$f_m = 7,5$ N/mm ²	$f_m \geq 10$ N/mm ²
$f_b \leq 20$ N/mm ²	0,45	0,52	0,60
$f_b = 25$ N/mm ²	0,45	0,60	0,75
$f_b \geq 35$ N/mm ²	0,60	0,82	1,05

3.3 Korjausrakentaminen

Mitoitusmenetelmät ja materiaaliominaisuudet ovat muuttuneet ajan saatossa. Korjaus- ja muutostöissä tulee selvittää rakenteiden kunto, kuormitus ja ominaispiirteet. Mikäli rakennuksen kuormitusta ei lisätä tai sitä ei heikennetä, vaan vahvistetaan sen kunnan vuoksi, saadaan siihen käyttää myös rakennusaikaisia rakentamistapoja ja säännöksiä. (A 477/2014.) Rakenteet tulee aina suunnitella niin, että ne kestävät suunnitellun käyttöiän. Kuormitus ei saa aiheuttaa sortumaa tai esimerkiksi lujuutta haittaavia muodonmuutoksia. (L 132/1999.)

Muurattujen rakenteiden mitoituksessa muurauskappaleet jaetaan kategorioihin. Käytettävä osavarmuusluku perustuu muurauskappaleen kategoriaan. Osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 3. Kategoriaa I käytetään uudisrakentamisen puolella. Kyseisen kategorian rakenteissa käytetyt muurauskappaleet ovat CE-merkittyjä. Lisäksi muurauskappaleiden puristuslujuudet tulee olla määritetty käyttäen enintään 5 % alitustodennäköisyyttä. Kategoriaan II kuuluvat kaikki muut muurauskappaleet, jotka eivät kuulu kategoriaan I. Muurauskappaleen kategorialla on vaikutusta mitoituksessa käytettävään osavarmuuslukuun. Kategorian II osavarmuusluku γ_M on 2,5. (RIL 206-2010, 27.)

3.4 Määräykset ja asetukset?

Tiilirakentamisen historia on todella pitkä. Rakentamisen normit eivät olleet vielä 1750-luvulla, vaan erilaisia määräyksiä ja ohjeita alettiin kehittää vasta myöhemmin. Alkuvaiheissa, 1800-luvulla, normit olivat kaupunkikohtaisia eivätkä kansallisia. Normit määräytyivät kaupunkien rakennusjärjestyksien mukaan, eikä niitä voida pitää virallisina ohjeina. Helsingin rakennusjärjestön säätämiä normeja käytettiin suuntaa antavina aina 1970-luvulle saakka. (Höyhty & Vanttinen 1988, 179.)

Vanhon rakenteiden puristuslujuutta on haastavaa arvioida, mutta suuntaa antavaa tietoa löytyy puolivirallisista ja virallisista vaatimuksista. Ensimmäinen koko Suomea koskeva puolivirallinen asetusehdotus annettiin vuonna 1917. Ehdotuksessa määritettiin priimatiilille ja sekundatiilille alimmat puristuslujuudet. Priimatiilien puristuslujuudeksi määriteltiin 180 kg/cm^2 ja sekundatiilien lujuudeksi 140 kg/cm^2 . Helsingin kaupungin rakennustarkastuskonttori (1929) ja sisäasiainministeriö (1932) jakoivat tiilet kolmeen luokkaan, jotka olivat kovaksi poltetut tiilet, normaaliset tiilet ja toisen luokan tiilet. Kovaksi poltetujen tiilien puristuslujuuden tuli olla vähintään 200 kg/cm^2 , normaalisilla tiilillä 175 kg/cm^2 ja toisen luokan tiilillä 100 kg/cm^2 . (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 65–68.) Samoina vuosina tiilirakenteille määriteltiin sallitut jännitykset. Ne olivat riippuvaisia käytetystä laastista ja tiilen luokasta sekä korkeuden ja sivumitan suhteesta. Jännitykset olivat 1930-luvulla $0,35\text{--}2,0 \text{ MN/m}^2$ kokoluokkaa. (Ril kantavat rakenteet N.d, 13.)

Aikoinaan ei ollut määräyksiä tai ohjeita tiilien mittoihin liittyen. Tiilen kokoa oli pyritty määrittämään 1800-luvulla, mutta tuloksetta (Höyhty & Vanttinen 1988, 179). Neuvonen, Mäkiö ja Malinen kertovat, että Suomessa oli satoja tiiliruukkeja ja kaikilla oli omat tiilimittansa. Tiilet valmistettiin vielä 1900-luvun vaihteessa pääasiassa käsin lyöden. Vuonna 1897 tiilen normaalikooksi

määriteltiin 270 mm x 130 mm x 75 mm. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 68.) Rakennusmestareiden standardisointitoimikunta vahvisti normaalikoon vuonna 1917. Normaalikoon oheen kehiteltiin muita tiilikokoja 1950-luvulla. Uudet leveämmät tiilet eli suurtiilet olivat kantaviin, ääntä eristäviin ja osastoiviin rakenteisiin tarkoitettuja. Suurttiilien leveydet olivat 160 mm, 180 mm ja 200 mm. Moduulitiili kehiteltiin 1960-luvulla. Moduulitiilien mitat ovat nykyäänkin tutut: 285 mm x 85 mm x 85 mm. (Höyhty & Vanttinen 1988, 179.) Vanhoissa rakennuksissa tiilien koot saattavat kuitenkin vaihdella. Siihen ovat vaikuttaneet tiiliruukkien omat tiilimitat ja hidas siirtyminen määrättyihin mittoihin. Tämän lisäksi Suomeen on tuotu tiiliä myös ulkomailta, jossa mitat ovat poikenneet Suomessa käytetyistä mitoista. Tiiliä tuotiin ulkomailta suhteellisen paljon. Vuonna 1927 noin 25 % tiilistä oli ulkomailla valmistettuja. Neuvonen, Mäkiö ja Malinen kertovat, että Ruotsista ja Saksasta tuotiin suuria määriä punatiiltä. Kyseisten maiden normaalitiilien mitat olivat tuolloin 250 mm x 120 mm x 65 mm. (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 68.)

Rakennusinsinööriyhdistys määritteli ensimmäiset viralliset normit tiilirakenteille. Kyseiset normit on julkaistu vuonna 1958, vaikka tätä ennen oli ollutkin erinäisiä puolivirallisia ja virallisia ohjeita. Vuonna 1972 julkaistiin uusittu muurattujen rakenteiden ohje. Samana vuonna standardit SFS 2803 astuivat voimaan. Vuonna 1989 julkaistiin muurattujen rakenteiden ohje entisen tilalle. (Höyhty & Vanttinen 1988, 179.)

4 Ajan vaikutus

4.1 Materiaaleihin

Käyttöikä poltetuilla tiilillä on virallisesti 50 vuotta, mutta se voidaan ajatella pidempänäkin. Siikanen (2023, 122) toteaa, että tiilien oletetaan kestävän 50–100 vuotta. Vanhat tiilirakenteet osoittavat, että oikein huollettuna tiilirakenteet kestävät pitkään. Rakenne on sekä fysikaalisilta että kemiallisilta ominaisuuksilta kestävä ja se kestää hyvin mekaanisia rasituksia. Materiaalit, valmistavat ja rakenteille asetetut normit ovat kuitenkin muuttuneet ajan myötä. Näillä kaikilla on suurta merkitystä kestävyteen. (Siikanen 2023, 106–122.) Ominaisuuksien arvioiminen vanhoissa rakenteissa on hyvinkin haastavaa muun muassa puutteellisten lähteiden, kuten määräysten ja ohjeiden vuoksi. Myös ympäristöllä on voinut olla vaikutusta muuruskappaleisiin ja laastiin sekä näiden ominaisuuksiin. Muurattuihin rakenteisiin vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kosteus,

pakkasrasitus, ilman suolapitoisuus ja kemikaalit. Nykyisissä normeissa on asetettu vaatimuksia materiaalien säilyvyydelle. (RIL 206-2010, 45–47.)

Vanhoissa muuratuissa rakenteissa laatu voi olla hyvinkin vaihtelevaa. Syynä tähän on materiaalien ja valmistusprosessien epätasainen laatu. Mitä vanhempia tiiliä tarkastellaan, sen enemmän laadussa on poikkeamia. Tämä johtuu siitä, että ennen nykyisiä tunneliuuneja tiilillä oli epätasainen polttoaste. Osa käytetyistä muurauskappaleista on hyvin poltettuja, lähes sintraantuneita tiiliä, kun taas osa niistä on jäänyt vaaleiksi. Vaaleat tiilet ovat olleet uunin reunaosissa, kun taas hyvin poltetut tiilet ovat olleet uunin keskiosassa. Koska polttolämpötilalla on suora vaikutus muun muassa lujuuteen ja tiheyteen, voi vanhojen tiilien ominaisuuksissa olla suuriakin eroja. Tiheyden ollessa huono myös ympäristöolosuhteet rasittavat tiiltä rajummin. Höyhty ja Vanttinen (1988, 180) toteavatkin epätasaisen laadun ja suolojen imeytymisen muureihin olevan vanhojen tiilirakenteiden ongelmia. Ympäristöstä tulleet suolat voivat aiheuttaa rakenteeseen rapautumista. (Höyhty & Vanttinen 1988, 180.)

Tiilien tapaan laastit ovat muuttuneet ajan myötä. Käytetyt sidos- ja lisäaineet ovat olleet erilaisia vuosien varrella, sillä tiilellä, sen ominaisuuksilla ja käyttötarkoituksella on merkitystä käytettyyn laastiin. (Siikanen 2023, 139–144.) Korjauksessa käytettävän laastin tulee olla ominaisuuksiltaan mahdollisimman lähellä alkuperäistä laastia. Laastin lujuus voi joissakin vanhoissa kohteissa olla paljonkin suurempi kuin nykyään. Lujuuden suuruuteen on vaikuttanut kalkkipolttomenetelmä ja siitä aiheutuvat epäpuhtaudet. Ominaisuuksien eroavaisuus vanhasta laastista voi johtaa laastipaikkauksen irtoamiseen. (Höyhty & Vanttinen 1988, 181.) Ajalla ja ympäristöolosuhteilla on vaikutusta myös muuratun rakenteen muodonmuutoksiin. Ympäristötekijät, kuten lämpö ja kosteusolosuhteet, aiheuttavat tiilirakenteissa muodonmuutoksia. Toistuva vaurioita aiheuttamaton kuorma aiheuttaa tiilirakenteissa muodonmuutoksia. Muodonmuutokset ovat pysyviä eivätkä ne palaudu. Plastisia muodonmuutoksia aiheutuu siis liian suurista kuormista ja kosteus- sekä lämpöolosuhteista. Muodonmuutoksilla ei ole niin suurta merkitystä muuratuissa rakenteissa, mutta jos niiden suuruusluokat rakenteen sisällä vaihtelevat, tulee niistä merkittäviä. (Kinnunen 2002, 15–17.)

4.2 Ominaisuuksiin

Rakentajain kalenteri on hyvin vanha kirjasarja. Julkaisut sisältävät ajantasaista tietoa sekä tärkeimpiä kaavoja, lujuuksia ja sisältöä, jota muun muassa rakennesuunnittelijat voivat tarvita. Rakentajain kalentereista löydettyjä tietoja tiheyden, lujuuden ja sallittujen jännitysten osalta on ilmoitettu liitteessä 1. Liitteenä oleva taulukko on jaoteltu vuosiin, jolloin muutoksia rakenteiden ominaisuuksissa on tapahtunut eniten. Suurin osa kyseisistä vuosista ovat myös vuosia, jolloin uusia määräyksiä on ehdotettu tai otettu käyttöön. Rakentajain kalentereista löydetty tiedot riippuvat julkaisuvuodesta. Tästä syystä yhden ajanjakson tieto on saatettu kerätä useammalta vuodelta. Kaikki kirjat, joita taulukkoa varten on tarkasteltu, löytyvät lähdeluettelosta. Höyhty ja Vänttinen (1988, 179) kuitenkin toteavat, että ominaisuuksia ei voida pitää täysin paikkaansa pitävinä, sillä ei voida varmistaa, että kyseisiä ohjeita olisi noudatettu rakennushetkellä.

4.3 Mitoitukseen

Käytössä olleet kuormat ovat vaihtuneet ajan saatossa. Esimerkiksi vuonna 1938 laskennassa käytettyjen lumikuormat ovat olleet Uudellamaalla, Turussa ja Porin lääneissä 100–150 kg/m². Muualla Suomessa arvo on ollut 150–200 kg/m². Tuulenpaineen mitoitusarvona on pidetty yleensä 100 kg/m² ja rannikkoalueilla 125 kg/m². (Sorvari 1938, 254.) Kuormien lisäksi mitoitusarvommekin ovat muuttuneet ajan kuluessa. Osavarmuusluvut ja mitoitus murtorajatilassa eivät ole aina olleet käytössä - niiden käyttöönotto tapahtui vasta eurokoodien myötä. Ensimmäiset muurattujen rakenteiden eurokoodien esistandardit (ENV) julkaistiin vuonna 1996. (Rakentajain kalenteri 1997.) RIL muuratut rakenteet -kirjan mukaan rakenteet on aiemmin mitoitettu sallituille jännityksille. Sallittu jännitys σ_{psall} on saatu standardien mukaan. Tähän vaikuttivat muun muassa käytetyt materiaalit, saumapaksuus ja limitystapa. (Muuratut rakenteet 1975, 99.) Sitä ennen muuratuille rakenteille määriteltiin sallitut jännitykset käytettyjen muurauskappaleiden ja -laastien perusteella. Määritellyt sallitut jännitykset ovat olleet käytössä vielä vuonna 1961. (Malmberg & Linnamaa & Pääkkönen 1961, 463.) Liitteessä 1 on esitelty Rakentajain kalentereissa mainittuja sallittuja jännityksiä.

Mitoitus on muuttunut paljon eurokoodien käyttöönoton myötä. Muun muassa puristus- ja leikkauslujuuden laskenta on tapahtunut eri tavalla. Puristuslujuuden laskentakaava on ollut vuonna 1975 samanlainen, vaikka symbolit ovat olleet hieman erilaiset. Potenssiarvot α ja β sekä kerroin K

ovat muuttuneet 1970-luvun jälkeen. RIL Muuratut rakenteet (1975, 99) -kirjassa vakio α on ollut 1/2, 3/4 ja 1. Vakio β on ollut 1/3 ja 1/4. Kyseessä olevassa kirjassa viitataan VTT:n tutkimukseen, jossa täystiilille vakiolle α olisi määritelty arvoksi 1/2. Samassa julkaisussa leikkauslujuuden kaava pohjautuu leikkaustartuntaan heikoimmassa kohdassa τ_1 , johon lisätään puristusjännitykseen leikkauspintaa vastaan kohtisuorassa kerrottuna μ kitkakertoimella leikkauspinnassa σ_p . Leikkauslujuuden kaava vuodelta 1975 on esitetty kaavassa 10. Leikkaustartunnan arvot ovat suuruudeltaan 0,2 MN/m² luokkaa. (Muuratut rakenteet 1975, 99.)

$$\tau_B = \tau_1 + \mu\sigma_p$$

Kaava 10. Leikkauslujuus 1975 (39) (Muuratut rakenteet 1975).

5 Työn tulokset

5.1 Millaisia ominaislujuuksia rakenteilla on ollut vuosien varrella?

Kappaleen 2.2 taulukossa 1 on esitetty poltettujen tiilien puristuslujuudet, jotka vaihtelevat suuruusluokkien 5–55 MN/m² välillä (Kinnunen 2002, 8). Puristuslujuudet ovat muuttuneet vuosien varrella. Liitteeseen 1 on koottuna Rakentajain kalentereista kerättyä tietoa poltettujen tiilien ja muurauslaastien lujuuksista. Aiempina vuosina puristuslujuudet ilmaistiin yksikössä kg/cm², joka on noin 0,1 MN/m². Liitteeseen on käytetty useampaa Rakentajain kalenteria tiedon varmentamiseksi.

5.2 Tuleeko tutkittavien rakenteiden mitoituksessa hyödyntää vanhoja normeja vai nykyisiä normeja?

Maankäyttö- ja rakennuslaissa sekä ympäristöministeriön asetuksessa, joka pohjautuu mainittuun lakiin, todetaan vanhojen rakentamistapojen ja säädösten käyttämisen nykyisten tilalla olevan sopivaa joissakin tilanteissa. Kuten kappaleessa 3.3. todetaan, ehtona vanhojen tapojen käyttöön nykyisten sijasta on, että rakennusta ei heikennetä, vaan sitä vahvistetaan kunnon vuoksi. Kuormituksen lisääntyessä korjaus- tai muutostyön vuoksi tulee suunnittelussa käyttää nykyisiä ohjeita ja todentaa rakenteen lujuus ja vakaus niiden mukaisesti. (A 477/2014.)

5.3 Millainen varmuusmenettely ko. rakenteiden mitoituksessa tulisi olla?

Opinnäytetyön kirjoitushetkellä muurattujen rakenteiden suunnittelussa käytetään eurokoodia EN 1996-1-1 ja ympäristöministeriön sille laatimia kansallisia liitteitä. Ilman jatkotutkimuksia nykyisten normien perusteella todetaan, että osavarmuuslukuna tulee käyttää vähintään taulukossa 3 esiteltyä $\gamma_M = 2,5$. (RIL 206-2010, 27). Luotettavuuden hallintaa varten tulee suunnittelussa käyttää myös kappaleen 3.1 mukaisesti seuraamusluokkamenettelyä ja kuormakertoimia. (A 3/16, 2.)

5.4 Mitä parametreja suunnittelussa tulisi käyttää?

Opinnäytetyön laajuus ja aikaraja eivät riitä vastaamaan kysymykseen. Työn perusteella ei voida antaa luotettavaa vastausta tutkimuskysymykseen. Jotta kysymykseen saadaan vastaus, tulee muuratuista rakenteista tehdä jatkotutkimuksia, kuten puristuskokeita.

6 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset

Tutkimuksessa ei löydetty tarpeeksi kattavia vastauksia kysymyksiin. Vastausten laatu, määrä ja luotettavuus kuitenkin vastaavat aiheen laajuuteen ja käytettyyn aikaan. Työssä on pohjustettu aihetta laajalti, sillä aiheesta ei oltu tehty vastaavaa tutkimusta. Opinnäytetyö ei siis ole jatkoa muulle tutkimukselle. Käsiteltävä aihe on rajattu tiukasti yhteen seinätyyppiin aiheen laajuuden vuoksi. Työssä on käsitelty pohjustuksena laajalti muurauskappaleiden ja -laastien ominaisuuksia. Ominaisuuksilla on vaikutusta käytettäviin materiaaleihin, niiden yhteistoimintaan ja rakenteen lujuuteen. Kuten kappaleessa 2.2.2 todetaan, laastin valintaan vaikuttavat käytetyt muurauskappaleet niiden ominaisuuksien ja yhteistoiminnan vuoksi (Siikanen 2023, 139–144).

Opinnäytetyössä saatiin kuitenkin myös aikaan selkeitä vastauksia. Työn tavoitteena oli selvittää muurauskappaleiden ja -laastien vanhoja ominaislujuuksia. Tutkimuksen tuloksena saatiin kerättyä tietoa muurauskappaleiden ohjeellisista vähimmäislujuuksista eri aikakausina. Vähimmäislujuudet on esitetty liitteessä 1. Työssä ei saatu selville vanhimpien muurauslaastien lujuuksia. Vähimmäisarvoja voidaan pitää vain suuntaa antavana tietona ja pohjustuksena jatkotutkimuksia varten. Ohjearvojen noudattamisesta ei ole varmaa tietoa, joten aiheesta tulee tehdä jatkotutkimuksia. Kuten kappaleessa 3.4 todetaan, normeja käytettiin vain suuntaa antavina 1970-luvulle saakka (Höyhty & Vänttinen 1988, 179). Tietämättömyyttä käytetyistä lujuuksista lisää myös ulkomaa-

laisten tiilien käyttö. Samassa kappaleessa on todettu, että tiiliä on tuotu paljonkin eri maista, joissa on ollut erilaiset ohjeet ainakin muurauskappaleiden mittoihin liittyen (Neuvonen & Mäkiö & Malinen 2002, 68). Jotta kysymykseen saataisiin luotettava vastaus, tulee siitä tehdä jatkotutkimuksia.

Työssä tavoiteltiin myös vastauksia käytettävään varmuusmenettelyyn. Yleisesti mitoituksessa tulee käyttää seuraamusluokkamenettelyä, kuormakertoimia ja osavarmuuslukuja, kuten mitoitussiossa on kerrottu (A 3/16, 2). Eurokoodien kansallisten liitteiden perusteella voidaan todeta, että suunnittelussa käytettävä osavarmuusluku γ_M on 2,5 taulukon 3 mukaisesti (RIL 206-2010, 27). Muuratut rakenteet ovat kestäviä. Rakenteiden ollessa vanhoja on kuitenkin mahdollista, että niiden ominaisuudet ovat heikentyneet. Ajan vaikutuksesta materiaaleihin -osiossa on todettu, kuinka muurauskappaleiden ja laastien ominaisuuksien laatu on vanhoissa kohteissa hyvinkin vaihtelevaa. Ominaisuuksien vaihtelevan laadun vuoksi muurauskappaleisiin on voinut imeytyä muun muassa suoloja, jotka aiheuttavat rapautumista. (Höyhty & Vanttinen 1988, 180.) Tässä työssä ei olla saatu varmuutta, riittääkö taulukon 3 mukainen osavarmuusluku antamaan suunnitteluun tarpeellisen varmuuden ja luotettavuuden. Tämän vuoksi aiheeseen liittyen on suotavaa tehdä jatkotutkimuksia. Työssä on koottu myös aikoinaan käytettyjä sallittuja jännityksiä. Kappaleessa 4.3 todetaan, että ne ovat toimineet varmuusmenettelynä ennen eurokoodeja (Rakentajain kalenteri 1997). Vanhoja sallittuja jännityksiä on koottu puristuslujuuksien tapaan liitteeseen 1. Mikäli suunnittelijalla ei ole käytössä vanhoja asiakirjoja, joissa on kerrottu lujuuksia ja sallittuja jännityksiä, voi suunnittelija hyödyntää liitteen 1 tietoja. Mutta kuten kappaleessa 2.4 on todettu, rakenteiden lujuusopillinen analysointi on vaikeaa (Kinnunen 2002, 12-17).

Työssä käsiteltävästä aiheesta on suotavaa tehdä jatkotutkimuksia, jotta siihen saadaan tarkempia ja luotettavampia vastauksia. Tätä opinnäytetyötä on mahdollista käyttää suuntaa antavana aineistona suunnitteluun ja pohjatietona tuleville jatkotutkimuksille. Jatkotutkimuksia kannattaa lujuuden kannalta toteuttaa eri aikakausien rakenteita käyttäen. Liitteen 1 ajan jaksotusta kannattaa hyödyntää koekappaleita valittaessa. Liitteestä nähdään, milloin rakenteille määritellyt ohjeelliset arvot ovat suunnilleen muuttuneet. Liitteessä käytetyt ajanjaksot ovat lähestulkoon samat kuin kappaleessa 3.4 käsitellyt vuodet määräysten kannalta. Jatkotutkimuksena voidaan tehdä puristuskokeita koepaloille. Tutkimuskohteeksi on suotavaa myös valita kohde, josta on saatavilla rakennusaikaisia asiakirjoja, kuten suunnitelmia ja työselosteita, joista voi ilmetä käytettyjen muu-

rauskappaleiden sekä -laastien lujuuksia. Puristuskokeiden tulosten vertailulla kohteen lähtötietoihin voidaan saada selvyys myös varmuusmenettelyyn. Tulosten vertailussa nähdään, paljonko rakenteen lujuus on heikentynyt vuosien varrella.

7 Pohdinta

7.1 Tulosten tarkastelu

Käsiteltävä aihe oli tutkimuskelpoinen. Aihe on alan kannalta hyödyllinen korjausrakentamisen edistämistä ajatellen. Aiheen tärkeys ilmenee siitä, että se on saatu työelämän edustajalta. Aiheesta oli myös mielekästä tehdä tutkimusta. Aiheeseen on hyvä saada vastauksia, jotka auttavat suunnitelmien toteuttamisessa vaivattomammin. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ovat tavoitteisiin nähden parhaat mahdolliset. Menetelmien avulla saatiin tutkimuskysymyksiin vastauksia. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena eikä työssä pystytty hyödyntämään haastatteluja. Ongelmana haastattelun kannalta on löytää asiantuntija, jolla olisi tietoa kyseisistä rakenteista näin monilta vuosilta. Työelämän kontaktien puuttuminen kavensi käytettävää aineistoa huomattavasti. Tärkeintä on, että tutkimusaihe ja sen tavoitteet on saatu rakennusalan yritykseltä, joten aiheen voidaan todeta olevan hyödyllinen.

Aiheesta on yllättävän vähän julkista aineistoa. On yllättävää, ettei aiheesta ole julkistettu enempää aineistoa. Pääasiassa aiheesta löytyy tietoa fyysisten kirjojen, eikä niinkään digitaalisessa muodossa. Tässä työssä on käytetty vain aineistoa, jota pystyttiin käsittelemään ammattikorkeakoulun sijaintipaikkakunnalla. Kansalliskirjastossa ja teknillisten yliopistojen kirjastoissa on vanhaa tietoa ko. rakenteista. Aiheesta on myös tehty tutkimuksia ja kokeita ulkomailla. Tällaisia tutkimuksia löytyy digitaalisessa muodossa, mutta ammattikorkeakoululla ei ole lisenssejä kyseisiin palveluihin.

Aiheesta ei ole tehty vastaavaa tutkimusta, joten aihetta tuli käsitellä kattavasti. Työssä on käsitelty muurauskappaleiden ja -laastien ominaisuuksia, sillä niillä on merkitystä muun muassa lujuuksiin ja säilyvyyteen, kuten johtopäätöksissäkin on jo todettu. Työssä on avattu mitoitus, sillä se käsittelee kyseisten rakenteiden korjaussuunnittelua. Käytettävät ohjeet ja säännökset, varmuusmenettely sekä käytetyt ominaislujuudet ovat kaikki mitoittamiseen kuuluvia asioita. Tutkimuskysymykset ovat liian kunnianhimoiset aiheen laajuuteen nähden. Tutkimustyössä mukana olleille

osapuolille oli selvää ennen työn aloittamista, että aiheesta joudutaan tekemään tutkimuksia kappaleilla, eikä niitä ehditä toteuttamaan työn puitteissa. Jatkotutkimuksien tarpeellisuus oli siis tiedossa ennen työn aloittamista.

Tutkimuksen päätavoitteena oli käytettävien normien ja varmuusmenettelyn selvitysten lisäksi kerätä tietoa muurattujen rakenteiden ominaislujuuksista vuosien varrella. Tutkimuksen päätavoite täyttyi osittain. Työssä ei saatu tarkkaa tietoa käytetyistä lujuuksista, mutta kuten johtopäätöksissä on todettu, vähimmäislujuuksia voidaan pitää suuntaa antavina arvoina. Työssä saatiin vastaukset tutkimuskysymyksiin käytettäviin normeihin ja varmuusmenettelyyn liittyen. Tutkimuksen vastauksia ei kuitenkaan voida pitää täysin luotettavina etenkin lujuuksien ja varmuusmenettelyn osalta ilman jatkotutkimuksia. Työn tuloksia voidaan hyödyntää suunnittelussa ja etenkin jatkotutkimuksien pohjatietona. Kuten johtopäätöksissä on mainittu, liitteeseen koottu tieto ei ole täydellisen luotettavaa. Kuten Neuvonen, Mäkiö ja Malinenkin julkaisussaan toteavat, tiilen väri kertoo myös paljon lujuudesta, joten voidaanko tätä käyttää hyväksi?

Johtopäätöksissä todetaan, että lujuuksiin ja varmuusmenettelyyn liittyen tarvitaan jatkotutkimuksia. Suunnittelija voi kuitenkin hyödyntää tutkimuksen tuloksia sekä tietoperustaa työssään. Suunnittelussa tulee noudattaa asetuksia ja määräyksiä. Mikäli rakennetta ei heikennetä esimerkiksi aukottamalla, vaan sitä vahvistetaan sen kunnon vuoksi, saadaan siinä hyödyntää vanhoja rakentamistapoja sekä -säännöksiä. Tässä tilanteessa suunnittelija voi hyödyntää työtä ja sen liitteessä 1 mainittuja puristuslujuuksia ja sallittuja jännityksiä, jos aiheesta ei olla tehty jatkotutkimuksia eikä kohteesta ole vanhoja asiakirjoja tallessa. Vähimmäisarvojen käyttäminen antaa todennäköisesti laskelmiin varmuutta. Sallittuja jännityksiä on mahdollista käyttää vanhan rakenteen kestävyuden arvioinnissa olettaen, että rakenne on aikoinaan mitoitettu niiden puitteissa. Niistä ei kuitenkaan voida olla varmoja. Työn perusteella suunnittelijan tulisi käyttää laskelmissaan osavarmuuslukuna vähintään $\gamma_M = 2,5$, joka on esitetty taulukossa 3. Sen riittävydestä ei voi kuitenkaan olla varma. Kansallisissa liitteissä, joissa osavarmuusluku on määritelty, ei ole mainintaa sen toimivuudesta vanhoihin rakenteisiin nähden. Kategorian II osavarmuusluvun käyttäminen ko. rakenteissa ja niiden korjaussuunnittelussa on tulkinta kyseisistä kansallisista liitteistä. Jatkotutkimusehdotukset on todettu johtopäätöksissä.

7.2 Luotettavuus ja eettisyys

Tutkimuksen tekijän tulee noudattaa hyvää tieteellistä käytäntöä. Tähän käytäntöön liittyen tiedeyhteisöllä on Suomessa olemassa yhteinen ohje. Vastuu hyvän tieteellisen käytännön noudattamisesta kuuluu pääasiassa tutkijalle. Hyvän tieteellisen käytännön vastaiset teot voivat olla lain vastaisia. Kyseistä HTK-ohjetta on noudatettu tässä työssä. Työ toteutettiin myös Jyväskylän ammattikorkeakoulun ohjeiden mukaisesti.

Opinnäytetyössä on käytetty muiden henkilöiden tuottamia aineistoja. Tekijänoikeussäännösten perusteella työssä tulee olla mainittuna lähteet ja viittaukset käytettyihin aineistoihin. Tutkimuksessa on noudatettu kyseistä säännöstä. Kaikkiin käytettyihin aineistoihin on viitattu ja ne on lueteltu lähdeluettelossa. Työ ei myöskään sisällä plagioitua tietoa. Opinnäytetyö tulee olemaan julkista aineistoa, se ei kuitenkaan vaadi erillisiä lupia. Lupia työn suorittamiseen ja lähdeaineistojen hyödyntämiseen ei tarvita, sillä kirjallisuuskatsaus on julkisen tiedon keräämistä ja hyödyntämistä. Opinnäytetyössä ei ole käsitelty sellaisia henkilökohtaisia tietoja, jotka olisivat luvanvaraisia. (Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset 2019.)

Työssä käytetyt aineistot ovat luotettavia tietolähteitä. Aineiston luotettavuus perustuu siihen, että aineistot ovat standardeja, asetuksia, normeja ja muita vastaavia virallisia lähteitä tai aineistoja, jotka perustuvat niihin. Käytössä olleet sekundäärilähteet ovat olleet pääasiassa alan ammattilaisille tai opetustarkoitukseen tarkoitettuja. Tässä työssä käytettyjä sekundäärilähteitä voidaan pitää luotettavina. Kyseisten lähteiden tietoja on verrattu niin keskenään, kuin myös primäärilähteisiin. Koska osa lähteistä on ollut myös opetuskäytössä, voidaan niitä pitää tämänkin puolesta luotettavina. Tärkeimpänä luotettavuuden merkinä voidaan pitää virallislähteiden määrää työssä ja lähteiden tietojen yhteensopivuutta. (Hyväri & Vuokila-Oikkonen 2020.) Opinnäytetyötä ei voida pitää täysin puolueettomana. Osa käytetyistä materiaaleista on tulkinnanvaraisia ja täten lukijasta riippuvaisia. Vaikka työssä on pyritty pysymään objektiivisena, on mahdollista, että työssä näkyy tutkijan erilainen ymmärrys käsiteltävästä aiheesta. Puolueellisuus voi näkyä kirjoittajan virallislähteiden erilaisena tulkittamisena. Pääasiassa työ on pyritty tekemään mahdollisimman puolueettomana ja tosiasialliseen tietoon perustuvana.

Lähteet

A 07.11.2016/3. Ympäristöministeriön asetus rakenteiden suunnitteluperusteista koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1990. Viitattu 3.5.2024.

<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42808>.

A 17.6.2014/477. Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista. Viitattu 3.5.2024.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140477#Pidm46111190997040>.

Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. 2019. Arene. Viitattu 1.5.2024.

<https://arene.fi/julkaisut/raportit/opinnaytetoiden-eettiset-suositukset/>.

Eurocodes: Building the future. N.d. European commission. Viitattu 17.5.2024.

<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>.

Eurocode 6: Design of masonry structures. N.d. European commission. Viitattu 17.5.2024.

<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/EN-Eurocodes/eurocode-6-design-masonry-structures>.

Hyvärinen, S & Vuokila-Oikkonen, P. 2020. Tutkimus- ja kehittämistyön luotettavuus. LibGuides

DIAK. Viitattu 1.5.2024. <https://libguides.diak.fi/c.php?g=670543&p=4760642>.

Höyhtä, M. & Vanttinen, Y. 1989. Muuratut rakenteet 1. Jyväskylä: Rakentajain kustannus Oy. Viitattu 20.4.2024.

Kinnunen, J. 2002. Muuratut rakenteet 2. Saarijärvi: Rakennustieto Oy. Viitattu 23.4.2024.

Koski, H. 2010. Rakentamisen tuotantotekniikka. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 21.4.2024.

L 5.2.1999/132. Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki). Viitattu 11.5.2024.

<https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Neuvonen, P., Mäkiö, E. & Malinen, M. 2002. Kerrostalot 1880–1940. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy. Viitattu 20.4.2024.

Haikala, M. 1986. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Kantanen, T., Linnamaa, A., Moisio, P. & Törmänen, O. 1975. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Linnamaa, A., Moisio, P. & Törmänen, O. 1976. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Malmberg, M., Linnamaa, A. & Pääkkönen, V. 1958. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Malmberg, M., Linnamaa, A. & Pääkkönen, V. 1960. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Malmberg, M., Linnamaa, A. & Pääkkönen, V. 1961. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Malmberg, M., Sorvari, M., Linnamaa, A. & Leivo, V. 1947 Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Malmberg, M., Sorvari, M., Linnamaa, A. & Pääkkönen, V. 1953. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1990. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1991. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1993. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1994. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1996. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Rakentajain kalenteri osa1. 1997. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY. Viitattu 6.5.2024.

Rakentajain kalenteri. 2019. Helsinki: Rakennustieto.

Rakenteiden lujuus ja vakaus: Muuratut rakenteet. 2016. Ympäristöministeriö. Viitattu 14.5.2024. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/muuratut_rakenteet_lopullinen_20122016-4E9DAF6E_8E56_44D8_8207_67E6F051B831-123774.pdf/53ea72a5-5bf3-ab6e-bbbd-89e9810939d0/muuratut_rakenteet_lopullinen_20122016-4E9DAF6E_8E56_44D8_8207_67E6F051B831-123774.pdf?t=1603260648918.

RIL Kantavat rakenteet. n.d. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Viitattu 3.5.2024.

RIL 206-2010 Muurattujen rakenteiden suunnitteluohje eurokoodi EN 1996-1-1 ja taulukkomitointus palotilanteessa. 2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Viitattu 24.4.2024.

RIL 99 muuratut rakenteet. 1975. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Viitattu 3.5.2024.

RT 103281 Poltetut tiilet. 2020. Rakennustietosäätiö. Viitattu 22.4.2024.

RT 103282 Tiilirakenteet. 2020. Rakennustietosäätiö. Viitattu 22.4.2024.

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. Vaasa: Vaasan yliopisto. Viitattu 2.5.2024. https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf.

Seppänen, L. 1983. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Siikanen, L. & Siikanen, U. 2023. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 20.4.2024.

Sorvari, M. 1938. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY. Viitattu 2.5.2024

Teoreettinen tutkimus. 2015. Koppa. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 3.5.2024.
<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/teoreettinen-tutkimus>.

Tolonen, A. 1924. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Tolonen, A. 1927. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Tolonen, A. 1928. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Tolonen, A. 1932. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Tolonen, A. 1934. Rakentajain kalenteri. Helsinki: Rakentajain kustannus-OY.

Tuomi, J & Sarajärvi, A. Laadullinen tutkimus ja sisältöanalyysi. Uudistettu laitos Helsinki: Tammi. Viitattu 3.5.2024.

Liitteet

Liite 1. Poltettujen tiilien ja laastien ominaisuuksia vuosien varrella

Omapaino	Puristuslujuus	Sallitut jännitykset	
1917			
Tiilimuuri 1600 kg/m^3	Priimatiilet 180 kg/cm^2	Hyvin poltetut tiilet, kalkkilaastilla muurattu 8 kg/cm^2	
Kalkkilaasti 1600 kg/m^3	Sekundatiilet 140 kg/cm^2	Kalkkitiilet, kalkkilaastilla muuratut $3\text{--}5 \text{ kg/cm}^2$	
		Kovaksi poltetut tiilet, sementtilaastilla muuratut 15 kg/cm^2	
1932			
Kovaksi poltettu tiili 1800 kg/m^3	Koviksi poltetut Huonoimmat viisi keskiarvolta 230 kg/cm^2 Huonoin 200 kg/cm^2	Kalkkilaastilla muuratut seinät ja pilarit	
		h/b = 6	h/b = 12
Tavallinen tiili 1500 kg/m^3	Normaaliset tiilet Huonoimmat viisi keskiarvolta 175 kg/cm^2 Huonoin 145 kg/cm^2	Koviksi poltetut ja normaaliset tiilet 10 kg/cm^2	Koviksi poltetut ja normaaliset tiilet 5 kg/cm^2
Kovaksi poltettu tiili, sementtilaastissa 1900 kg/m^3		Toisen luokan tiilet 7 kg/cm^2	Toisen luokan tiilet 3.5 kg/cm^2
		Sementtilaastilla muuratut	
		h/b = 6	h/b = 15
Tavallinen tiili, kalkkilaastissa 1600 kg/m^3	Toisen luokan tiilet Huonoimmat viisi keskiarvolta 125 kg/cm^2 Huonoin 100 kg/cm^2	Normaaliset tiilet 16 kg/cm^2	Normaaliset tiilet 7 kg/cm^2
		Koviksi poltetut 20 kg/cm^2	Koviksi poltetut 9 kg/cm^2
1953			

Raskaat tiilet $\geq 1600 \text{ kg/m}^3$ Puoliraskaat tiilet $1410 \text{ kg/m}^3 - 1600 \text{ kg/m}^3$ Kevyet tiilet $1210 \text{ kg/m}^3 - 1400 \text{ kg/m}^3$	Raskaat tiilet 175 kg/cm^2	h/b = 10	h/b = 15	h/b = 23	
	Kalkkilaasti ka lakkisementtillaasti N:o 3				
	Puoliraskaat tiilet 150 kg/cm^2	Raskaat tiilet 8 kg/cm^2	Raskaat tiilet 4 kg/cm^2		
	Kevyet tiilet 110 kg/cm^2	Puoliraskaat tiilet $7,5 \text{ kg/cm}^2$	Puoliraskaat tiilet $3,5 \text{ kg/cm}^2$		
	Kalkkilaasti 6 kg/cm^2	Kevyet tiilet 6 kg/cm^2	Kevyet tiilet $2,5 \text{ kg/cm}^2$		
	Kalkkisementtillaasti N:o 3 10 kg/cm^2	Kalkkisementtillaasti N:o 2			
	Kalkkisementtillaasti N:o 2 20 kg/cm^2	Raskaat tiilet 11 kg/cm^2	Raskaat tiilet $7,5 \text{ kg/cm}^2$	Raskaat tiilet 4 kg/cm^2	
	Kalkkisementtillaasti N:o 1 50 kg/cm^2	Puoliraskaat tiilet $9,5 \text{ kg/cm}^2$	Puoliraskaat tiilet 6 kg/cm^2	Puoliraskaat tiilet 3 kg/cm^2	
		Kevyet tiilet 7 kg/cm^2	Kevyet tiilet 4 kg/cm^2	Kevyet tiilet 2 kg/cm^2	
		Kalkkisementtillaasti N:o 1			
		Raskaat tiilet 15 kg/cm^2	Raskaat tiilet 10 kg/cm^2	Raskaat tiilet 5 kg/cm^2	
		Puoliraskaat tiilet 13 kg/cm^2	Puoliraskaat tiilet $8,5 \text{ kg/cm}^2$	Puoliraskaat tiilet 4 kg/cm^2	
	Kevyet tiilet 10 kg/cm^2	Kevyet tiilet $6,5 \text{ kg/cm}^2$	Kevyet tiilet 3 kg/cm^2		
1972					
Poltettu tiili Painoluokka 0,9	Tiilikivet	Sallitut jännitykset perustuvat standardeihin ja olivat laskennallisia. Vuonna			

$\leq 1000 \text{ kg/m}^3$ Poltettu tiili Painoluokka 1,1 $1001 \dots 1200 \text{ kg/m}^3$ Poltettu tiili Painoluokka 1,3 $1001 \dots 1400 \text{ kg/m}^3$ Poltettu tiili Painoluokka 1,5 $1401 \dots 1600 \text{ kg/m}^3$ Poltettu tiili Painoluokka 1,7 $1601 \dots 1800 \text{ kg/m}^3$	15...50 MPa Sementtilaasti 20...25 MPa Kalkkisementtilaasti 5 MPa Kalkkilaasti 0,6 MPa	1975 käytetty standardi on ollut SFS 2803. Sallittuun jännitykseen vaikuttaa mm. materiaali, saumapaksuus ja limitystapa. Esimerkiksi NRT 25 KS 35/65 $\sigma_{psall} = 1,34 \text{ MN/m}^2$.
1989		
Poltetut tiilet $1200 \dots 1800 \text{ kg/m}^3$ Sementtilaasti 2000 kg/m^3 Kalkkisementtilaasti 1800 kg/m^3 Kalkkilaasti 1700 kg/m^3	Poltetut tiilet 15...50 MPa Sementtilaasti 20...25 MPa Kalkkisementtilaasti 5 MPa Kalkkilaasti 0,6 MPa	Sallittu jännitys oli edelleen standardeihin ja laskentaan perustuva.
1996 Eurokoodien voimaan tulo muuratuille rakenteille		
	Tiilen lujuus luokat	Esistandardien (ENV) mukaan sallittuja

	<p>5, 15, 25, 35, 45, 55</p> <p>Laastien lujuus luokat</p> <p>16, 8, 4, 2</p> <p>Lujuusluokka ilmaisee luokan pienimmän puristuslujuuden (MN/m²)</p>	<p>jännityksiä olisi vielä käytetty, mutta laskenta kuorma kerrottaisiin osavarmuusluvuilla.</p> <p>Virallisten eurokoodien ja kansallisten liitteiden mukana on tullut nykyiset osavarmuusluvut.</p>
--	--	---