



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

EVELIINA PAAVONEN  
PITKÄN KÄYTTÖIÄN VAIKUTUS TERÄSBETONIRAKENTEEN  
SUUNNITTELUUN

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Jukka Lahdensivu

## TIIVISTELMÄ

**EVELIINA PAAVONEN:** Pitkän käyttöiän vaikutus teräsbetonirakenteen suunnitteluun (The effect of long service life for design of reinforced concrete structure)

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 38 sivua

Toukokuu 2018

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Talonrakentaminen

Tarkastaja: tekniikan tohtori Jukka Lahdensivu

**Avainsanat:** käyttöikä, teräsbetonirakenne, rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelussa käytettävät arvot perustuvat 50 vuoden suunnittelukäyttöikään. Usein rakennukselle halutaan kuitenkin tätä pidempi suunnittelukäyttöikä, kuten 100 tai 200 vuotta. Suunnittelukäyttöiän pituus tulee ottaa huomioon rakennesuunnittelussa, jotta rakenteet kestäisivät määritetyn suunnittelukäyttöiän mukaisen ajan. Tässä tutkimuksessa keskitytään ainoastaan tavanomaisiin teräsbetonisiin asuinkerrostaloihin.

Tässä tutkimuksessa perehdyttiin kirjallisuuteen. Tärkeimmät lähteet olivat standardeja, Suomen Betoniyhdistyksen julkaisuja ja Suomen Rakennusinsinöörien Liiton julkaisuja. Kirjallisuudesta poimittiin asioita, jotka on otettava huomioon suunnittelukäyttöiän kannalta rakennesuunnittelussa. Tutkimuksessa perehdyttiin myös betonirakenteen kestävyteen ja mekaanisten kuormien muuttumiseen rakenteen käyttöiän aikana.

Työn tulokseksi saatiin, että rakenteen käyttöikäsuunnittelu voidaan tehdä joko taulukomenetelmällä tai laskennallisella menetelmällä. Molempien menetelmien käyttöön vaikuttaa betonirakenteeseen kohdistuvat ympäristörasitukset. Näin ollen taulukkomenetelmässä valitaan taulukosta suoraan rasitusluokan ja suunnittelukäyttöiän perusteella suunnittelussa käytettävät parametrit, joita ovat betonipeitteen nimellisarvo, suurin sallittu halkeamaleveys ja betonin lujuus. Laskennallisessa menetelmässä valitaan rasitusluokan mukainen kaava, josta suunnittelukäyttöikä lasketaan taulukoissa annettujen kerrointen ja 50 vuoden vertailukäyttöiän avulla. Kaavan kertoimiin vaikuttaa betonin yksityiskohdat, ominaisuudet ja rakenteen sijainti. Jos kerroin on alle 1, se lyhentää rakenteen suunnittelukäyttöikää. Kun taas kertoimen ollessa yli 1 rakenteen suunnittelukäyttöikä pidentyy. Jos tekijä ei vaikuta rakenteen suunnittelukäyttöikään käytetään kerrointa 1. Tästä poiketen pakkas-sulamisrasitukselle altistuvan rakenteen suunnittelukäyttöikä lasketaan P-luvun avulla. Rakenteen kuuluessa kahteen tai useampaan rasitusluokkaan valitaan suunnittelukäyttöiästä lyhin määrääväksi.

Rakennesuunnittelussa käytetään suunnittelukuormia, joiden tarkoitus on ottaa huomioon rakenteelle kohdistuva kuorma sen käyttöiän ajan. Kuitenkin ilmaston muuttuessa ympäristön aiheuttamat kuormat saattavat muuttua. Tällaisia kuormia ovat lumi- ja tuulikuorma. Ilmaston oletetaan lämpenevän, jolloin Pohjois-Suomessa lumikuorma kasvaa ja Etelä-Suomessa se pienenee nykyisestä. Puolestaan tuulennopeuden oletetaan kasvavan koko Suomessa, jolloin rakenteiden tuulikuormat kasvavat. Tämän takia ympäristön aiheuttamaa kuormaa tulee korottaa 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä kertoimella 1,1 ja 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä kertoimella 1,2.

## **ALKUSANAT**

Tämä kandidaatintyö tehtiin Tampereen teknillisessä yliopistossa. Haluan kiittää erityisesti kandidaatintyöni ohjaajaa Jukka Lahdensivua työn ohjauksesta. Lisäksi kiitokset pienryhmälleni, joka motivoi ja kannusti aikataulussa pysymiseen. Myös perheeni ja ystäväni ansaitsevat kiitoksen tuestaan.

Tampereella, 27.5.2018

Eveliina Paavonen

## SISÄLLYSLUETTELO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | JOHDANTO .....  | 1  |
| 2.    | RAKENTEEN KÄYTTÖIKÄ .....   | 2  |
| 2.1   | Rakenteen käyttöiän määrittäminen .....   | 2  |
| 2.2   | Rakenteen käyttöiän valinta .....   | 3  |
| 2.3   | Käyttöiän huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa.....                                   | 4  |
| 3.    | TERÄSBETONIRAKENTEEN ELINKAARI.....   | 5  |
| 3.1   | Teräsbetonirakenteiden yleisimmät vaurioitumismekanismit.....                             | 5  |
| 3.1.1 | Betonin karbonatisoituminen .....   | 5  |
| 3.1.2 | Betonin pakkasrapautuminen.....   | 6  |
| 3.1.3 | Kloridien aiheuttama korroosio betoniteräksissä.....                                      | 6  |
| 3.2   | Rasitusluokat .....   | 6  |
| 4.    | TAULUKKOMENETELMÄ KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELUSSA.....  | 12 |
| 4.1   | Rakenteen betonipeitteen määrittäminen .....  | 12 |
| 4.2   | Betonin lujuuden valinta .....  | 15 |
| 4.3   | Betonin halkeilu .....  | 18 |
| 5.    | LASKENNALLINEN MENETELMÄ KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELUSSA .....                                    | 19 |
| 5.1   | Käyttöiän määrittäminen karbonatisoitumisen suhteen .....                                 | 19 |
| 5.2   | Käyttöiän määrittäminen pakkasrasituksen suhteen .....                                    | 26 |
| 5.3   | Käyttöiän määrittäminen suola-pakkasrasituksen suhteen.....                               | 32 |
| 6.    | ILMASTON RASITUKSEN JA KUORMIEN MUUTTUMISEN HUOMIOON OTTAMINEN RAKENNESUUNNITTELUSSA..... | 34 |
| 6.1   | Betonirakenteeseen kohdistuvan ilmastorastituksen huomiointi .....                        | 34 |
| 6.2   | Rakennesuunnittelussa huomioon otettavat luonnonkuormat.....                              | 35 |
| 6.3   | Rakennesuunnittelussa huomioon otettavat muut suunnittelukuormat.....                     | 37 |
| 7.    | YHTEENVETO .....  | 38 |
|       | LÄHTEET.....  | 40 |

# 1. JOHDANTO

Rakennuksen tilaaja voi määrittää rakennukselle tavoiteltavan käyttöiän. Usein tilaaja haluaa mahdollisimman pitkäikäisen rakennuksen, jolloin investointi koetaan kannattavampana. Asuinrakentamisessa käyttöiän pidentämistä tukee se, että asuinrakennuksen käyttötarkoitus pysyy yleensä samana koko rakennuksen käyttöiän ajan. Rakennettaessa kasvukeskuksiin uskotaan myös asuinrakennuksen tarpeen kestävän koko elinkaaren ajan.

Yleensä asuinrakennuksen käyttöiäksi valitaan 50 tai 100 vuotta. Kuitenkin yhä useammin käyttöiäksi halutaan jopa 200 vuotta. Rakennesuunnittelun perusarvot lähtevät 50 vuoden suunnittelukäyttöiästä. Käyttöiän ollessa pidempi kuin 50 vuotta tulee rakennesuunnittelussa ottaa huomioon rakenteiden aikakestävyys. Rakenteiden tulee siis kestää tietyllä varmuudella niihin kohdistuvissa olosuhterakenteissa riittävän pitkän ajan. Ongelmana on rakenteiden aikakestävyys huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa. Työn tavoitteena on tutkia kirjallisuudesta ratkaisua ongelmaan.

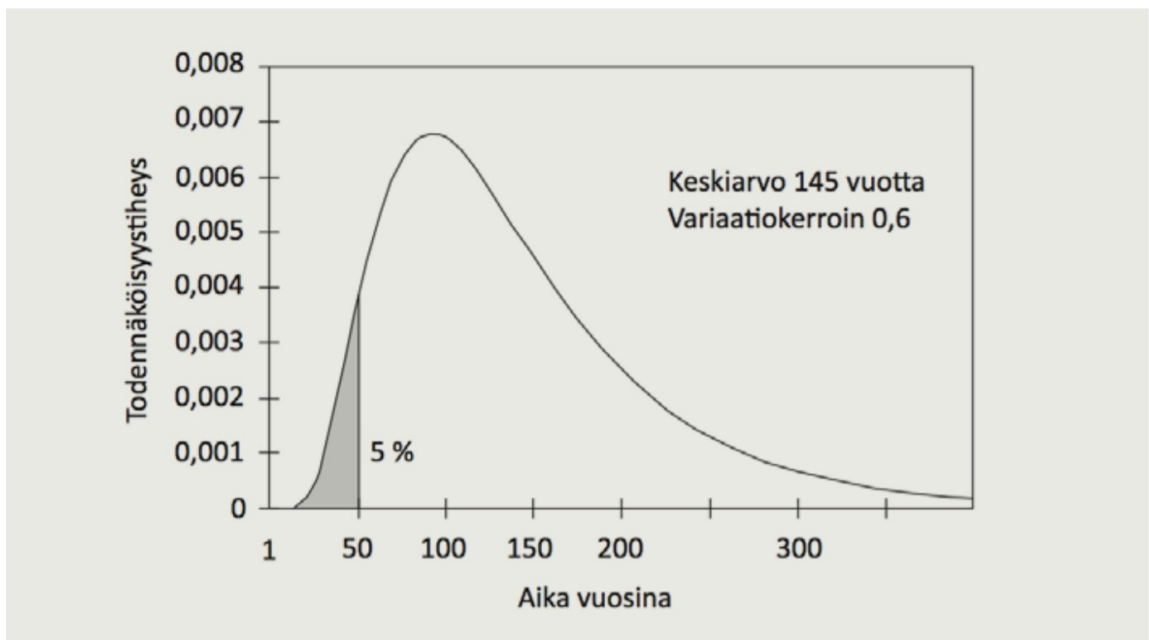
Tässä työssä aihe on rajattu niin, että keskitytään ainoastaan Suomeen rakennettaviin uusiin teräsbetonirakenteisiin asuinrakennuksiin. Pääasiassa työssä käsitellään paikallavalettuja rakenteita. Luvussa 2 käsitellään käyttöiän määrittämistä ja valintaan liittyviä asioita. Käyttöikäsuunnittelun pohjana voidaan pitää todennäköisyyttä rakenteiden vaurioitumiselle ja toisaalta vaurioitumisen ennaltaehkäisemistä. Betonin vaurioitumismekanismien ja ympäristöstä aiheutuvia raskaita kuormia käsitellään luvussa 3. Varsinaiseen käyttöikäsuunnitteluun perehdytään luvussa 4, jossa käsitellään 50 ja 100 vuoden suunnittelukäyttöiälle soveltuvaa taulukkomitoitusta. Luvussa 5 puolestaan perehdytään suunnittelukäyttöiän laskennalliseen määrittämiseen, jota on mahdollista käyttää suunnittelukäyttöiän ollessa 200 vuotta. Rakenteiden määrittämisessä käytetään ympäristöolosuhteista aiheutuvia kuormia. Luvussa 6 pohditaan näitä ympäristön ja sen aiheuttamien kuormien muuttumiseen liittyviä asioita. Työn johtopäätökset kerätään yhteen luvussa 7.

## 2. RAKENTEEN KÄYTTÖIKÄ

Pentti (1994, s. 67–83) määrittelee käyttöiän aikana, jonka rakennusosa normaalisti hoidettuna täyttää sille asetetut vaatimukset tärkeimmiltä ominaisuuksiltaan. Rakenteen tärkeimpinä ominaisuuksina pidetään kantavuutta, terveellisyyttä ja turvallisuutta. Rakennuksen käyttöikäksi voidaan myös määrittää aika, jonka se on käytössä. (Pentti 1994, s. 67–83)

### 2.1 Rakenteen käyttöiän määrittäminen

Johansson ja Mannonen (2016, s. 15) esittävät rakennuksen tai yksittäisen rakennusosan käyttöiän jakauman noudattavan log-normaalia käyrää. Kuvassa 1 on esitetty käyttöiän log-normaalijakauma. Käyttöiän jakauman mukaan rakenteelle tai koko rakennukselle määritelty suunnittelukäyttöikä oletetaan saavutettavan 95 %:n todennäköisyydellä (Johansson & Mannonen 2016, s. 15). Punkki (2017, s. 8) selittää, että todennäköisyys rakenteen vaurioitumiselle ennen suunnittelukäyttöiän päättymistä on 5 %. Toisin sanoen, jos rakennettaisiin 20 samanlaista rakennetta, niistä yksi olisi uusittava tai korjattava suunnittelukäyttöiän päättyessä.



**Kuva 1.** Rakennuksen käyttöiän log-normaalijakauma (Punkki 2017, s. 8).

Sarjan (2013, s. 48) mukaan rakenteen todellinen käyttöikä päättyy usein rakenteen vaurioituessa tai vanhanaikaistuessa. Julkaisun by50 Betoninormit (Suomen Betoniyhdistys

2012, s. 87) mukaan 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä rakenteen todellisen käyttöiän keskiarvo on 145 vuotta. Rakennuksen suunnittelukäyttöikä on siis suuntaa antava eikä sitä tule ottaa liian kirjaimellisesti (Punkki 2017, s. 33). Pitkäikäisimmät 50 vuoden käyttöiälle suunnitellut rakennukset kestävät käyttökelpoisina 300 vuotta (Punkki 2017, s. 8). Rakennuksen suunnittelukäyttöiän päätyttyä rakennuksen käyttökelpoisuus ei muutu, mutta korjaustarpeen määrä voi lisääntyä. Rakennuksen käyttöikää voidaan pidentää korjaamalla tai uusimalla käyttöikänsä päähän tulleet rakenteet. Esimerkiksi 50 vuoden käyttöiälle suunniteltua rakennusta voidaan käyttää jopa yli 500 vuotta. (Punkki 2017, s. 33)

## 2.2 Rakenteen käyttöiän valinta

Rakennuksen tavoitekäyttöiän valitsee usein tilaaja. Valintaan vaikuttavat merkittävästi rakennuksen käyttötarkoitus ja sille asetetut tavoitteet. Tavoitekäyttöikä tulee määrittää jokaiselle rakennuskohteelle yksilöllisesti. (Punkki 2017, s. 32) Tilaaja saa siis määrittää kohteen tavoitekäyttöiän haluamukseen.

Tavoitekäyttöiän perusteella suunnittelija määrittää rakennuksen ja rakenteiden suunnittelukäyttöiät. Rakennuksen eri rakenteilla voi olla eripituisia käyttöikä. (Punkki 2017, s. 32) Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (2016, s. 12) kehoitetaan suunnittelemaan perustukset ja muut hankalasti uusittavat rakenteet pidemmälle suunnittelukäyttöiälle kuin muu rakennus. Puolestaan helposti vaihdettavien tai korjattavien rakenteiden suunnittelukäyttöikä saa olla lyhempi kuin koko rakennuksen suunnittelukäyttöikä (Punkki 2017, s. 32). Sarjan mukaan (2013, s. 44) rakennuksen suunnittelukäyttöiän ollessa 50, suositellaan rakennuksen kantavan rungon ja perustuksien suunnittelukäyttöiksi 100 vuotta. Rakennuksen ulkoseinän ulkopinta voidaan suunnitella lyhemmälle suunnittelukäyttöiälle kuin sisäpinta (Sarja 2013, s. 44). Näin ollen rakennuksen ulkopuoliset osat, kuten julkisivut ja parvekkeet, suunnitellaan usein 50 vuoden suunnittelukäyttöiälle. Yksittäisen rakenteen suunnittelukäyttöiän pituuden valintaan vaikuttavat siis merkittävästi rakenteen korjauskustannukset ja -mahdollisuudet.

Suunnittelukäyttöiälle käytetään usein normaalitason mukaisia arvoja, joita ovat 50, 100 ja 200 vuotta (Punkki 2017, s. 33). Tarkemman suunnittelukäyttöiän käyttö ei ole tarpeen (Punkki 2017, s. 33), koska suunnittelukäyttöiän laskentaan sisältyy paljon hajontaa (Punkki 2017, s. 9). Betonirakenteen suunnittelukäyttöikä ei saa olla enempää kuin 200 vuotta (Suomen betoniyhdistys 2012, s. 223). On kuitenkin huomioitava, että käyttöiän mitoittaminen liian pitkäksi saattaa aiheuttaa rakenteen laadun heikkenemistä, kuten halkeilua (Punkki 2016, s. 29). Esimerkiksi ulkotilaan käytettävä 100 vuoden suunnittelukäyttöiälle valmistettu betoni on vaikea työstää työmaalla, koska lujan ja rasisista kestävä betonin massa on jäykkää. Tällöin betonoinnin laatu ei välttämättä ole halutun mukaista. Myös P-luku betoneissa silloissa ja Turun yliopistollisen keskussairaalan T3-sairaalassa ilmenneet lujuusongelmat ovat hyvä esimerkki kovettuneen betoni laadun heikkenemisestä.

## 2.3 Käyttöiän huomioon ottaminen rakennesuunnittelussa

Suomessa on vaadittu vuodesta 2005 lähtien betonirakenteen käyttöikäsuunnittelun huomioonottamista rakennesuunnittelussa (Punkki 2017, s. 7). Käyttöikämitoituksessa otetaan huomioon rakenteen säilyvyyteen liittyvät asiat kestävyuden kannalta (Punkki 2017, s. 8). Käyttöikäsuunnittelu perustuu suunnittelukäyttöikään, jonka ajan rakenteen tulee kestää 95 % todennäköisyydellä suunnittelun mukaisissa olosuhteissa (Punkki 2017, s. 9). Johansson & Mannonen (2016, s. 15) kirjoittavat suunnittelukäyttöiän saavuttamisen vaativan rakenteen normaalia kunnossapitoa. Rakennepiirustuksiin tulee merkitä rakenteen suunnittelukäyttöiän pituus (Punkki 2017, s. 7).

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 17 luvun ja 117 a pykälän perusteella rakennuksen suunnittelu on tehtävä niin, että rakenteet kestävät rakennuksen suunnittelukäyttöiän ajan ja soveltuvat rakennuspaikan olosuhteisiin. Suunnittelussa on otettava huomioon, että rakennukseen kohdistuva kuormitus ei aiheuta sortumia, lujuteen tai vakauteen vaikuttavia muodonmuutoksia eikä synnytä vaurioita rakenteen muihin osiin (MRL 17 luku 117 a §). Rakenteen suunnittelukäyttöiän ollessa lyhyempi kuin koko rakennuksen suunnittelukäyttöikä tulee suunnittelussa ottaa huomioon, että rakenteen kunnan tarkastus- ja korjaustoimenpiteet on mahdollista tehdä kohtuullisilla kustannuksilla (Pentti 1994, s. 69). Punkki (2017 s. 33) korostaa, että 200 vuoden suunnittelukäyttöikää käytettäessä tulee ottaa huomioon rakennusmateriaalien kehitys, jonka vuoksi saatetaan haluta uusia rakenteen materiaaleja, kuten lämmöneriste.

Uudisrakentamisessa käyttöikäsuunnittelun tulisi perustua sopivien betonimateriaali- ja rakenneparametrien valintaan. Pidemmän suunnittelukäyttöiän saavuttamiseksi voidaan käyttää erilaisia pinnoitteita, mutta niiden käytössä tulee ottaa huomioon pinnoitteen kunnossapidosta syntyvät epävarmuustekijät. (Johansson & Mannonen 2016, s. 141) Standardin SFS-EN 1992-1-1 (2015, s. 47) mukaan suojaavan rakenteen toteutuksessa tulee ottaa huomioon rakenteen kunnossapito-ohjelma ja käyttötarkoitus. Suunnittelukäyttöiän aikana rakenteelle tulee tehdä säännöllisiä tarkastuksia ja huoltokorjauksia, jotta suunnittelukäyttöikä saavutetaan. Nämä huoltotoimenpiteet tulee aikatauluttaa ja liittää rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen, jolloin rakennuksen omistajalla on tieto tarvittavista toimenpiteistä. (Suomen betoniyhdistys 2012, s. 223)



## 3. TERÄSBETONIRAKENTEEN ELINKAARI

Rakenteen tai koko rakennuksen käyttöiän päättymisen aiheuttaa rakenteen vaurioituminen tai vanhanaikaistuminen. Rasittavissa ympäristöolosuhteissa olevat rakennuksen perustukset ja vaippa ovat erityisen alttiita vaurioitumiselle. Toisaalta rakennuksen runko sijaitsee usein kuivissa sisätiloissa, jolloin ympäristörasitukset ovat vähäisiä. (Sarja 2013, s. 49) Rakennetta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon rakenteeseen kohdistuvat ympäristörasitukset (MRL 17 luku 117 a §). Tämän takia on tunnettava yleisimmät asuinrakennuksen betonirakenteen vaurioitumismekanismit.

### 3.1 Teräsbetonirakenteiden yleisimmät vaurioitumismekanismit

#### 3.1.1 Betonin karbonatisoituminen

Lahdensivu et al. (2013, s. 22) määrittelee betonin karbonatisoitumisen aiheutuvan ilman hiilidioksidista  $CO_2$ . Karbonatisoituminen on betonin neutraloitumisreaktiota, jossa betonin pH-arvo laskee noin 8,5:een. Karbonatisoituminen etenee betonin ulkopinnasta tasona kohti betonin sisäosia. Karbonatisoitumisen etenemisnopeus hidastuu tasaisesti. (Lahdensivu et al. 2013, s. 22) Karbonatisoitumisvyöhykkeen saavuttaessa betoni-teräkset, voi niiden korroosio alkaa (Lahdensivu et al. 2013, s. 20).

Karbonatisoitumisen etenemisnopeuteen vaikuttavat betonirakenteen pinnan diffuusiovastus, ympäröivän ilman hiilidioksidipitoisuus ja karbonatisoituvan aineen määrä. Huokoiseen betoniin tunkeutuu helpommin hiilidioksidia kuin tiiviiseen betoniin. Betonin halkeamat nopeuttavat paikallisesti karbonatisoitumisen etenemistä. (Lahdensivu et al. 2013, s. 22) Toisaalta betonin sisältämä kosteus estää hiilidioksidin tunkeutumista betoniin ja hidastaa karbonatisoitumisen etenemistä (Lahdensivu et al. 2013, s. 23).

Karbonatisoitumista esiintyy siis rakenteissa, jotka ovat alttiita hiilidioksidia sisältävälle ulkoilmalle. Karbonatisoitumista voidaan hidastaa valitsemalla sopiva vesisementtisuhte. Alemmalla vesisementtisuhteella saadaan lujempaa ja tiiviimpää betonia. Myös betonin jälkihoidolla on merkitystä karbonatisoitumisen etenemisnopeuteen. (Lahdensivu 2013, s. 22) Betonirakenteen mahdollinen pinnoittaminen tai päällystäminen saattaa hidastaa betonin karbonatisoitumista rakenteen pinnan hiilidioksidin läpäisevyydestä riippuen (Lahdensivu et al. 2013, s. 24).

### 3.1.2 Betonin pakkasrapautuminen

Pakkasrasituksen aiheuttaa betonin huokosrakenteessa olevan veden jääytymisestä. Veden tilavuus kasvaa jäätyessä noin 9 %. Jäätyessään laajentuva vesi aiheuttaa betonin huokosverkostoon painetta, joka aiheuttaa betoniin sisäisiä halkeamia. (Lahdensivu et al. 2013, s. 29) Betonin pakkasräöily heikentää betonin lujuutta ja raudoitusten tartuntaa (Lahdensivu et al. 2013, s. 32).

Kun betoniin lisätään halkaisijaltaan 0,15 mm kokoisia suojahuokosia, veden jääytymisen aiheuttama paine pääsee purkautumaan ilmatäytteisiin huokosiin (Lahdensivu et al. 2013, s. 29). Ilmahuokosten suurin sallittu huokosjako on 0,25 mm, jolloin jääytymisestä aiheutuva vedenpaine ehtii purkautumaan suojahuokoseen. Tällöin suojahuokosten välimatka on suurimmillaan 0,5 mm. (Lahdensivu et al. 2013, s. 30) Betonin tiiviyyttä kasvattamalla betonin vedenimukyky pienenee ja betonissa olevan jäätyvän veden määrä on pienempi (Lahdensivu et al. 2013, s. 31).

### 3.1.3 Kloridien aiheuttama korroosio betoniteräksissä

Betonin raudoitteiden korroosio voi alkaa kloridien takia myös betonissa, joka ei ole karbonatisoitunut. Kun betonissa on enemmän kuin 0,03–0,07 p-% klorideja, voi teräksissä syntyä korroosiota. Kloridipitoisessa betonissa korroosio esiintyy pistemäisenä. Etenkin kovettuneeseen betoniin tunkeutuneet kloridit aiheuttavat usein voimakasta paikallista korroosiota. (Lahdensivu et al. 2013, s. 25)

Jäänsulatussuolojen ja meriveden rasituksen takia betoniin voi päästä klorideja. Kloridien aiheuttama terästen korroosio ei useinkaan näy rakenteen ulkopuolelta. Betonin karbonatisoituminen lisää terästen korroosiota, koska betonin karbonatisoituessa sementtiin sitoutuneita klorideja vapautuu huokosveteen. (Lahdensivu et al. 2013, s. 25)

## 3.2 Rasitusluokat

Standardin SFS-EN 1992-1-1 (2012, s. 47) mukaan rasitusluokat perustuvat rakenteen ympäristöolosuhteisiin. Mekaanisten kuormien lisäksi rakennetta voi kuormittaa ympäristöolosuhteet, jotka ovat kemiallisia tai fysikaalisia. Kemiallisen rasituksen voi aiheuttaa esimerkiksi sulfaattisuolat, rakenteessa varastoitavat nesteet tai betoniin tunkeutuneet kloridit. Puolestaan fysikaalisia rasituksia voivat aiheuttaa lämpötilan muutokset, kulutus ja vedentunkeutuminen betoniin. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 47) Asuinrakennuksissa vaikuttavat usein fysikaaliset rasitukset. Kuitenkin joissain tilanteissa voi esiintyä myös kemiallisia rasituksia, jolloin ne on otettava huomioon rakennesuunnittelussa. Rakenteeseen ympäristöstä kohdistuvat rasitukset vaikuttavat rakennesuunnittelussa

tehtäviin materiaali- ja rakennevalintoihin. Suunnittelussa käytetyt rasitusluokat tulee merkitä rakennepiirustuksiin (Punkki 2017, s. 7).

Tarkemmin jaoteltuna betonirakenteen rasiustekijöitä ovat karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, kloridien aiheuttama korroosio, merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio, jäätymis- ja sulamisrasitus sekä kemiallinen rasitus (Johansson & Mannonen 2016, s. 16). Näiden rasiustekijöiden mukaan on jaoteltu rasitusluokat. Taulukoissa 1, 2, 3 ja 4 on esitetty ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasitusluokat rasiustekijöiden mukaan.

Standardin EN 206 (2016, s. 21) mukaan rakenne voi kohteesta riippuen kuulua useampaan rasitusluokkaan, jos rakenteen ympäristöolosuhteet niin vaativat. On myös mahdollista, että rakenteen pinnoille kohdistuvat rasitukset ovat erilaisia. (EN 206 2016, s. 21) Tämän kaltaisissa tilanteissa suunnittelussa tulee ottaa huomioon kaikkien rasitusluokkien rakenteelle asettamat vaatimukset (Johansson & Mannonen 2016, s. 16). Rasitusluokituksen rinnalla suunnittelussa voidaan tarvittaessa ottaa huomioon kohteelle ominaiset erikoisrasitukset (EN 206 2016, s. 21).

Kun rakenteeseen kohdistuu rasitusta hiilidioksidista, rasitusluokka valitaan taulukon 1 mukaisesti. Rasitusluokkaan X0 kuuluvaa betonia voidaan käyttää kuivissa sisätiloissa, jos rakenteessa ei ole raudoitusta (Punkki 2016, s. 54–56). Kuitenkin rakenteissa on usein vähintään halkeilua estävä raudoitus, joten rasitusluokan X0 käyttö on harvinaista. Toisaalta (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18) mukaan rasitusluokkaa X0 voidaan käyttää hyvin kuivissa olosuhteissa. Punkki (2016, s. 54–56) luokittelee asuinrakennuksen sisätiloissa sijaitsevat välipohja- ja väliseinärakenteet rasitusluokkaan XC1. Muita karbonatisoitumiselle altistuvia rasitusluokkiin XC kuuluvia rakenteita ovat ulkoseinät, alapohjat, sokkelit ja anturat.

**Taulukko 1.** Rakenteen ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasisitusluokat karbonatisoitumisen perusteella. (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18).

| Luokan merkintä  | Ympäristön kuvaus   | Esimerkkejä   |
|--|---|---|
| <b>Ei korroosion tai rasisituksen riskiä</b>                 |   |   |
| X0   | Raudoittamaton ja metalliosia sisältämätön betoni: ympäristöt, joissa ei esiinny jäädytys-sulatus-, kulutusrasitusta tai kemiallista rasisitusta. Raudoitettu tai metallia sisältävä: hyvin kuiva | Betoni sisätiloissa hyvin alhaisessa ilman kosteudessa. Kuivat lämmitetyt sisätilat.  |
| <b>Karbonatisoitumisen vaikutuksista aiheutuva korroosio</b> |   |   |
| XC1  | Kuiva tai pysyvästi märkä   | Betoni sisätiloissa alhaisessa ilman kosteudessa. Pysyvästi veden alla oleva betoni. Kylpyhuoneet ja porraskäytävät.                    |
| XC2  | Märkä, harvoin kuiva  | Pitkään veden kanssa kosketuksissa oleva betoni. Usein perustukset.   |
| XC3  | Kohtalaisen kostea  | Betoni sisätiloissa kohtalaisessa tai korkeassa ilman kosteudessa. Ulkona sateelta suojattu betoni.                                     |
| XC4  | Märkä ja kuiva vaihtelevat  | Veden kanssa kosketuksissa oleva betoni, joka ei kuulu rasisitusluokkaan XC2. Parveke- laatat, sateelle alttiit julkisivut ja sokkelit. |

Taulukossa 2 on esitetty rasisitusluokkia rakenteille, jotka altistuvat joko meriveden sisältämille klorideille tai muista lähteistä peräisin oleville klorideille. Tyypilliseen asuinrakennukseen ei juurikaan kohdistu taulukon 2 mukaisia kloridirasituksia, koska klorideille altistuvat rakenteet ovat usein rakennuksen ulkopinnassa. Tällöin rakenteeseen kohdistuu myös pakkasrasitusta, jolloin rasisitusluokka valitaan taulukosta 3.

**Taulukko 2.** Rakenteen ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasitusluokat kloridirasituksen mukaisesti. (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18)

| Luokan merkintä  | Ympäristön kuvaus                                       | Esimerkkejä  |
|--|---|--|
| <b>Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b> |   |  |
| XD1  | Kohtalaisen kosteaa                                     | Ilman sisältämille klorideille altistuva betoni.   |
| XD2  | Märkä, harvoin kuiva                                    | Uima-altaat  |
| XD3  | Märkä ja kuiva vaihtelevat                              | Suoloja sisältäville roiskeille tai suolaukselle alttiit pinnat. Pysäköintitasot ja lämmitetyt autotallit. |
| <b>Meriveden kloridien aiheuttama korrosio</b>           |   |  |
| XS1  | Ilman kuljettama suola, ei suoraa kosketusta meriveteen | Rakenteet avomeren rannalla.   |
| XS2  | Pysyvästi vedenalla                                     | Merirakenteiden osat   |
| XS3  | Vuorovesi tai roiskeet                                  | Merirakenteiden osat   |

Jäätymis-sulamisrasitukselle alttiin rakenteen rasitusluokka valitaan taulukosta 3. Rakennuksen ulkokuoren rakenteet altistuvat pakkaselle, joten niiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon jäätymisen aiheuttama rasitus. Rasitusluokkien XF mukaista pakkasrasitusta esiintyy ulkoseinän ja sokkelin ulkopinnoissa sekä parvekelaatoissa. Sokkelin ulkokuoreen saattaa kohdistua rasitusluokan XF2 mukainen rasitus, jos se sijaitsee alle 2 metrin etäisyydellä suolattavasta ajotiestä. (Punkki 2016, s. 54–56)

**Taulukko 3.** Rakenteen ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasitusluokat jäädytys-sulatusrasituksen mukaisesti. (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18)

| Luokan merkintä                | Ympäristön kuvaus   | Esimerkkejä  |
|--------------------------------|---|--|
| <b>Jäädytys-sulatusrasitus</b> |   |  |
| XF1                            | Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita    | Sateelle ja jäätymiselle alttiit pystysuorat betonipinnat. Julkisivut ja sokkelit.               |
| XF2                            | Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet        | Pystysuorat betonipinnat, jotka ovat alttiita vedelle ja ilman kuljettamille jäänsulatusaineille |
| XF3                            | Suuri vedellä kyllästymisaste ilman jäänsulatusaineita        | Sateelle ja jäätymiselle alttiit vaakasuorat betonipinnat. Parvekkeet.                           |
| XF4                            | Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi | Jäänsulatusaineille tai merivedelle ja vedelle alttiit vaakasuorat betonirakenteet.              |

Rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös rakenteeseen mahdollisesti kohdistuva kemiallinen rasitus (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 48). Kemiallinen rasitus voi kohdistua rakenteeseen esimerkiksi luonnon maaperästä tai pohjavedestä (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18). Kemialliselle rasitukselle alttiille rakenteelle valittavat rasitusluokat on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Rakenteen ympäristöolosuhteisiin perustuvat rasitusluokat kemiallisen rasituksen perusteella. (Johansson & Mannonen 2016, s. 16–18)

| Luokan merkintä            | Ympäristön kuvaus                          | Esimerkkejä  |
|----------------------------|--|--|
| <b>Kemiallinen rasitus</b> |  |  |
| XA1                        | Kemiallisesti heikosti aggressiivinen      | Luonnon maaperästä ja pohjavedestä kohdistuva rasitus. |
| XA2                        | Kemiallisesti kohtalaisesti aggressiivinen | Luonnon maaperästä ja pohjavedestä kohdistuva rasitus. |
| XA3                        | Kemiallisesti voimakkaasti aggressiivinen  | Luonnon maaperästä ja pohjavedestä kohdistuva rasitus. |

Rakenteelle tulee valita rasitusluokka, joka vastaa mahdollisimman hyvin kohteen ympäristön rasituksia. Jos valittu rasitusluokka ylimitoitetaan rakenteen ympäristöolosuhteisiin nähden, saattaa rakennuskustannukset nousta korkeammiksi. Esimerkiksi betonimassan hankalan käsiteltävyyden tai suuremman materiaalimenekin takia. Ylimitoitet-

tu rasitusluokka saattaa aiheuttaa myös rakenteen laadun heikkenemistä, kuten halkeilua. (Punkki 2016, s. 29)

## 4. TAULUKKOMENETELMÄ KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELUSSA

Taulukkomenetelmää voidaan hyödyntää tilanteissa, joissa suunnittelukäyttöikä on joko 50 tai 100 vuotta (Johansson & Mannonen 2016, s. 21). Menetelmää ei siis voida käyttää rakenteille, joiden suunnittelukäyttöikä on yli 100 vuotta. Tästä poikkeuksena rasi- tusluokkiin X0 ja XC1 kuuluvien rakenteiden käyttöikämitoitus voidaan tehdä tauluk- komitoituksena aina 200 vuoden suunnittelukäyttöikästä asti (Johansson & Mannonen 2016, s. 39). Näihin rasi- tusluokkiin kuuluvia rakenteita ovat vähäiselle rasitukselle altis- tuvat rakenteet, jotka sijaitsevat lämpimissä sisätiloissa (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 48). Taulukkocomitoituksella ei ole mahdollista suunnitella optimaalista rakennetta (Punkki 2017, s. 11).

Betonirakenteiden rasi- tusluokkien mukaan on taulukoihin määritelty suunnittelupara- metrien vähimmäis- ja enimmäisarvoja. Taulukoissa keskitytään betonin koostumuk- seen, kuten vesi-sementtisuhteeseen, raudoitteita suojaavaan betonipeitteeseen ja raken- teiden halkeiluun. Rakenteen voidaan olettaa kestävän sille asetetut suunnittelukäyt- töikävaatimukset, kun se täyttää taulukoissa eritellyt rakenteen vähimmäis- ja enim- mäisvaatimukset. (Johansson & Mannonen 2016, s. 21) Yksinkertaistetusti taulukkomi- toitus perustuu taulukoihin, joiden parametrejä käytetään rakenteiden mitoituksessa.

### 4.1 Rakenteen betonipeitteen määrittäminen

Betonipeitteellä eli suojabetonilla tarkoitetaan betonin ulkopinnan etäisyyttä ulkopintaa lähinnä olevan raudoitteen ulkopinnasta. Tämä raudoite on usein hakaraudoite tai pinta- raudoite. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 49) Betonipeitteen määrittämisessä otetaan huomi- oon myös mahdolliset työteräkset (Johansson & Mannonen 2016, s. 21). Betonipeitteen on tarkoitus suojata betoniteräksiä korroosiolta. Betonipeitteen suojaavuuteen vaikutta- vat tiheys, laatu ja paksuus. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 47) Betonipeitteen nimellisarvo  $c_{nom}$  määritellään betonipeitteen minimiarvon  $c_{min}$  ja mittatarkkuudesta aiheutuvan be- tonipeitteen poikkeaman  $\Delta c_{dev}$  avulla

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}. \quad (1)$$

Rakenteessa betonipeitteen tulee olla vähintään minimiarvon  $c_{min}$  suuruinen. Betoni- peitteen minimiarvon  $c_{min}$  määrittämisessä tulee huomioida terästen tartunta betoniin, te- rästen korroosiosuojaus ja rakenteen palonkestävyys. (Johansson & Mannonen 2016, s.



22) Betonipeitteen minimiarvo  $c_{min}$  määritetään kaavalla (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 49)

$$c_{min} = maks\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{ mm}\}, \quad (2)$$

jossa  $c_{min,b}$  on tartuntavaatimuksista riippuva betonipeitteen minimiarvo,  $c_{min,dur}$  on ympäristöolosuhteista riippuva betonipeitteen minimiarvo,  $\Delta c_{dur,\gamma}$  on lisävarmuustermi,  $\Delta c_{dur,st}$  on ruostumattoman teräksen käytöstä aiheutuva betonipeitteen minimiarvon pienennys ja  $\Delta c_{dur,add}$  on lisäsuojauksesta aiheutuva betonipeitteen minimiarvon pienennys. Kaavan (2) mukaan betonipeitteen minimiarvoksi  $c_{min}$  valitaan suurin mahdollinen minimiarvo, joka on vähintään 10 mm. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 49)

Betonipeitteen ympäristöolosuhteista aiheutuva minimiarvo  $c_{min,dur}$  saadaan rakenteen rasitus- ja vaatimusluokkien mukaan. Vaatimusluokan määrittämisessä käytetään apuna taulukkoa 5. Suunnittelukäyttöään ollessa 50 vuotta betonirakenteen suositeltu vaatimusluokka on S4. Vaatimusluokka S1 on vähäisin mahdollinen vaatimusluokka, kun taas vaatimusluokka S6 on vaativin. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 50)

**Taulukko 5.** Vaatimusluokan määrittäminen. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 50)

| Kriteeri   | Rasitusluokka                        |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|  | X0                                   | XC1                                  | XC2/XC3                              | XC4                                  | XD1                                  | XD2/XS1                              |
| 100 vuoden suunniteltu käyttöikä                           | luokan nosto 2:lla                   | luokan nosto 2:lla                   | luokan nosto 2:lla                   | luokan nosto 2:lla                   | luokan nosto 2:lla                   | luokan nosto 2:lla                   |
| Lujuusluokka   | $\geq C30/37$<br>luokan las-ku 1:llä | $\geq C30/37$<br>luokan las-ku 1:llä | $\geq C35/45$<br>luokan las-ku 1:llä | $\geq C40/50$<br>luokan las-ku 1:llä | $\geq C40/50$<br>luokan las-ku 1:llä | $\geq C40/50$<br>luokan las-ku 1:llä |
| Laattamainen rakenneosa                                    | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  |
| Betonin valmistuksen erityinen laaduntarkastus varmistettu | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  | luokan las-ku 1:llä                  |

Rakenteen betonipeitteen minimiarvo säilyvyyden kannalta saadaan edellä määritellyn vaatimusluokan ja rasitusluokan mukaan taulukosta 6, jos rakenteen betoniteräksiset ovat standardin EN 10800 mukaisia. Taulukossa 6 esitettävät arvot eivät päde ruostumattomille betoniteräksille.

**Taulukko 6.** Betonipeitteen minimiarvovaatimus  $c_{min,dur}$  [mm] betoniteräksillä. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 51)

| <b>Betonipeitteen paksuus [mm] betoniteräksillä</b> |                      |            |                |            |                |
|---|----------------------|------------|----------------|------------|----------------|
| <b>Vaatimusluokka</b>                               | <b>Rasitusluokka</b> |            |                |            |                |
|   | <b>X0</b>            | <b>XC1</b> | <b>XC2/XC3</b> | <b>XC4</b> | <b>XD1/XS1</b> |
| S1  | 10                   | 10         | 10             | 15         | 20             |
| S2  | 10                   | 10         | 15             | 20         | 25             |
| S3  | 10                   | 10         | 20             | 25         | 30             |
| S4  | 10                   | 15         | 25             | 30         | 35             |
| S5  | 15                   | 20         | 30             | 35         | 40             |
| S6  | 20                   | 25         | 35             | 40         | 45             |
| <b>Betonipeitteen paksuus [mm] jänneteräksillä</b>  |                      |            |                |            |                |
| <b>Vaatimusluokka</b>                               | <b>Rasitusluokka</b> |            |                |            |                |
|   | <b>X0</b>            | <b>XC1</b> | <b>XC2/XC3</b> | <b>XC4</b> | <b>XD1/XS1</b> |
| S1  | 10                   | 15         | 20             | 25         | 30             |
| S2  | 10                   | 15         | 25             | 30         | 35             |
| S3  | 10                   | 20         | 30             | 35         | 40             |
| S4  | 10                   | 25         | 35             | 40         | 45             |
| S5  | 15                   | 30         | 40             | 45         | 50             |
| S6  | 20                   | 35         | 45             | 50         | 55             |

Taulukon 6 perusteella jänneteräksiset rakenteet tarvitsevat paksumman betonipeitteen kuin betoniteräksiset rakenteet säilyäkseen rasitusluokkansa mukaisissa olosuhteissa. Jänneteräksen ollessa alttiimpi korroosiolle, sen säilyvyyttä saadaan parannettua suurentamalla betonipeitteen paksuutta.

Toisaalta käyttöikäsuunnittelussa voidaan käyttää vielä yksinkertaisempaa mitoituslaskukkoa. Betoninormeissa 2016 esitetään taulukko, josta pystytään määrittämään suoraan ympäristöolosuhteista aiheutuva betonipeitteen minimiarvo  $c_{min,dur}$  ilman vaatimusluokan valintaa. Määrittäminen tehdään suunnittelukäyttöään, rasitusluokan ja teräksen perusteella. (Johansson & Mannonen 2016, s. 22)

**Taulukko 7.** Betonipeitteen ympäristöolosuhteista aiheutuvat minimiarvot  $c_{min,dur}$  käyttöiän ja rasitusluokan perusteella. (Johansson & Mannonen 2016, s.22)

| Rasitusluokka | Betonipeitteen vähimmäisarvo<br>50 vuoden käyttöiälle [mm] |            | Betonipeitteen vähimmäisarvo<br>100 vuoden käyttöiälle [mm] |            |
|---------------|--|------------|---|------------|
|               | Betoniteräs  | Jänneteräs | Betoniteräs   | Jänneteräs |
| X0            | 10   | 10         | 10  | 10         |
| XC1           | 10   | 20         | 10  | 20         |
| XC2           | 20   | 30         | 25  | 35         |
| XC3/XC4       | 25   | 35         | 30  | 40         |
| XS1/XD1       | 30   | 40         | 35  | 45         |

Verrattaessa taulukkoa 6 ja 7 toisiinsa huomataan, että taulukon 7 mukaiset arvot 50 vuoden suunnittelukäyttöiälle on määritelty vaatimusluokassa S3. Toisaalta taulukon 7 mukainen XC3 arvo on vaatimusluokassa S4. Kun verrataan 100 vuoden suunnittelukäyttöiän mukaisia arvoja huomataan, että vaatimusluokka on yhden luokan korkeampi kuin 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä. Taulukon 5 mukaan vaatimusluokkaa tulisi korottaa kahdella luokalla, kun suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta.

Mittatarkkuudesta johtuva betonipeitteen poikkeama  $\Delta c_{dev}$  on yleensä 10 mm. Elementtitehtaissa, joissa on varmennettu sisäinen laadunhallintajärjestelmä, voidaan betonipeitteen poikkeaman arvoa pienentää enintään 5 mm. Alle 5 mm poikkeaman arvoa ei saa suunnittelussa käyttää. (Johansson & Mannonen 2016, s. 21)

Näiden lisäksi on otettava huomioon erikoiskohtien suunnitteluun liittyvät ohjeet. Esimerkiksi maata vasten valettaessa betonipeitteen nimellisarvon  $c_{nom}$  tulee olla yli 50 mm. (Suomen betoniyhdistys 2012, s. 75) Muita erikoiskohtia ovat muun muassa kovetuneeseen betonipintaan kiinni valaminen ja betonin lisäsuojauksen käyttäminen (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 51).

## 4.2 Betonin lujuuden valinta

Rakenteen betonin tulee kestää sille asetettujen vaatimuksien mukaisesti. Betonin tulee säilyä riittävän hyvin ja kestää rakenteelle ympäristöstä kohdistuvat rasitukset. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 204) Betoniterästen korroosiosuojaan vaikuttaa betonin tiheys (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 47). Betonin vesisementtisuhte, lujuusluokka, sementtimäärä ja ilmamäärä vaikuttavat betonin säilyvyyteen. Taulukossa 8 on esitetty suunnitteluparametreille asetetut raja-arvot rasitusluokittain 50 vuoden suunnittelukäyttöiällä.

**Taulukko 8.** Betonin koostumukselta ja ominaisuuksilta vaadittavat raja-arvot asuinrakennuksissa esiintyvissä rasitusluokissa suunnittelukäyttöään ollessa on 50 vuotta. (Johansson & Mannonen 2016, s. 37)

|                                    | Rasitusluokat |  |        |        |        |                         |      |      |
|------------------------------------|---------------|--|--------|--------|--------|-------------------------|------|------|
|                                    | X0            | Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio |        |        |        | Jäätymis-sulatusrasitus |      |      |
|                                    |               | XC1                                      | XC2    | XC3    | XC4    | XF1                     | XF2  | XF3  |
| v/s-suhde enintään                 |               | 0,90                                     | 0,80   | 0,60   | 0,60   | 0,60                    | 0,50 | 0,50 |
| vähimmäislujuusluokka              | C12/15        | C20/25                                   | C20/25 | C30/37 | C30/37 |                         |      |      |
| vähimmäisementtimäärä [ $kg/m^3$ ] |               | 160                                      | 160    | 250    | 250    | 270                     | 330  | 300  |
| Ilmamäärä [%]                      |               |  |        |        |        | 4,0                     | 5,0  | 4,0  |

Taulukossa 9 on puolestaan esitetty suunnitteluparametrien arvot 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä. Vertailtaessa taulukoita 9 ja 10 huomataan, että karbonatisoitumiselle altistuvien rakenteiden lujuuden suunnitteluparametrit eivät muutu suunnittelukäyttöään pidentyessä 50 vuodesta 100 vuoteen. Jäätymis-sulatusrasitukselle altistuvilla betoneilla vesi-sementtisuhde pienenee ja ilmamäärä suurentuu suunnittelukäyttöään pidentyessä 50 vuodesta 100 vuoteen. Rasitusluokan XF2 suunnitteluparametreille ei ole annettu arvoja 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä. Rasitusluokkaan XF2 kuuluvan rakenteen betonin toiminta voidaan kuitenkin todentaa betonin laadun varmistuskokeilla (Johansson & Mannonen 2016, s. 38), kuten jäädytys-sulatuskokeella (Johansson & Mannonen 2016, s. 158). Rasitusluokan XF2 betonille on asetettu P-lukuvaatimus, jonka raja-arvo on 50 (Johansson & Mannonen 2016, s. 38).

**Taulukko 9.** Betonin koostumukselta ja ominaisuuksilta vaadittavat raja-arvot asuinrakennuksissa esiintyvissä rasisitusluokissa, kun suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta. (Johansson & Mannonen 2016, s. 38)

|                                      | Rasisitusluokat |  |        |        |        |                         |     |      |
|--------------------------------------|-----------------|--|--------|--------|--------|-------------------------|-----|------|
|                                      | X0              | Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio |        |        |        | Jäätymis-sulatusrasitus |     |      |
|                                      |                 | XC1                                      | XC2    | XC3    | XC4    | XF1                     | XF2 | XF3  |
| v/s-suhde enintään                   |                 | 0,90                                     | 0,80   | 0,60   | 0,60   | 0,55                    |     | 0,50 |
| vähimmäislujuusluokka                | C12/15          | C20/25                                   | C20/25 | C30/37 | C30/37 |                         |     |      |
| vähimmäis-sementtimäärä [ $kg/m^3$ ] |                 | 160                                      | 160    | 250    | 250    | 270                     |     | 300  |
| Ilmamäärä [%]                        |                 |  |        |        |        | 5,5                     |     | 5,5  |

Rakennesuunnittelun edellyttämä betonin lujuusluokka ei välttämättä täytä ympäristöra-situsten asettamia lujuusluokan vaatimuksia (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 204). Taulukossa 10 on Standardin SFS EN-1992-1-1 mukaisia ohjeellisia betonin minimilujuusluokkia rasisitusluokkien suhteen.

**Taulukko 10.** Ohjeellisen minimilujuusluokan vaatimus tavanomaisissa asuinrakennuksissa esiintyvissä rasisitusluokissa. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 204)

|                                | Rasisitusluokat         |  |        |        |        |
|--------------------------------|-------------------------|--|--------|--------|--------|
|                                | Ei riskiä               | Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio |        |        |        |
|                                | X0                      | XC1                                      | XC2    | XC3    | XC4    |
| Ohjeellinen minimilujuusluokka | C12/15                  | C20/25                                   | C25/30 | C30/37 | C30/37 |
|                                | Rasisitusluokat         |  |        |        |        |
|                                | Jäätymis-sulamisrasitus |  |        |        |        |
|                                | XF1                     | XF2                                      | XF3    |        |        |
| Ohjeellinen minimilujuusluokka | C30/37                  | C25/30                                   | C30/37 |        |        |

Taulukossa 10 annettu ohjeellinen minimilujuusluokka rasisitusluokkaan XC2 kuuluvalla betonilla on korkeampi kuin taulukoiden 8 ja 9 mukainen betonin vähimmäislujuusluokka.

### 4.3 Betonin halkeilu

Betonirakenne ei saa halkeilla niin, että se heikentää rakenteen säilyvyyttä, toimivuutta tai visuaalisuutta. Jos halkeilu heikentää rakenteen toimivuutta tulee halkeiluleveyttä rajoittaa. (Johansson & Mannonen 2016, s. 24) Betonin halkeilu heikentää betoniterästen korroosiosuojaa (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 47).

Halkeamaleveys  $w_k$  saadaan kaavalla

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \quad (3)$$

jossa  $s_{r,max}$  on suurin halkeamaväli,  $\varepsilon_{sm}$  on keskimääräinen raudoituksessa vaikuttava venymä ja  $\varepsilon_{cm}$  on keskimääräinen halkeaminen välinen betonin venymä (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 123).

Taulukossa 11 on esitetty käyttöikäsuunnittelussa hyödynnettävät halkeiluleveyden raja-arvot  $w_{max}$ , kun rakennuksen käyttöikä on 50 tai 100 vuotta. (Johansson & Mannonen 2016, s. 24)

**Taulukko 11.** Halkeamaleveyden raja-arvot  $w_{max}$ . (Johansson & Mannonen 2016, s. 24)

| Rasitusluokka           | Halkeamaleveyden raja-arvot $w_{max}$ [mm]                   |   |                                |
|-------------------------|--|---|--------------------------------|
|                         | Teräsbetonirakenteet ja tartunnattomat ankkurijännerakenteet | Tartuntajännerakenteet ja injektoidut ankkurijännerakenteet |                                |
|                         | Pitkäaikainen kuormayhdistelmä                               | Tavallinen kuormayhdistelmä                                 | Pitkäaikainen kuormayhdistelmä |
| X0, XC1                 | 0,40   | 0,20  | ei vaatimuksia                 |
| XC2, XC3, XC4, XD1, XS1 | 0,30   | 0,20  | vetojännityksetöntila          |

Kun betonipeitteen arvo  $c$  on suurempi kuin ympäristöolosuhteista aiheutuva betonipeitteen minimiarvon  $c_{min,dur}$  ja sallitun mittapoikkeaman  $\Delta c_{dev}$  summa, voidaan halkeiluleveyttä  $w_{max}$  suurentaa taulukon 11 arvosta kertoimella (Johansson & Mannonen 2016, s. 24)

$$\frac{c}{c_{min,dur} + \Delta c_{dev}} \leq 1,4 \quad (4)$$

Betonipeitteen ollessa suurempi kuin 50 mm, voidaan maksimihalkeamaleveys laskea 50 mm paksuisen halkeamaleveyden mukaan (Johansson & Mannonen 2016, s. 24).

## 5. LASKENNALLINEN MENETELMÄ KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELUSSA

Laskennallista käyttöikämitoitusta voidaan käyttää tilanteissa, joissa suunnittelukäyttöikä on alle 200 vuotta. Laskennallisen menetelmä perustuu 50 vuoden vertailukäyttöikään. Mitoituksessa käyttöikä määritellään jokaiselle betonirakenteen rasitusluokalle erikseen. Näistä käyttöiästä lyhyin on määräävä. Näin ollen suunnittelukäyttöiän tulee olla lyhempi kuin minkään rasitusluokan perusteella määritellyn käyttöiän. (Johansson & Mannonen 2016, s. 141) Suunnittelukäyttöiän tulee olla lyhempi kuin laskennallisesti missään olosuhteessa määritelty käyttöikä, koska suunnittelukäyttöiän määrittämisen mukaan 95 % rakenteesta tulisi olla käyttökelpoisia ja ehjiä suunnittelukäyttöiän päättyessä (Punkki 2017, s. 8).

### 5.1 Käyttöiän määrittäminen karbonatisoitumisen suhteen

Asuinrakennuksissa karbonatisoitumiselle altistuvien rakenteiden rasitusluokkia ovat XC1, XC2, XC3 ja XC4. Karbonatisoitumisen suhteen betonin käyttöiäksi määräytyy aika, joka karbonatisoitumisella kestää edetä betonirakenteen pinnasta betonipeitteen paksuuden syvyyteen. Ruostumatonta terästä käytettäessä käyttöiän voidaan olettaa olevan 200 vuotta. (Johansson & Mannonen 2016, s. 147) Rakenteen suunnittelukäyttöikä karbonatisoitumisen suhteen lasketaan kaavalla

$$t_L = t_{Lr} \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times B_1 \times B_2 \times C \times E_1 \times E_2 \times E_3 \times E_4 \times G, \quad (5)$$

jossa  $t_L$  on rakenteen suunnittelukäyttöikä,  $t_{Lr}$  on 50 vuoden vertailukäyttöikä ja muut kertoimet määräytyvät betonin karbonatisoitumiseen vaikuttavien tekijöiden perusteella. (Johansson & Mannonen 2016, s. 147)

Laskentamenetelmän kaavat (5) ja (6) perustuvat vertailukäyttöiän ja rakennekohtaisten osavarmuuskertoimien tuloon (Sarja 2013, s. 131). Taulukoiden 12...18 osavarmuuskertoimien perusteella osavarmuuskertoimen joko heikentää tai parantaa suunnittelukäyttöiän laskennallista arvoa. Kun osavarmuusluku on alle 1, niin suunnittelukäyttöikä lyhenee. Toisaalta kertoimen ollessa suurempi kuin 1 suunnittelukäyttöikä pitenee. Kertoimet on siis muodostettu niin, että suotuisat olosuhteet pidentävät suunnittelukäyttöikää kun taas epäsuotuisat rasittavat olosuhteet lyhentävät suunnittelukäyttöikää.

Kertoimiin  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  vaikuttaa betonimateriaali ja sen huokoisuus. Kerroin  $A_1$  määräytyy betonin lujuusluokan perusteella,  $A_2$  betonin seosaineiden mukaan ja  $A_3$  betonin

ilmamäärästä. Näiden kertoimien  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvot on esitetty taulukossa 12. (Johansson & Mannonen 2016, s. 148)

**Taulukko 12.** Käyttöikämitoituksessa käytettävien kerrointen  $A_1$ ,  $A_2$  ja  $A_3$  arvoja. (Johansson & Mannonen 2016, s. 148)

| <b>Lujuusluokka <math>A_1</math></b> |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Lujuusluokka</b>                  | <b>Kerroin <math>A_1</math></b> |
| C20/25                               | 0,72                            |
| C25/30                               | 0,95                            |
| C30/37                               | 1,41                            |
| C35/45                               | 2,22                            |
| C40/50                               | 2,95                            |
| C45/55                               | 3,90                            |
| $\geq$ C50/60                        | 5,15                            |
| <b>Seosaineet <math>A_2</math></b>   |                                 |
| <b>Sementtityyppi</b>                | <b>Kerroin <math>A_2</math></b> |
| CEM I                                | 1,00                            |
| CEM II/A                             | 0,92                            |
| CEM II/B                             | 0,86                            |
| CEM III/A                            | 0,80                            |
| CEM III/B                            | 0,75                            |
| <b>Ilmamäärä <math>A_3</math></b>    |                                 |
| <b>Betonimassan ilma-%</b>           | <b>Kerroin <math>A_3</math></b> |
| 1                                    | 1,04                            |
| 1,5                                  | 1,06                            |
| 2                                    | 1,08                            |
| 2,5                                  | 1,10                            |
| 3                                    | 1,12                            |
| 3,5                                  | 1,14                            |
| 4                                    | 1,16                            |
| 4,5                                  | 1,19                            |
| $\geq$ 5                             | 1,21                            |

Taulukosta 12 huomataan, että betonin lujuuden kasvattaminen pidentää rakenteen suunnittelukäyttöikä. Sementtityypin CEM I käyttö ei vaikuta suunnittelukäyttöiän pituuteen. Puolestaan muiden sementtityyppien käyttö lyhentää rakenteen suunnittelukäyttöikä. Betonin ilmamäärää lisättäessä betonirakenteen suunnittelukäyttöikä pidentyy.

Kertoimet  $B_1$  ja  $B_2$  ottavat huomioon rakenteen yksityiskohdat.  $B_1$ -kerroin määräytyy rakenteen betonipeitteen vähimmäisarvon ja raudoitustyyppin mukaan. (Johansson &



Mannonen 2016, s. 149–150) Taulukon 13 vähimmäisarvot on määritetty halkeilemattomalle betonille.

**Taulukko 13.** Kertoiminen  $B_1$  ja  $B_2$  arvot käyttöikämitoitukseen. (Johansson & Mannonen 2016, s. 149–150)

| <b>Betonipeite <math>B_1</math></b>      |                                 |                   |
|--|---------------------------------|-------------------|
| <b>Betonipeitteen vähimmäisarvo [mm]</b> | <b>Kerroin <math>B_1</math></b> |                   |
|  | <b>Betoniteräs</b>              | <b>Jänneteräs</b> |
| 5  | 0,04                            | 0,03              |
| 10                                       | 0,16                            | 0,11              |
| 15                                       | 0,36                            | 0,25              |
| 20                                       | 0,64                            | 0,44              |
| 25                                       | 1,00                            | 0,69              |
| 30                                       | 1,44                            | 1,00              |
| 35                                       | 1,96                            | 1,36              |
| 40                                       | 2,56                            | 1,78              |
| 45                                       | 3,24                            | 2,25              |
| 50                                       | 4,00                            | 2,78              |
| 55                                       | 4,84                            | 3,36              |
| 60                                       | 5,76                            | 4,00              |

**Pinnoite  $B_2$**

Arvot esitetty taulukossa 14.

Taulukon 13 mukaan betonipeitteen vähimmäisarvoa kasvattamalla rakenteen suunnittelukäyttöikä pidentyy. Verrattaessa betoniterästen ja jänneterästen mukaisia kertoimia huomataan, että jänneterästen kertoimet ovat pienempiä kuin betoniterästen. Taulukoiden 6 ja 7 perusteella voidaan päätellä, että jänneteräksset vaativat paksumman betonipeitteen kuin betoniteräksset. Tätä voidaan pitää perusteluna taulukon 13 jänneterästen osavarmuuskertoimelle.

Pinnoitteen aiheuttaman kertoimen  $B_2$  määrittämisessä käytetään apuna kahta suhdetta: pinnoitteen käyttöiän  $t_{Lp}$  ja rakenteen uudelleenpinnoitusvälin  $t_{Rp}$  suhdetta sekä pinnoitteen betoniekvivalenttipaksuuden  $d_{ekv}$  ja betonipeitteen arvon  $c$  suhdetta. Betoniekvivalenttipaksuus  $d_{ekv}$  on betonipaksuus, jonka hiilidioksidin läpäisevyys on sama kuin pinnoitteen hiilidioksidin läpäisevyys. (Johansson & Mannonen 2016, s. 149–150) Kertoimen  $B_2$  arvot on esitetty taulukossa 14.

**Taulukko 14.** Pinnoitteesta riippuvan kertoimen  $B_2$  arvoja. (Johansson & Mannonen 2016, s. 149–150)

| Pinnoite $B_2$  |             |      |      |          |
|-----------------|-------------|------|------|----------|
| $t_{Lp}/t_{Rp}$ | $d_{ekv}/c$ |      |      |          |
|                 | 0,1         | 0,2  | 0,5  | $\geq 1$ |
| $\geq 1,7$      | 1,20        | 1,37 | 1,83 | 2,00     |
| 1,6             | 1,19        | 1,37 | 1,82 | 2,00     |
| 1,5             | 1,19        | 1,37 | 1,81 | 2,00     |
| 1,4             | 1,19        | 1,37 | 1,80 | 2,00     |
| 1,3             | 1,19        | 1,37 | 1,79 | 2,00     |
| 1,2             | 1,19        | 1,36 | 1,78 | 2,00     |
| 1,1             | 1,19        | 1,36 | 1,76 | 2,00     |
| 1,0             | 1,19        | 1,36 | 1,75 | 2,00     |
| 0,9             | 1,19        | 1,35 | 1,72 | 2,00     |
| 0,8             | 1,19        | 1,35 | 1,70 | 2,00     |
| 0,7             | 1,19        | 1,34 | 1,67 | 2,00     |
| 0,6             | 1,19        | 1,34 | 1,64 | 1,95     |
| $< 0,5$         | 1,00        | 1,00 | 1,00 | 1,00     |

Taulukon 14 perusteella suunnittelukäyttöään pituuteen ei vaikuta kerroin  $B_2$ , jos pinnoitteen käyttöikä  $t_{Lp}$  on alle puolet lyhempi kuin uudelleen pinnoitusväli  $t_{Rp}$ . Toisaalta kun pinnoitusväli on lyhempi kuin pinnoitteen käyttöikä, niin kerroin pidentää suunnittelukäyttöikä. Betonin ekvivalenttisuhteen  $d_{ekv}$  kasvaessa betonipeitteen  $c$  suhteen kertoimen  $B_2$  arvo suurenee ja suunnittelukäyttöikä pidentyy.

Kertoimet  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  ja  $E_4$  perustuvat rakenteen ulkoiseen säärasitukseen.  $E_1$  määräytyy rasitusluokasta,  $E_2$  pystysuorien rakenteiden ilmansuunnasta,  $E_3$  rakenteen maantieteellisestä sijainnista ja  $E_4$  rakenteen pakkasrapautumisesta. (Johansson & Mannonen 2016, s. 150–153) Taulukossa 15 on esitetty kertoimien  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  ja  $E_4$  arvot karbonatisoitumisen suhteen.

Rasitusluokkaan XC2 kuuluvat rakenteet ovat yleensä perustuksia, joten niihin ei kohdistu sade eikä pakkasrasitusta. XC3 kuuluvat rakenteet ovat sateelta suojattuja, joten niiden säärasitus on hyvin vähäistä tai sitä ei ole ollenkaan. Tämän takia rasitusluokissa XC2 ja XC3 säärasituksesta aiheutuvat kertoimet ilmansuunnasta  $E_2$ , maantieteellisestä sijainnista  $E_3$  ja pakkasrasituksesta  $E_4$  voidaan jättää huomiomatta. Kun näiden rasitusluokkien kertoimille  $E_2$ ,  $E_3$  ja  $E_4$  käytetään arvoa 1, niin ne eivät vaikuta laskettavaan suunnittelukäyttöään arvoon.

**Taulukko 15.** Rakenteen ulkoisen sääräsituksen aiheuttamien kertoimien  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  ja  $E_4$  arvot. (Johansson & Mannonen 2016, s. 150–153)

| <b>Rasitusluokka <math>E_1</math></b>             |                                  |                                 |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| <b>Rasitusluokka</b>                              |                                  | <b>Kerroin <math>E_1</math></b> |
| XC2   |                                  | 1,4                             |
| XC3   |                                  | 1,0                             |
| XC4   |                                  | 4,0                             |
| <b>Ilmasuunta <math>E_2</math></b>                |                                  |                                 |
| <b>Rasitusluokka</b>                              | <b>Ilmansuunta</b>               | <b>Kerroin <math>E_2</math></b> |
| XC2   | ei merkitystä                    | 1,0                             |
| XC3   | ei merkitystä                    | 1,0                             |
| XC4   | Pohjoinen                        | 1,4                             |
| XC4   | Koillinen                        | 1,2                             |
| XC4   | Itä                              | 0,85                            |
| XC4   | Kaakko                           | 0,83                            |
| XC4   | Etelä                            | 0,80                            |
| XC4   | Lounas                           | 1,0                             |
| XC4   | Länsi                            | 1,1                             |
| XC4   | Luode                            | 1,3                             |
| <b>Maantieteellinen sijainti <math>E_3</math></b> |                                  |                                 |
| <b>Rasitusluokka</b>                              | <b>Maantieteellinen sijainti</b> | <b>Kerroin <math>E_3</math></b> |
| XC2   | ei merkitystä                    | 1,0                             |
| XC3   | ei merkitystä                    | 1,0                             |
| XC4   | Rannikko-Suomi                   | 1,0                             |
| XC4   | Keski-Suomi                      | 1,1                             |
| XC4   | Pohjois-Suomi                    | 1,3                             |
| <b>Pakkasrapautuminen <math>E_4</math></b>        |                                  |                                 |
| <b>Rasitusluokka</b>                              |                                  | <b>Kerroin <math>E_4</math></b> |
| XC2   |                                  | 1,0                             |
| XC3   |                                  | 1,0                             |
| XC4   |                                  | Esitetty taulukoissa 13 ja 14   |

Betonin sisäinen kosteus estää hiilidioksidia tunkeutumasta rakenteeseen ja hidastaa betonin karbonatisoitumista (Lahdensivu et al. 2013, s. 23). Tämän perusteella voidaan todeta, että sateelle altistuvaan rasitusluokkaan XC4 kuuluvien rakenteiden karbonatisoitumisnopeuteen vaikuttaa rakenteeseen kohdistuva viistosade. Rakenteen kastuttua saateessa sen karbonatisoituminen hidastuu. Kertoimen  $E_2$  arvon tulee siis olla suurempi ilmansuunnissa, joihin kohdistuu runsaasti viistosadetta. Pakkala et al. (2016, s. 161) mukaan suurin viistosaderasitus kohdistuu rakennuksen etelän ja lounaan puoleisille

julkisivuille. Kun näitä viistosadetutkimuksen tuloksia verrataan taulukon 15 mukaisiin kertoimen  $E_3$  arvoihin huomataan, että ne ovat ristiriidassa toistensa kanssa. Taulukon 15 arvojen mukaan suurin viistosade kohdistuisi idän, kaakon ja etelän puoleisille rakenteille.

Taulukon 15 mukaan voidaan todeta, että suunnittelukäyttöikä voidaan pidentää rakenteen sijaitessa Pohjois- tai Keski-Suomessa. Rannikkoalueella sijaitsevaan rakennukseen kertoimella  $E_3$  ei ole vaikutusta suunnittelukäyttöiän pituuteen.

Rasitusluokkaan XC4 kuuluvat sateelle altistuvat rakenteet saattavat pakkasrapautua. Näiden rakenteiden suunnittelukäyttöikää laskettaessa tulee huomioida betonin pakkasrapautumisen ja karbonatisoitumisen yhteisvaikutuksen huomioiva kerroin  $E_4$ . (Johansson & Mannonen 2016, s. 152) Taulukossa 16 on esitetty kertoimen  $E_4$  arvot pystysuorille pinnoille.

**Taulukko 16.** Pakkasrapautumisesta aiheutuvan kertoimen  $E_4$  arvoja pystysuorille rakenteille. (Johansson & Mannonen 2016, s. 152)

| Ilmamäärä [%]        |     |     | Pakkasrapautuminen $E_4$     |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|-----|-----|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ylänimellisraja [mm] |     |     | Tehollinen vesisementtisuhte |      |      |      |      |      |      |      |
| 8                    | 12  | ≥16 | 0,35                         | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,75 |
| 3,0                  | 2,5 | 2,0 | 0,51                         | 0,33 | 0,24 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,12 |
| 3,5                  | 3,0 | 2,5 | 1,00                         | 0,50 | 0,33 | 0,26 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,14 |
| 4,0                  | 3,5 | 3,0 | 1,00                         | 0,77 | 0,45 | 0,32 | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,16 |
| 4,5                  | 4,0 | 3,5 | 1,00                         | 1,00 | 0,59 | 0,39 | 0,30 | 0,24 | 0,21 | 0,18 |
| 5,0                  | 4,5 | 4,0 | 1,00                         | 1,00 | 0,81 | 0,48 | 0,35 | 0,28 | 0,23 | 0,20 |
| 5,5                  | 5,0 | 4,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,59 | 0,41 | 0,31 | 0,26 | 0,22 |
| 6,0                  | 5,5 | 5,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,73 | 0,47 | 0,35 | 0,28 | 0,24 |
| 6,5                  | 6,0 | 5,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,93 | 0,55 | 0,39 | 0,31 | 0,26 |
| 7,0                  | 6,5 | 6,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,64 | 0,44 | 0,34 | 0,28 |
| 7,5                  | 7,0 | 6,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 0,49 | 0,37 | 0,30 |
| 8,0                  | 7,5 | 7,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,89 | 0,55 | 0,41 | 0,32 |
| 8,5                  | 8,0 | 7,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,62 | 0,44 | 0,35 |
| 9,0                  | 8,5 | 8,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,70 | 0,48 | 0,37 |
| 9,5                  | 9,0 | 8,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,79 | 0,53 | 0,40 |
| 10,0                 | 9,5 | 9,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,58 | 0,43 |

Taulukoiden 16 ja 17 mukaisista arvoista huomataan, että pienemmällä tehollisella vesisementtisuhteella ja suuremmalla ilmamäärällä saadaan rakenteelle pitempi suunnittelukäyttöikä. Kiviaineksen ylänimellisrajaa suurentamalla saadaan ilmamäärää pienennettyä.

**Taulukko 17.** Pakkasrapautumisesta aiheutuvan kertoimen  $E_4$  arvoja vaakasuorille rakenteille. (Johansson & Mannonen 2016, s. 152)

| Ilmamäärä [%]           |     |     | Pakkasrapautuminen $E_4$     |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----|-----|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ylänimellisraja<br>[mm] |     |     | Tehollinen vesisementtisuhte |      |      |      |      |      |      |      |
| 8                       | 12  | ≥16 | 0,35                         | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,75 |
| 3,0                     | 2,5 | 2,0 | 0,34                         | 0,22 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 3,5                     | 3,0 | 2,5 | 0,69                         | 0,33 | 0,22 | 0,17 | 0,14 | 0,12 | 0,10 | 0,09 |
| 4,0                     | 3,5 | 3,0 | 1,00                         | 0,51 | 0,30 | 0,21 | 0,17 | 0,14 | 0,12 | 0,11 |
| 4,5                     | 4,0 | 3,5 | 1,00                         | 0,89 | 0,40 | 0,26 | 0,20 | 0,16 | 0,14 | 0,12 |
| 5,0                     | 4,5 | 4,0 | 1,00                         | 1,00 | 0,54 | 0,32 | 0,23 | 0,18 | 0,15 | 0,13 |
| 5,5                     | 5,0 | 4,5 | 1,00                         | 1,00 | 0,76 | 0,39 | 0,27 | 0,21 | 0,17 | 0,15 |
| 6,0                     | 5,5 | 5,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,49 | 0,31 | 0,23 | 0,19 | 0,16 |
| 6,5                     | 6,0 | 5,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,62 | 0,36 | 0,26 | 0,21 | 0,17 |
| 7,0                     | 6,5 | 6,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 0,80 | 0,43 | 0,29 | 0,23 | 0,19 |
| 7,5                     | 7,0 | 6,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,33 | 0,25 | 0,20 |
| 8,0                     | 7,5 | 7,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,59 | 0,37 | 0,27 | 0,22 |
| 8,5                     | 8,0 | 7,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,71 | 0,41 | 0,30 | 0,23 |
| 9,0                     | 8,5 | 8,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,88 | 0,47 | 0,32 | 0,25 |
| 9,5                     | 9,0 | 8,5 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,53 | 0,35 | 0,27 |
| 10,0                    | 9,5 | 9,0 | 1,00                         | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,60 | 0,38 | 0,29 |

Vaakasuoriin rakenteisiin kohdistuva sade aiheuttaa suuremman rasituksen. Näin ollen taulukossa 17 esitettävät kertoimien  $E_4$  arvot ovat pienempiä kuin taulukon 16 mukaiset kertoimen  $E_4$  arvot.

Kerroin  $C$  perustuu betonirakenteen jälkihoitoon (Johansson & Mannonen 2016, s. 150). Rakenteen tarkastus- ja hoitoväli otetaan huomioon kertoimella  $G$  (Johansson & Mannonen 2016, s. 153). Taulukossa 18 esitetään kertoimen  $C$  ja  $G$  arvot.

**Taulukko 18.** Jälkihoidosta muodostuvan kertoimen  $C$  arvot ja tarkastus- ja hoitovälin pituudesta muodostuvien kertoimien  $G$  arvot. (Johansson & Mannonen 2016, s. 150–153)

| <b>Jälkihoito <math>C</math></b>              |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Betonirakenteen jälkihoito</b>             | <b>Kerroin <math>C</math></b> |
| BY65 kohdan 3.7.4.5 mukaan                    | 1,0                           |
| muut tilanteet                                | 0,7                           |
| <b>Tarkastus- ja hoitoväli <math>G</math></b> |                               |
| <b>Tarkastus- ja hoitoväli</b>                | <b>Kerroin <math>G</math></b> |
| 1-2 vuotta                                    | 1,0                           |
| Harvemmin                                     | 0,85                          |

Kertoimen  $C$  arvon 1 käyttäminen edellyttää, että jälkihoito on tehty Betoninormien 2016 mukaan ja että jälkihoidon loppuessa betonin lujuus on 70 % nimellislujuudestaan. Jos jälkihoito ei täytä näitä kriteerejä, kerroin  $C$  lyhentää suunnittelukäyttöikä. (Johansson & Mannonen 2016, s. 150) Tarkastus- ja hoitovälin ollessa 1–2 vuotta käytetään kertoimelle  $G$  arvoa 1,0. Jos tarkastus- ja hoitoväli on yli 2 vuotta, kertoimen  $G$  tulee lyhentää suunnittelukäyttöikä. (Johansson & Mannonen 2016, s. 153). Pidemmällä tarkastus- ja hoitovälillä valittava kerroin on pienempi, koska tarkastus- ja hoitovälin pidentäminen lisää epävarmuutta rakenteen kunnosta ja toimintakyvystä.

## 5.2 Käyttöiän määrittäminen pakkasrasituksen suhteen

Pakkasrasitukselle altistuvat rakenteet kuuluvat rasitusluokkiin XF1 ja XF3. Näihin luokkiin kuuluvat rakenteet eivät siis kestä suolarasitusta. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 48) Pakkasrasitukselle alttiiden rakenteiden käyttöikä voidaan laskea yhtälöllä

$$t_L = t_{Lr} \times A \times B_1 \times B_2 \times E_1 \times E_2 \times E_3 \times C \times G, \quad (6)$$

jossa  $t_L$  on rakenteen suunnittelukäyttöikä,  $t_{Lr}$  on 50 vuoden vertailukäyttöikä ja muut kertoimet ovat pakkasen kestävyteen vaikuttavista tekijöistä muodostuvia kertoimia (Johansson & Mannonen 2016, s. 141).

Kertoimeen  $A$  vaikuttaa betonin ilmamäärä ja huokoisuus. Kertoimella  $A$  tarkoitetaan  $F$ -lukua.  $F$ -luku saadaan kaavalla

$$F = \frac{1}{\max\left\{0,25; 7,2 \times \frac{(v/s)^{0,45}}{(a-1)^{0,45}} - 4,0\right\}}, \quad (7)$$

jossa  $v/s$  on tehollinen vesisementtisuhte ja  $a$  on mitattu ilmamäärä prosentteina kiviaineksen nimellisylärajan ollessa 16 mm. Betonin vähimmäisilmamäärät on esitetty taulukossa 19. (Johansson & Mannonen 2016, s. 141–142)

**Taulukko 19.** Betonin vähimmäisilmamäärät rasisitusluokissa XF1 ja XF3, kun kiviaineksen nimellisraja on 16 mm tai suurempi. (Johansson & Mannonen 2016, s. 142)

| <b>Rasisitusluokka</b> | <b>Vähimmäisilmamäärä tiivistettävillä betoneilla</b>  |
|------------------------|--|
| XF1                    | 3,5 %  |
| XF3                    | 4,0 %  |
| <b>Rasisitusluokka</b> | <b>Vähimmäisilmamäärä itsetiivistävillä betoneilla</b> |
| XF1                    | 2,5 %  |
| XF3                    | 3,0 %  |

Taulukosta 19 huomataan, että rasisitusluokan XF3 ilmamäärän vaatimus on suurempi kuin rasisitusluokan XF1. Itsetiivistävillä betoneilla ilmamäärään vaatimus on pienempi kuin tiivistettävällä betonilla.

Jos kiviaineksen ylänimellisraja ei ole 16 mm, niin mitatun ilmamäärään prosenttiosuutta tulee muuttaa tilanteeseen sopivaksi vähimmäisilmamäärien mukaan. Esimerkiksi ylänimellisrajalla 12 mm pienennetään mitattua ilmamäärää 0,5 prosenttiyksiköllä kun taas ylänimellisrajalla 8 mm pienennys on 1,0 prosenttiyksikköä. (Johansson & Mannonen 2016, s. 142)

Kertoimen A arvo saadaan F-luvusta kiviaineksen ylänimellisrajan, ilmamäärän ja tehollisen vesisementtisuhteen perusteella taulukon 20 mukaisesti. (Johansson & Mannonen 2016, s. 143)

**Taulukko 20.** Kertoimen  $A$  arvot kiviaineksen ylänimellisrajan, ilmamäärän ja vesisementtisuhteen mukaan. (Johansson & Mannonen 2016, s. 143)

| Ilmamäärä [%]           |     |           | Ilmamäärä ja huokoisuus $A$ (F-luku) |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----|-----------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ylänimellisraja<br>[mm] |     |           | Tehollinen vesisementtisuhte         |      |      |      |      |      |      |      |
| 8                       | 12  | $\geq 16$ | 0,35                                 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 |
| 3,0                     | 2,5 | 2,0       | 2,04                                 | 1,30 | 0,97 | 0,79 | 0,67 | 0,58 | 0,52 | 0,47 |
| 3,5                     | 3,0 | 2,5       | 4,00                                 | 1,98 | 1,33 | 1,02 | 0,83 | 0,71 | 0,62 | 0,56 |
| 4,0                     | 3,5 | 3,0       | 4,00                                 | 3,06 | 1,78 | 1,28 | 1,01 | 0,84 | 0,72 | 0,64 |
| 4,5                     | 4,0 | 3,5       | 4,00                                 | 4,00 | 2,37 | 1,57 | 1,19 | 0,97 | 0,82 | 0,72 |
| 5,0                     | 4,5 | 4,0       | 4,00                                 | 4,00 | 3,23 | 1,93 | 1,39 | 1,10 | 0,92 | 0,79 |
| 5,5                     | 5,0 | 4,5       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 2,37 | 1,62 | 1,25 | 1,02 | 0,87 |
| 6,0                     | 5,5 | 5,0       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 2,93 | 1,88 | 1,40 | 1,13 | 0,95 |
| 6,5                     | 6,0 | 5,5       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 3,70 | 2,19 | 1,57 | 1,24 | 1,03 |
| 7,0                     | 6,5 | 6,0       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 2,55 | 1,76 | 1,36 | 1,12 |
| 7,5                     | 7,0 | 6,5       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 1,97 | 1,49 | 1,20 |
| 8,0                     | 7,5 | 7,0       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 3,56 | 2,21 | 1,63 | 1,30 |
| 8,5                     | 8,0 | 7,5       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 2,48 | 1,77 | 1,39 |
| 9,0                     | 8,5 | 8,0       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 2,80 | 1,94 | 1,49 |
| 9,5                     | 9,0 | 8,5       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 3,17 | 2,11 | 1,60 |
| 10,0                    | 9,5 | 9,0       | 4,00                                 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 3,62 | 2,31 | 1,71 |

Taulukon 20 mukaan tehollisen vesisementtisuhteen kasvaessa suunnittelukäyttöikä lyhentyy. Kun betonin ilmamäärää kasvatetaan, rakenteen suunnittelukäyttöikä pidentyy.

Rakenteen yksityiskohtien ja suunnittelun mukaan muodostuvat kertoimet  $B_1$  ja  $B_2$ . Kertoimeen  $B_1$  vaikuttaa rakenteen massiivisuus. Jos rakenteen korkeus, leveys tai paksuus on yli 600 mm, vaikuttaa se käyttöiän laskentaan. Muulloin käytetään kerrointa 1,0, jolloin sillä ei ole vaikutusta suunnittelukäyttöiän pituuteen. (Johansson & Mannonen 2016, s. 143) Kertoimen  $B_1$  arvot on esitetty taulukossa 21.

Pinnoitteen mukaan määräytyvä kerroin  $B_2$  saadaan pinnoitteen laskentakäyttöiän  $t_{Lp}$  ja suunnitellun uudelleenpinnoitusvälin  $t_{Rp}$  suhteesta taulukon 21 mukaisesti. Kerrointa  $B_2$  käytettäessä pinnoitteen tulee täyttää kaavan 7 tai 8 asettamat vaatimukset. Vaatimus pystysuorille sateelle alttiille rakenteille on

$$m_{k0} - 0,6m_{e0}^{0,6} < 0, \quad (8)$$

jossa  $m_{k0}$  on kapilaarisuusluvun pienennyskerroin uudella pinnoitteella ja  $m_{e0}$  on kosteuden siirtoluvun pienennyskerroin uudella betonipinnalla. (Johansson & Mannonen 2016, s. 144)



Puolestaan vaakasuoralle sateelle alttiille rakenteelle on ehto

$$m_{k0} - 0,35m_{e0}^{0,65} < 0. \quad (9)$$

Kapilaarisuusluvun pienennyskerroin  $m_{k0}$  saadaan kaavalla

$$m_{k0} = \frac{k_p}{k_b}, \quad (10)$$

jossa  $k_p$  on kapillaarisuusluku pinnoitetulla betonilla ja  $k_b$  on kapilaarisuusluku pinnoittamattomalla betonilla. (Johansson & Mannonen 2016, s. 144)

Kosteuden siirtoluvun pienennyskerroin  $m_{e0}$  saadaan

$$m_{e0} = \frac{\beta_p}{\beta_b}, \quad (11)$$

jossa  $\beta_p$  on pinnoitetun betonipinnan kosteuden haihtumisnopeuden määrittelevä siirtoluku ja  $\beta_b$  on pinnoittamattoman betonipinnan kosteuden haihtumisnopeuden siirtoluku (Johansson & Mannonen 2016, s. 144).

Vedellä kyllästys- ja kuivumiskokeilla voidaan määrittää kertoimet  $m_{k0}$  ja  $m_{e0}$ . Kokeet tulee tehdä pinnoitekohtaisesti. (Johansson & Mannonen 2016, s. 144)

**Taulukko 21.** Rakenteen mittojen ja pinnoitteen mukaan muodostuvien kertoimien  $B_1$  ja  $B_2$  arvot. (Johansson & Mannonen 2016, s. 143–144)

| Rakenteen massiivisuus $B_1$ |               |
|------------------------------|---------------|
| Rakenteen pienin mitta       | Kerroin $B_1$ |
| > 600 mm                     | 1,3           |
| muut rakenteet               | 1,0           |
| Pinnoite $B_2$               |               |
| $t_{Lp}/t_{Rp}$              | $B_2$         |
| $\geq 1,6$                   | 2,00          |
| 1,5                          | 1,91          |
| 1,4                          | 1,79          |
| 1,3                          | 1,66          |
| 1,2                          | 1,54          |
| 1,1                          | 1,42          |
| 1,0                          | 1,30          |
| 0,9                          | 1,20          |
| 0,8                          | 1,12          |
| 0,7                          | 1,06          |
| 0,6                          | 1,03          |
| <0,5                         | 1,00          |

Taulukossa 21 esitettyjen arvojen mukaan rakenteen suunnittelukäyttöikä lyhentyy, kun betonirakenteen paksuus on suurempi kuin 600 mm. Kun pinnoitteen uusimisväli  $t_{Rp}$  on lyhyempi kuin pinnoitteen kaksinkertainen käyttöikä  $t_{Lp}$ , niin rakenteen suunnitteluikä pidentyy.

Pinnoitteen käyttöikä  $t_{Lp}$  määritetään pystysuoralle pinnalle seuraavasti:

$$t_{Lp} \leq \frac{0,36m_{e0}^{1,2} - m_{k0}^2}{0,02 \times (1 - m_{k0}^2)}. \quad (12)$$

Puolestaan vaakasuoralle pinnalle pinnoitteen käyttöikä  $t_{Lp}$  saadaan yhtälöllä

$$t_{Lp} \leq \frac{0,12m_{e0}^{1,3} - m_{k0}^2}{0,02 \times (1 - m_{k0}^2)}. \quad (13)$$

Rasitusluokan  $E_1$ , ilmansuunnan  $E_2$  ja maantieteellisen sijainnin  $E_3$  mukaiset kertoimet on esitetty taulukossa 22 (Johansson & Mannonen 2016, s. 145). Ilmansuunnan mukainen kerroin  $E_2$  koskee ainoastaan rasitusluokkaa XF1, joten käytetään rasitusluokkaan XF3 kuuluvalla rakenteella kerrointa 1,0.

**Taulukko 22.** Rakenteen ulkoisen sääräsituksen aiheuttamien kertoimien  $E_1$ ,  $E_2$  ja  $E_3$  arvot. (Johansson & Mannonen 2016, s. 145–146)

| <b>Rasitusluokka <math>E_1</math></b>             |                    |                                 |
|---|--------------------|---------------------------------|
| <b>Rasitusluokka</b>                              |                    | <b>Kerroin <math>E_1</math></b> |
| XF1   |                    | 1,00                            |
| XF3   |                    | 0,67                            |
| <b>Ilmasuunta <math>E_2</math></b>                |                    |                                 |
| <b>Rasitusluokka</b>                              | <b>Ilmansuunta</b> | <b>Kerroin <math>E_2</math></b> |
| XF1   | Pohjoinen          | 2,0                             |
| XF1   | Koillinen          | 1,7                             |
| XF1   | Itä                | 1,3                             |
| XF1   | Kaakko             | 1,1                             |
| XF1   | Etelä              | 1,0                             |
| XF1   | Lounas             | 1,0                             |
| XF1   | Länsi              | 1,2                             |
| XF1   | Luode              | 1,6                             |
| XF3   | ei merkitystä      | 1,0                             |
| <b>Maantieteellinen sijainti <math>E_3</math></b> |                    |                                 |
| <b>Maantieteellinen sijainti</b>                  |                    | <b>Kerroin <math>E_3</math></b> |
| Rannikko-Suomi                                    |                    | 1,0                             |
| Keski-Suomi                                       |                    | 1,1                             |
| Pohjois-Suomi                                     |                    | 1,2                             |

Betonin pakkasrapautumisen aiheuttaa betonin huokosrakenteessa olevan veden jääytymisestä syntyvä paine (Lahdensivu et al. 2013, s. 29). Rasitusluokan XF1 rakenteille kohdistuu pakkasrasitusta etenkin silloin, kun viistosateen jälkeen huokostilassa oleva vesi jäätyy. Kun verrataan taulukon 22 ilmansuunnista riippuvia kertoimia  $E_2$  Pakkalan et al. (2016, s. 161) viistosadetutkimuksiin, huomataan kertoimien noudattavan tutkimuksen tuloksia. Etelä- ja lounais-julkisivuille kohdistuu suurin viistosaderasitus (Pakkala et al. 2016, s. 161), jolloin kerroin on pienempi kuin muihin ilmasuuntiin.

Maantieteelliseen sijaintiin perustuva kerroin  $E_3$  saadaan taulukosta 22, jossa maantieteelliset sijainnit on jaoteltu karkeasti (Johansson & Mannonen 2016, s. 146). Huomataan, että Keski- ja Pohjois-Suomen olosuhteet ovat suotuisimmat rakenteen suunnittelukäyttöään perusteella kuin rannikko-Suomessa. (Johansson & Mannonen 2016, s. 146)

Kerroin  $C$  perustuu jälkihoitoon ja se määritetään samoin kuin karbonatisoitumisen suhteen. (Johansson & Mannonen 2016, s.145) Kertoimen  $C$  arvot on esitetty taulukossa 23.

**Taulukko 23.** Rakenteen jälkihoidosta ja tarkastus- ja hoitovälistä määräytyvien kertoimien  $C$  ja  $G$  arvot. (Johansson & Mannonen 2016, s. 145–146)

| <b>Jälkihoito <math>C</math></b>              |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Betonirakenteen jälkihoito</b>             | <b>Kerroin <math>C</math></b> |
| BY65 kohdan 3.7.4.5 mukaan                    | 1,0                           |
| muut tilanteet                                | 0,7                           |
| <b>Tarkastus- ja hoitoväli <math>G</math></b> |                               |
| <b>Tarkastus- ja hoitoväli</b>                | <b>Kerroin <math>G</math></b> |
| 1-2 vuotta                                    | 1,0                           |
| Harvemmin                                     | 0,7                           |

Kertoimella  $G$  huomioidaan rakenteen tarkastus- ja hoitoväli. Jos tarkistus- ja hoitoväli on pidempi kuin 2 vuotta, tulee suunnittelukäyttöikää pienentää kertoimella 0,7. (Johansson & Mannonen 2016, s. 146) Taulukossa 23 esitetään kertoimelle  $G$  käytettävät arvot.

### 5.3 Käyttöiän määrittäminen suola-pakkasrasituksen suhteen

Rasitusluokkaan XF2 kuuluvaan rakenteeseen kohdistuu suola-pakkasrasitusta. (SFS-EN 1992-1-1 2015, s. 48) Tässä rasitusluokassa käyttöikä saadaan laskettua P-luvun avulla (Johansson & Mannonen 2016, s. 154).

P-luku kuvaa betonin suola-pakkas-rasituskestävyyttä. Se voidaan laskea yksinkertaisesti suolapakkaskokeen perusteella kaavalla

$$P - luku = k_{sid} \times \frac{3000}{(m_{56})^{0,74}}, \quad (14)$$

jossa  $k_{sid}$  on sideainetekijä ja  $m_{56}$  on 56 kierroksen pakkassuolakokeen rapauma (Liikennevirasto 2016, s. 16). Sideainetekijä  $k_{sid}$  saadaan laskettua betonin sideaineiden määrien mukaan kaavalla

$$k_{sid} = 1 - \left(\frac{Q_{vesi}}{Q_{sid}}\right)^{1,5} \times (0,05 \times sil + 0,02 \times kuona + 0,01 \times lt), \quad (15)$$

jossa  $Q_{vesi}$  on tehollinen vesimäärä,  $Q_{sid}$  on tehollinen sideaineen kokonaismäärä,  $sil$  on silikan osuus prosentteina sideaineen kokonaismäärästä,  $kuona$  on masuunikuonan osuus sideaineen kokonaismäärästä ja  $lt$  on lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä (Liikennevirasto 2016, s. 14).

P-luvun mukaan suunnittelukäyttöiän raja-arvo saadaan kaavalla

$$t_L = 2,00 \times P - luku, \quad (16)$$

jossa  $t_L$  on suunnittelukäyttöikä (Johansson & Mannonen 2016, s. 154).

## **6. ILMASTON RASITUKSEN JA KUORMIEN MUUTTUMISEN HUOMIOON OTTAMINEN RAKENNESUUNNITTELUSSA**

Ilmaston muutoksen oletetaan vaikuttamaan lämpötilaan, sateen jakautumiseen, tuuliolosuhteisiin, ilman kosteuspitoisuuteen ja auringon säteilyyn (Rakennusfysiikka 2015, s. 205). Voidaan siis todeta, että rakennuksien rasitus- ja kuormitusolosuhteet tulevat muuttumaan tulevaisuudessa. Ilmastonmuutosskenaarioilla pyritään ennustamaan ilmaston muuttumisen vaikutuksia (Rakennusfysiikka 2015, s. 205). Skenaarioita voidaan käyttää hyväksi rakennesuunnittelussa rasitusolojen määrittämisessä.

Ilmaston muuttuessa rakenteelle kohdistuvat luonnonkuormien arvot saattavat muuttua. Rakennesuunnittelussa määriteltävien suunnittelukuormien tulee olla sellaiset, että rakennus kestää koko suunnittelukäyttöiän siihen kohdistuvissa kuormitusolosuhteissa. Myös rakennuksen käyttötarkoituksen muutos tai korjaustyöt saattavat aiheuttaa rakenteelle suunnittelusta poikkeavia kuormia.

### **6.1 Betonirakenteeseen kohdistuvan ilmastorastituksen huomiointi**

Ruosteenoja (2013) esittää, että uhkaavimmassa kasvihuonekaasuskenaariossa Suomen keskilämpötila voi nousta vuoteen 2100 mennessä jopa 6 °C. Jos kasvihuonekaasupäästöjä rajattaisiin tehokkaasti, keskilämpötilan nousu olisi noin 2 °C vuoteen 2100 mennessä. (Ruosteenoja 2013) Voidaan siis todeta, että keskilämpötila Suomessa tulee nousemaan tulevaisuudessa riippumatta ilmastonmuutoksen vastaisista toimenpiteistä.

Lämpeneminen tulee olemaan voimakkainta talvikuukausina (Ruosteenoja 2013). Jylhä et al. (2012) väittää kesällä kuumien jaksojen pidentyvän, kun taas uusien pakkasennätysten saavuttamisen olevan epätodennäköistä. Ilmastonmuutos saattaa vaikuttaa betonin pakkasrasituksen ilmenemiseen. Pakkasen aiheuttama rakenteen vaurioituminen tapahtuu sen jäätyessä (Lahdensivu et al. 2013, s. 29), joten suurimman rasituksen rakenteelle aiheuttaa jäätyminen ja sulamisen vuorottelu. Lämpötilavaihtelun pysyessä nykyisellään lämpötilan 0 °C ohituskertojen määrää lisääntyy Pohjois-Suomessa toisin kuin Etelä-Suomessa ohituskertojen määrä vähenee. Näin ollen Pohjois-Suomessa pakkaselle alttiissa betonirakenteissa voi esiintyä nykyistä enemmän pakkasrapautumista betonin su-

lamisjäätymissyklin nopeutuessa. Puolestaan Etelä-Suomessa pakkasrasitus vähenee ja pakkasrapauman esiintymisyleisyys pienenee. (Ala-Outinen et al. 2004, s. 41)

Kosteus on yksi pahimmista rakenteita rasittavista tekijöistä. Julkisivujen rasitustasoon vaikuttaa etenkin viistosade sekä vetenä että räntänä. (Lahdensivu et al. 2013, s. 18–19) Pakkala et al. (2016, s. 163) kertoo tuulen nopeuden kasvavan merkittävästi sateiden aikana etenkin Suomen rannikkoalueilla. Tuulen nopeuden kasvaessa viistosateen määrä lisääntyy (Pakkala et al. 2016, s. 163). Lahdensivun (2012, s. 108) mukaan Suomen kosteassa ilmastossa sateelle altistuneen rakenteen kuivuminen hidastuu. Köliön et al. (2017, s. 20) mukaan sateelta suojatuilla rakenteilla terästen korroosio on hitaampaa kuin sateelle altistuvien rakenteiden. Pakkala et al. (2016, s. 163) huomauttaa, että suunnittelussa tulee ottaa huomioon viistosateen vaikutus. Rannikkoalueelle rakennettavan rakennuksen suunnittelussa viistosateen huomioon ottaminen on erityisen tärkeää. (Pakkala et al. 2016, s. 163) Maantieteellisen sijainnin lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon tarkemmat paikalliset olosuhteet, jotka voivat olla rajummat kuin maantieteellisesti alueella yleisesti esiintyvät olosuhteet (Köliö et al. 2017, s. 20). Pahiten rasittuvat etelä- ja lounaisjulkisivujen yläosat tulee suojata sateelta esimerkiksi pitkillä räystäillä. (Pakkala et al. 2016, s. 163)

Tulevaisuudessa ilman hiilidioksidin  $CO_2$  lisääntyessä betonijulkisivujen vaurioituminen alkaa nykyistä aiemmin (Köliö et al. 2014, s. 51). Hiilidioksidi  $CO_2$  aiheuttaa betonin karbonatisoitumista (Lahdensivu et al. 2013, s. 22). Köliö et al. (2014, s. 51) arvioi hiilidioksidin aiheuttavan suuremman rasituksen rakenteelle kuin sademäärän suurentuminen.

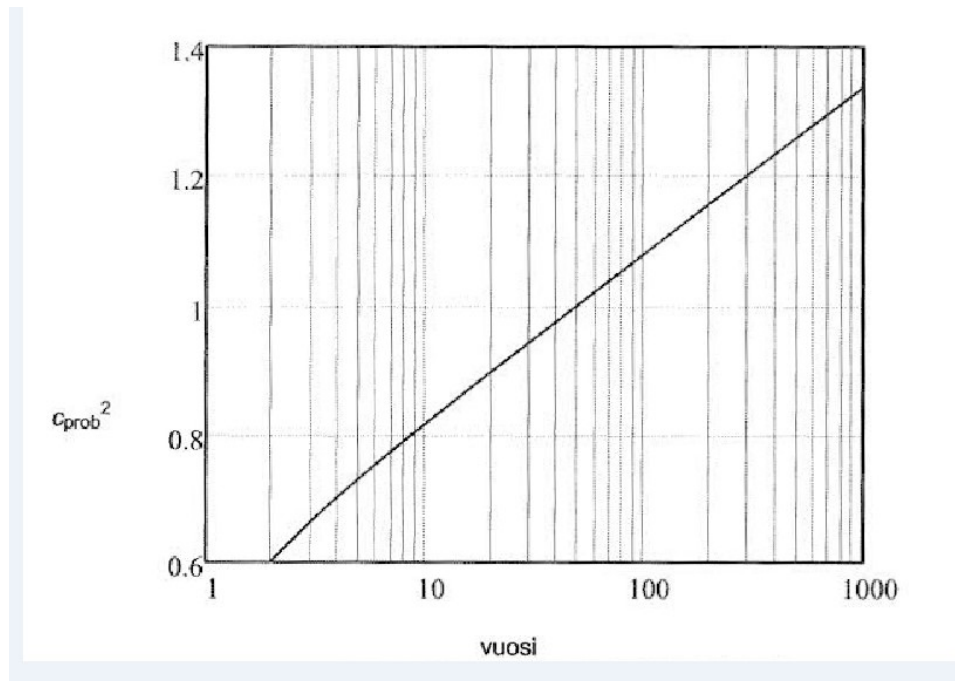
Kerran 100 vuodessa tapahtuvan suurimman tulvan laajuuden oletetaan pienenevän tulevaisuudessa Pohjois-Euroopassa (Groenemeijer et al. 2016). Kuitenkin Kahma et al. (2016) tekemiin aalto-, tuuli- ja vedenkorkeusmittauksiin perustuen Helsingin ranta-alueiden rakennuksien rakentamiskorkeuksien vaatimukset nousevat kuluvan vuosisadan aikana. Rakentamiskorkeuksiin vaikuttaa huomattavasti rakennuksen sijainti. Rakentamiskorkeuden vaatimuksen kasvu vuosien 2020 ja 2100 välillä on suuruusluokaltaan alle metrin. (Kahma et al. 2016)

## **6.2 Rakennesuunnittelussa huomioon otettavat luonnonkuormat**

Standardissa SFS EN-1990 (2006, s. 60) esitettävät ilmastosta aiheutuvat ominaiskuormat on määritelty 50 vuoden aikana tapahtuvan suurimman mahdollisen rasituksen mukaan. Tällöin todennäköisyys ominaisarvon mukaiseen kuormaan on 0,02 (Tikanoja et al. 2017, s. 98). Suunnittelukäyttöään ollessa yli 50 vuotta tulee suunnittelukuormissa ottaa huomioon ilmaston muutoksen vaikutukset.

Ilmatieteenlaitos (2017) kirjoittaa tuulen voimistuvan Skandinaviassa. Ilmatieteenlaitoksen mukaan tuulet voimistuvat koko Suomessa lukuun ottamatta Lappia (Gregow et al. 2017, Ilmatieteenlaitoksen 2017 mukaan). Gregow (2017) väittää katastrofisten myrskyjen lisääntyneen Pohjois-Euroopassa viimeisen 25 vuoden aikana (Gregow et al. 2017). Rakennukseen kohdistuva tuulikuorma saadaan laskettua puuskanopeuspaineen avulla (SFS EN-1990-1-4 2011, s. 46).

Kun rakenteen suunnittelukäyttöikä poikkeaa 50 vuoden perusarvosta, tulee puuskanopeuspainetta  $q_{p0}$  korottaa todennäköisyyskerroimella  $c_{prob}^2$ . Kerroin  $c_{prob}^2$  perustuu puuskanopeuspaineen  $q_{p0}$  maksimiarvon esiintymistodennäköisyyteen suunnittelukäyttöajan pituisessa ajassa. (Tikanoja 2017, s. 136) Kuvan 2 mukaan 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä todennäköisyyskerroin  $c_{prob}^2$  varmalle puolelle pyöristettynä on noin 1,1 ja 200 vuoden suunnittelukäyttöiällä noin 1,2.



**Kuva 2.** Todennäköisyyskerroimen  $c_{prob}^2$  arvot käyttöiän perusteella (Tikanoja 2017, s. 137).

Tulevaisuudessa sateen määrä tulee kasvamaan talvella. Etelä-Suomessa sade tulee vetenä tai räntänä, kun taas Pohjois-Suomessa lumena. (Jylhä et al. 2012) Tulevaisuudessa lämpötilan noustessa rakenteisiin kohdistuva lumikuorma Etelä-Suomessa saattaa siis olla pienempi kuin nykyään. Toisaalta Pohjois-Suomessa lumikuorma saattaa olla nykyistä suurempi.

Ympäristöministeriön ohjeiden (2016, s. 12) mukaan tulee ilmastosta johtuvien kuormien määrittämisessä ottaa huomioon suunnittelukäyttöajan pituus. Suunnittelukäyttöiän ollessa yli 50 vuotta tulee ilmastosta johtuvia ominaiskuormia korottaa kertoimella 1,1.



Kun suunnittelukäyttöikä on yli 100 vuotta, kerroin on 1,2. Tällaisia ilmastosta riippuvia kuormia ovat lumi-, tuuli- ja jääkuormat. Jos rakenteeseen aiheutuu kuormia ulkotilan lämpötilan vaihtelusta, tulee tehdä käyttöiän huomioiva korotus. (Ympäristöministeriö 2016, s. 12).

### **6.3 Rakennesuunnittelussa huomioon otettavat muut suunnittelukuormat**

Myös muut kuin ympäristöstä aiheutuvat kuormat saattavat muuttua rakennuksen käyttöiän aikana. Rakennusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon sen muuntojoustavuus. Tikanoja et al. (2017, s. 63) huomauttaa, että siirrettävien väliseinien liikuttaminen paikasta toiseen rakennuksen käyttöiän aikana muuttaa pysyvän ja kiinteän omapainon liikkuvaksi kuormaksi. Rakennesuunnittelussa tätä muuttuvaa kuormaa voidaan käsitellä lisähyötykuormana (Tikanoja et al. 2017, s. 63).

Rakennuksen korjaus- tai muutostyöt saattavat aiheuttaa rakennukselle suunnittelutilanteesta poikkeavia kuormia. Maankäyttö- ja rakennuslain (958/2012) 17 luvun ja 117 pykälän perusteella rakennuksen korjaus- ja muutostyöt tulee tehdä niin, että rakennus kestää työstä aiheutuvat kuormat. Näin ollen voidaan todeta, että korjaus- tai muutostyötä tekevän tahon tulee selvittää rakenteiden sallitut kuormat ja toteuttaa työt niiden puitteissa.

## 7. YHTEENVETO

Rakennusta tai yksittäisiä rakenteita suunniteltaessa määritetään niille suunnittelukäyttöikä. Suunnittelukäyttöiällä tarkoitetaan aikaa, jonka kuluttua rakennus tai rakenne on 5 % todennäköisyydellä vaurioitunut. Rakenteen käyttöikä voidaan jatkaa tekemällä vaaditut korjaukset tai vaihtamalla käyttökelvottomat osat. Esimerkiksi 50 vuoden suunnittelukäyttöiälle rakennettu rakennus saattaa kestää jopa 500 vuotta.

Usein tilaaja valitsee rakennuksen käyttöiän. Tämän perusteella rakennesuunnittelija valitsee suunnittelukäyttöiät rakenteille. Erirakennesoilla voi olla eripituisia suunnittelukäyttöikä. Helposti ja edullisesti vaihdettavat rakenneosat voivat olla suunniteltu lyhyemmälle käyttöiälle kuin itse rakennus. Kun taas hankalasti vaihdettavien runkorakenteiden ja perustusten suunnittelukäyttöiät tulee valita rakenteen käyttöiän pituisiksi. Suunnittelukäyttöiän määrittäminen on epätarkkaa, joten sille kannattaa käyttää arvoja 50, 100 tai 200 vuotta.

Rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon rakenteeseen ympäristöstä kohdistuvat rasitukset, koska rakenteen tulee kestää siihen kohdistuvissa rasitusoloissa koko käyttöikänsä ajan. Ympäristön aiheuttamien rasitusten mukaan on määritelty rasitusluokat, joita käytetään rakennesuunnittelun lähtötietona. Tavanomaisessa asuinkerrostalossa huomioon otettavat rasitustekijät ovat karbonatisoituminen, pakkasrasitus ja suolapakkasrasitus. Rakennesuunnittelussa on kuitenkin aina otettava huomioon kohdekohtaiset vaatimukset, jolloin rakenteeseen saattaa kohdistua myös muita rasituksia.

Rakennuksen tai rakenteen suunnittelukäyttöiän ollessa 50 tai 100 vuotta voidaan rakennesuunnittelussa käyttää taulukkomitoitusta. Tällöin käytetään standardin SFS-EN 1992-1-1 mukaisia taulukoita, joissa esitetään arvoja betonipeitteen nimellisarvolle, betonin lujuudelle ja betonin halkeilulle. Näiden lisäksi Suomen Betoniyhdistyksen julkaisussa by 65 Betoninormit 2016 (Johansson & Mannonen 2016) on esitetty yksinkertaisemmat taulukot, joista voidaan lukea suoraan suunnitteluparametrit.

Laskennallista mitoitusta voidaan käyttää, kun rakennuksen tai rakenteen suunnittelukäyttöikä on 200 vuotta tai lyhyempi. Laskennallinen mitoitus on kuitenkin työlämpi kuin taulukkomitointi, joten sen käyttö 50 tai 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä on harvinaista. Laskennallisessa mitoituksessa lasketaan suunnittelukäyttöiän pituutta. Laskentatapa määräytyy rakenteen rasitusluokkien perusteella. Jos rakenne kuuluu useampaan rasitusluokkaan, tulee suunnittelukäyttöikä laskea jokaisen rasitusluokan mukaisesti ja valita niistä lyhin suunnittelukäyttöikä. Karbonatisoitumisen ja pakkasrasituksen suhteen suunnittelukäyttöikä saadaan 50 vuoden vertailukäyttöiän ja useiden rakenne-

kohtaisten kerrointen tulosta. Näihin kertoimiin vaikuttaa rakenteen ominaisuudet, ympäristörasitusten kohdistuminen rakenteeseen ja rakenteen huolto. Kun rakenteeseen kohdistuu suola-pakkasrasitusta, lasketaan suunnittelukäyttöikä P-luvun avulla.

Rakennesuunnittelussa tulee ottaa huomioon rakenteeseen kohdistuvat mekaaniset kuormat. Ilmaston muutoksen oletetaan aiheuttavan lämpötilan nousua muutamalla asteella vuoteen 2100 mennessä. Näin ollen ympäristön aiheuttamat kuormat saattavat muuttua. Esimerkiksi Etelä-Suomessa lumikuorman oletetaan pienentyvän kun taas tuulikuorman oletetaan kasvavan nykyisestä. Ilmaston muuttuminen tulee ottaa huomioon rakennesuunnittelussa kertoimilla, jotka kasvattavat ympäristökuorman mitoitusarvoa. Suunnittelukäyttöiän olleessa 50 vuotta kerroin on 1,1 kun taas 100 vuoden suunnittelukäyttöiällä kerroin on 1,2. Myös muut tiedossa olevat kuormien muutokset tulee ottaa huomioon rakennesuunnittelussa.

## LÄHTEET

Ala-Outinen, T., Harmaaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M. & Törnqvist, J. (2004). Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. 83 s.

Airola, H., Brörkvist, J., Isakov, V., Jokinen, H., Kahma, K., Kilpinen, J., Korhonen, O., Kuusisto-Hjort, P., Lilja, J., Leijala, U., Roine, T., Sievänen, T., Tikka, K., Tuomi, L., Vahtera, E., Vermeer, M. & Vähäaho, I. (2016). Turvalliset rakentamiskorkeudet Helsingin rannoilla 2020, 2050 ja 2100. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto, Geotekninen osasto. Helsinki. 128 s.

Gregow, H., Laaksonen, A. & Alper, M. E. (2017). Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific Reports* 7, Article number: 46397. 7 p. Saatavissa (Viitattu 8.3.2018): <https://www.nature.com/articles/srep46397>

Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Venäläinen, A., Gregow, H., Becker, N., Nissen, K., Ulbrich, U., Morales Nápoles, O., Paprotny, D. & Púčik, T. (2016). Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. Rain project, D2.5 (Hydro-)meteorological hazard probability in Europe. 165 p. Saatavissa (Viitattu: 8.3.2018): [https://www.researchgate.net/publication/308034040\\_Present\\_and\\_future\\_probability\\_of\\_meteorological\\_and\\_hydrological\\_hazards\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/308034040_Present_and_future_probability_of_meteorological_and_hydrological_hazards_in_Europe)

Ilmatieteen laitos. (2011). ACCLIM II-hankkeen lyhyt loppuraportti 2011. Helsinki. Saatavissa (Viitattu: 8.3.2018): [http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=f72ce783-0bae-4468-b67e-8e280bec1452&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f72ce783-0bae-4468-b67e-8e280bec1452&groupId=30106)

Johansson, K. & Mannonen, R. (2016). by 65 Betoninormit 2016. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki. 164 s.

Köliö, A., Lahdensivu, J. & Pentti, M. (2017). The role of active corrosion phase in the service life of concrete facades exposed to nordic climate. *Nordic Concrete Research* NO. 56. p. 11–24.

Köliö, A., Pakkala, T., Hohti, H., Laukkarinen, A., Lahdensivu, J., Mattila, J. & Pentti, M. (2016). The corrosion rate on reinforced concrete facades exposed to outdoor environment. *Material and Structures*. 50:23. 16 s.

Köliö, A., Pakkala, T., Lahdensivu, J. & Kiviste M. (2014). Durability demands related to carbonation induced corrosion for Finnish concrete buildings in changing climate. *Engineering Structures*. Volumes 62-63. pp. 42–52.

Lahdensivu, J. (2012), Durability Properties and Actual Deterioration of Finnish Concrete Facades and Balconies. PhD thesis, TUT Publ. 1028, Tampere University of Technology. 117 p.

Lahdensivu, J., Köliö, A., Pakkala, T. & Koskinen, J. (2013). by 42 Betonijulkisivun-kuntotutkimus 2013. Suomen Betoniyhdistys ry. Helsinki. 163 s.

Liikennevirasto. (2016). Siltabetonien P-lukumenettely. Liikennevirasto. Helsinki. 19 s.

Maankäyttö- ja rakennuslaki, L 5.2.1999/132, 1999. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/>

Maankäyttö- ja rakennuslaki, L 21.12.2012/958. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/>

Pakkala, T., Lempberg, A-M., Lahdensivu, J. & Pentti, M. (2016). The effect of climate change on the amount of wind driven rain on concrete facades. *Proceedings of the CIB World Building Congress 2016*. Volume 2. Tampere University of Technology. Department of Civil Engineering. pp. 153–165.

Pentti, M. (1994). Rakenteiden ja rakennusmateriaalien käyttöikä. Korjausrakentamisen täydennyskoulustus I, RIL K 166-1994. Helsinki. s. 67–83.

Punkki, J. (2017). by 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu: opas suunnittelijoille. BY-Koulutus Oy. Helsinki. 95 s.

Ruosteenoja, K. (2013). Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot (SETUKLIM) 1. osahanke. Ilmatieteen laitos. 15 s. Saatavissa (Viitattu 8.3.2018): [http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106)

Sarja, A. (2013). RIL 216-2013 Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Helsinki. 238 s.

SFS-EN 1990 (2006). Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 184 s.

SFS-EN 1992-1-1 (2015). Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 218 s.

SFS-EN 206 (2014). Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki. 92 s.

SFS 7022 (2015). Betoni. Standardin SFS-EN 2016:2014 käyttö Suomessa. Suomen standardoimisliitto. Helsinki. 23 s.

Suomen Betoniyhdistys. (2016). by 50 Betoninormit 2012. BY-Koulutus Oy. Helsinki. 251 s.

Ympäristöministeriö. (2016). Rakenteiden lujuus ja vakaus: Kantavien rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki. 24 s. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset> > Rakenteiden lujuus ja vakaus > Rakenteiden yleiset suunnitteluperusteet, säännökset ja ohjeet, 2016