

BETONIRAKENTEIDEN KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU

Jouni Punkki

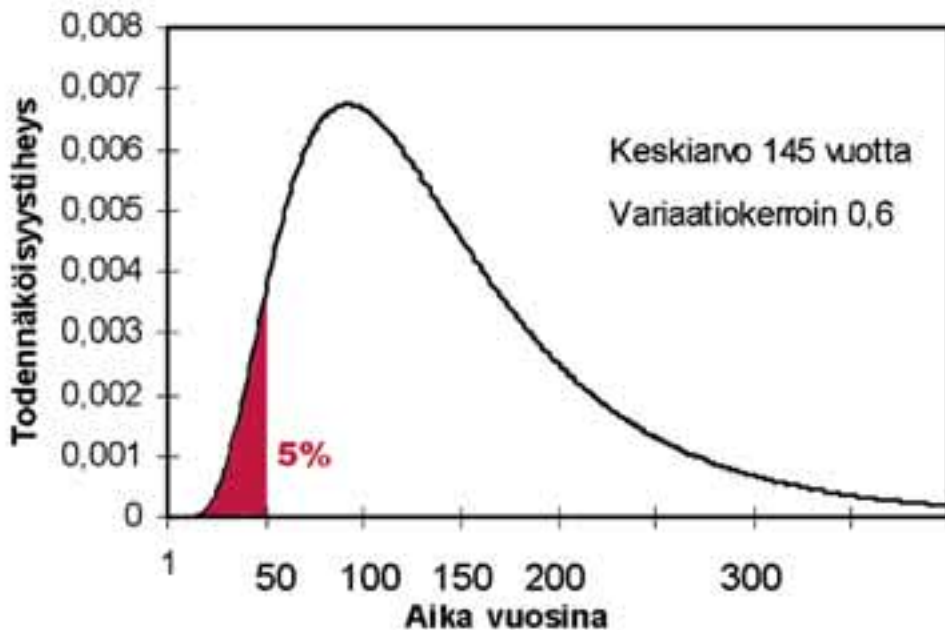
tekn.tri, elinkaari-insinööri, Parma Oy

	Asuinrakennus Normaalitaso	Asuinrakennus PLUS-taso	Toimistorakennus Normaalitaso	"Monumentaali"- rakennus	Pysäköintitalo, kylmä rakenne
RAKENNUS	50 v	100 v	50 v	200 v	50 v
Perustukset	100 v	100 v (200 v)	100 v	200 v	100 v
Kantava runko (sisärakenteet)	100 v (200 v)	200 v	100 v (200 v)	200 v	
Kantava runko (ulkorakenteet)					50 v
Ulkoseinät	50 v (100 v)	100 v	50 v (100 v)	100 v ¹⁾ (200 v)	50 v

¹⁾ julkisivujen suunnittelukäyttöäin ollessa 200 vuotta tulisi kiinnittää huomiota julkisivujen vaihdettavuuteen. 200 vuoden aikana voi esimerkiksi olla tarpeen vaihtaa lämmöneristeet parempiin.

Taulukko 1

Tyypillisiä suunnittelukäyttöikäitä betonirakenteille. Koko rakennuksen suunnittelukäyttöikä on esitetty lihavoituna. Suluissa on esitetty vaihtoehtoiset suunnitteluiät.



¹⁾ Esimerkki käyttöiän jakautumakäyrästä. Suunnittelukäyttö on 50 vuotta.

Betoninormit ovat uudistuneet. Uusi Suomen Rakennusmääräyskokoelman B4, *Betonirakenteet* tulee voimaan 1.1.2005. Lähtökohdaksi normiuudistukseen oli eurooppalaisen betonistandardin, SFS-EN 206-1, käyttöönotto, mutta samalla on täsmennetty betonin säilyvyyteen liittyviä vaatimuksia. Konkreettisen uuden betoninormin aiheuttama muutos on betonirakenteilta edellytettävä käyttöikämitoitus. Jatkossa betonirakenteet on suunniteltava ja valmistettava 50...200 vuoden käyttöiälle.

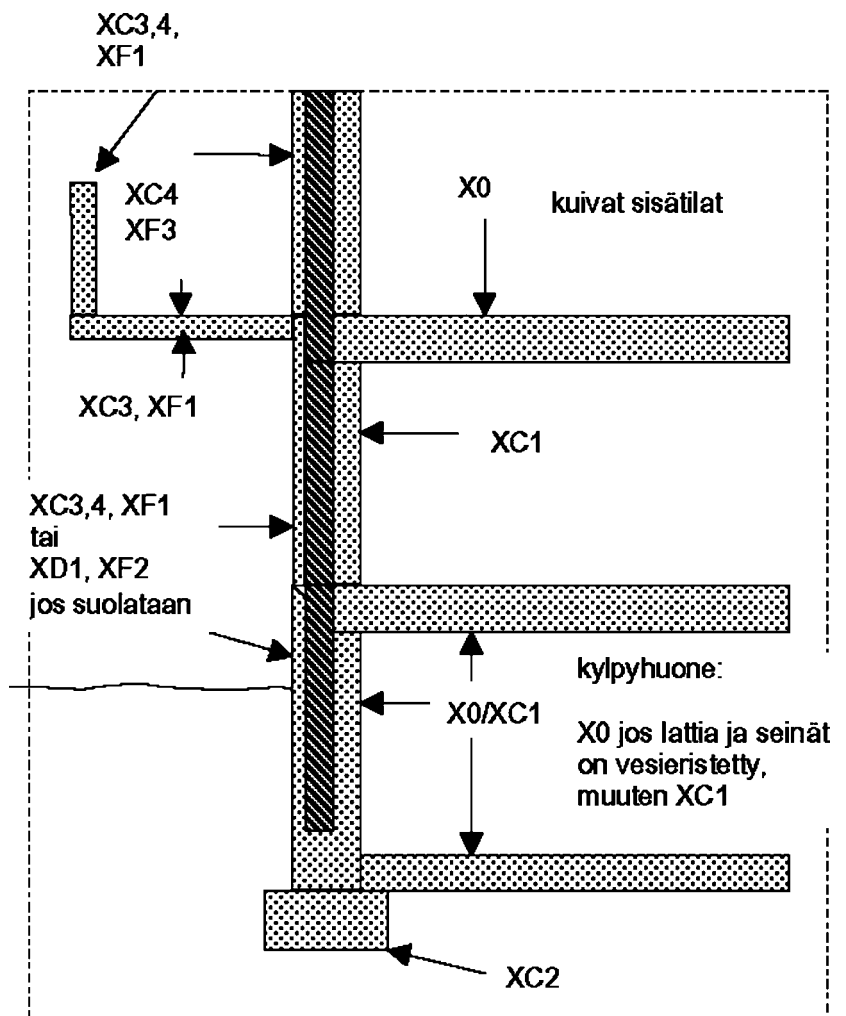
Käyttöikäsuunnittelussa ei sinänsä ole mitään uutta, betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelua on tehty jo kymmeniä vuosia. Uutta on kuitenkin normitason edellytys käyttöikäsuunnitteluun. Muille rakennusmateriaaleille vastaavaa vaatimusta ei vielä ole ja suomalainen käytäntö lienee myös ainutlaatuisen koko maailmassa. Eurooppalainen betonistandardointi ei edellytä käyttöikäsuunnittelua, vaan kyseessä on suomalaisittain tehty täsmennykset.

Piirustuksiin on jatkossa merkittävä betonirakenteiden rasitusluokat sekä suunnittelukäyttöikä. Rasitusluokat kertovat millaiseen ympäristöön rakenne joutuu ja suunnittelukäyttöikä kertoo kuinka kauan rakenteen kyseisessä ympäristössä tulee kestää. Nämä molemmat tiedot tarvitaan, koska esimerkiksi pelkästään rasitusluokan avulla rakennetta ei voida valmistaa.

KÄYTTÖIKÄSUUNNITTELU

Puhdasoppisesti käyttöikäsuunnittelu toimii niin, että rakennuksen tilaaja ensin valitsee rakennuksen tavoitekäyttöiän rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. Tavoitekäyttöiän perusteella suunnittelija määrittelee rakennuksen suunnittelukäyttöiän. Tämän jälkeen tärkeimmille rakennusosille valitaan kullekin omat suunnittelukäyttöiät. Rakennusosien käyttöikävaatimukset vaihtelevat rakennusosittain ja niiden ei tarvitse olla yhtä pitkät kuin koko rakennuksen. Periaatteena onkin mitä vaikeampaa ja kalliimpaa rakennusosan korjaaminen on, sitä pidemmäksi käyttöikävaatimus on asetettava. Esimerkiksi perustusten ja rakennuksen rungon suunnittelukäyttöikä on valittava vähintään rakennuksen suunnittelukäyttöikä. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisiä käyttöikävaatimuksia betonirakenteille.

Rakennuksen käyttökelpoisuus ei pääty raken-



nuksen suunnittelukäyttöön täytyttyä. Rakennuksen käyttöä jatketaan korjaamalla tai vaihtamalla käyttöikänsä päähän päässeitä rakennusosia, näinhan on tehty aikaisemminkin. Eli vaikka rakennuksen käyttöä ilmoitetaan esimerkiksi 50 vuotta, rakennusta voidaan haluttaessa käyttää 200 tai vaikkapa 500 vuotta.

SUUNNITTELUKÄYTTÖIKÄ

Suunnittelukäyttöikä määritellään ajanjaksoksi, jonka ajan betonirakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa. Suunnittelukäyttöikä arvioidaan normaalisti 95% varmuustasolla käyttäen log-normaalista jakaumaa. Käytännössä esimerkiksi suunnittelukäyttöään ollessa 50 vuotta, 5% kyseisistä komponenteista voi vaurioitua ennen 50 ikävuotta, puolet kestää lähes 150 vuotta ja pitkäikäisimmät kestävät noin 300 vuotta (kuva 1).

Juuri käyttöään laajasta hajonnasta johtuen suunnittelukäyttöikä ei kannata ajatella liian kirjaimellisesti. Käytännössä suunnittelukäyttö on ajanjakso, jonka rakenne kestää ilman korjaustarvetta edellyttäen, että rakennetta huolletaan. Suunnittelukäyttöön ylityttyä korjaustarpeen todennäköisyys kasvaa, mutta korjaus voi tulla ajan-kohtaiseksi vasta kaukana tulevaisuudessa. Valitsemalla pidempi käyttöikä, esimerkiksi 100 vuotta 50 vuoden sijaan, voidaan vauriotodennäköisyyttä olennaisesti pienentää. Myös käyttöikälaskennassa on muistettava vaikeus tulevaisuuden ennustamisen suhteen.

RASITUSLUOKAT

Rasitusluokat korvaavat aikaisemmat ympäristöluokat. Samalla myös koko periaate muuttuu. Entiset ympäristöluokat olivat tavallaan tyyppisten rasitusten yhdistelmiä, esimerkiksi Y2 – E2b piti sisällään sekä terästen korroosion että pakkasrasituksen. Rasitusluokat ovat sen sijaan yksittäisiä rasituksia ja suunnittelijan on otettava huomioon useampia rasitusluokkia. Rasitusluokat jaetaan kuuteen ryhmään:

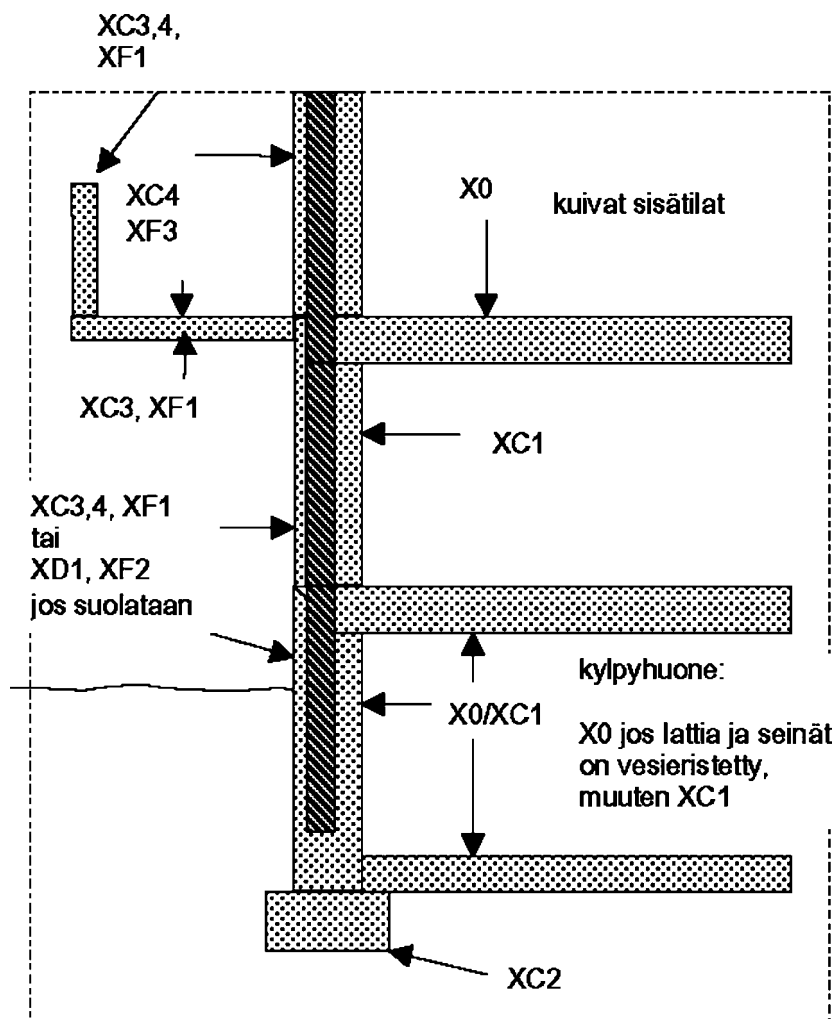
X0	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa
XC	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
XD	Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korroosio
XS	Meriveden kloridien aiheuttama korroosio
XF	Jääditys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä
XA	Kemiallinen rasitus

Näistä ensimmäinen, X0, tulee kyseeseen vain sisätiloissa, joissa on hyvin alhainen kosteuspitoisuus. Myös raudoittamattomat betonirakenteet sisätiloissa voidaan suunnitella rasitusluokkaan X0. Sisärakenteet voidaan asettaa X0:n ohella myös rasitusluokkaan XC1. Raja näiden kahden luokan välillä on osittain harkinnanvarainen, mutta toisaalta vaatimukset ovat hyvin samantasoiset. Normaalit betonirakenteet täyttävät 200 vuoden vaatimukset rasitusluokissa X0 ja XC1.

Lähes kaikkia betonirakenteita koskee jokin XC-rasitusluokka. XC2 koskee erittäin kosteissa olosuhteissa olevia rakenteita, käytännössä maanalai-

2

Asuinrakennuksen tyypillisimmät rasitusluokat.



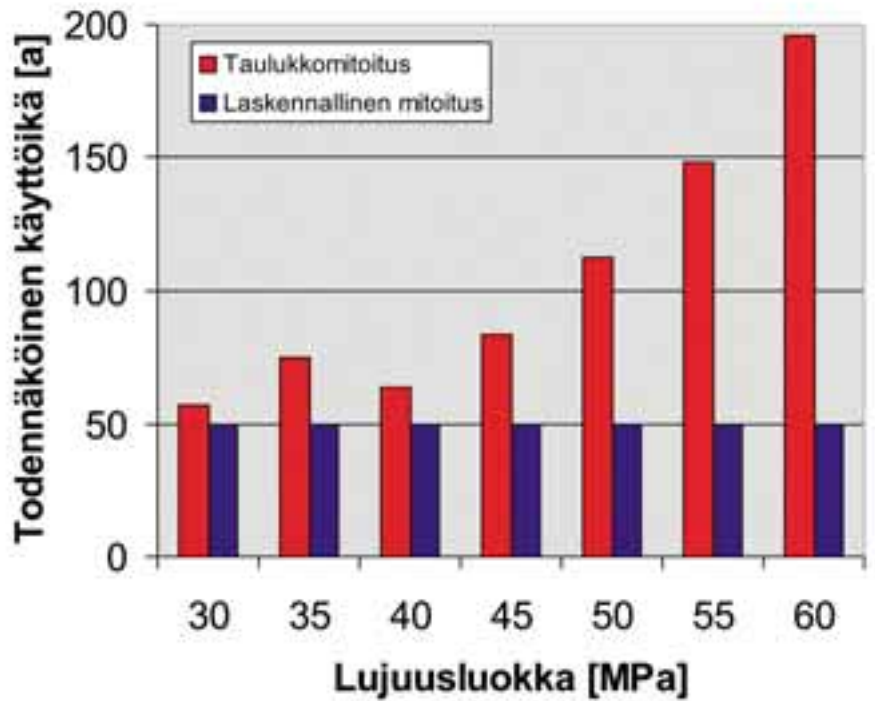
2
Asuinrakennuksen tyypillisimmät rasisusluokat.

Taulukko 2
Tyypillisiä rasisusluokkayhdistelmiä.

RASITUSLUOKKAYHDISTELMÄ	KÄYTTÖALUE
X0	Raudoittamattomat rakenteet tai erittäin kuivat sisätilat
XC1	Normaalit kuivat sisätilat
XC2	Maan alla olevat betonirakenteet, esim. osa perustuksista
XC3	Sateelta suojatut ulkorakenteet, ei pakkasrasitusta Kosteat sisätilat
XC3,4 – XF1	Pystyrakenteet ulkona, osa rakenteesta voi olla sateelta suojattu, osa sateelle altis, esim. julkisivut
XC3 – XF1	Sateelta suojatut vaakarakenteet ulkona, kosteuspitoisuus korkea, esim. pysäköintitalojen vaakarakenteet
XC3,4 – XF3	Pakkasrasitetut vaakarakenteet ulkona, esim. parvekelaatat
XC3,4 – XD1 – XF2	Lievästi pakkassuolarasitetut rakenteet, jäänsulatussuolaa voi lentää rakenteeseen ilmavirran mukana
XC3,4 – XD3 – XF4	Ankarasti pakkassuolarasitetut rakenteet, suolapitoista vettä lentää suoraan rakenteeseen

sia betonirakenteita. XC3 koskee sateelta suojattuja ulkorakenteita ja XC4 vastaavasti sateelle alttiita ulkorakenteita. Käytännössä kuitenkin useimmat ulkorakenteet täytyy mitoittaa sekä XC3:n että XC4:n mukaan, koska ei voida olla täysin varmoja siitä, onko koko rakenne sateelta suojattu vai sateelle altis. Karbonatisoitumisen suhteen XC3 on vaativampi luokka, mutta karbonatisoitumisen ja pakkasrasituksen yhteisvaikutuksen suhteen XC4 on vaativampi.

Pakkasrasituksen osalta XF1 ja XF3 ovat pakkasrasituksia ilman suolaa ja XF2 ja XF4 vastaavasti suolan kanssa. XF1 koskee lähinnä pystyrakenteita ja erityisen lievästi pakkasrasitettuja vaakarakenteita. XF3 koskee vaakarakenteita. XF2:n ja XF4:n osalta jako perustuu vain rasisituksen voimakkuuteen.



XD- ja XS-luokat tulevat kysymykseen, jos rakenteeseen kohdistuu kloridirasitus. Jos kloridit tulevat jäänsulatusaineista, kyseessä on XD-luokat ja jos merivedestä, kyseessä on XS-luokat. XD- ja XS-rasitusluokkien suhteen on varottava tarpeettoman ankan luokan valintaa, koska tällöin vaatimuksen betonipeitteen osalta saattavat nousta kohtuuttomalle alueelle.

Rasitusluokkien valinta on suunnittelijan tehtävä. Rasitusluokkien määrittelyssä voidaan käyttää apuna by50:n sisältämiä kuvia asuinrakennukselle (kuva 2) ja pysäköintitalolle. Taulukossa 2 on esitetty tyypillisimpiä rasitusluokkayhdistelmiä. Taulukosta puuttuvat meriveden kloridirasitukseen sekä aggressiiviseen ympäristöön liittyvät rasitusluokat (XS ja XA).

KÄYTTÖIKÄMITOITUS BY50:N MUKAAN

Uudet betoninormit, by50, tarjoaa kaksi tapaa käyttöikämitoitukseen. Yksinkertaisella taulukkomitoituksella voidaan mitoittaa rakenteet kaikissa rasitusluokissa. Taulukosta 4.7 (by50: s. 104) saadaan betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot, kun suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta. Taulukosta 4.8 saadaan vastaavat arvot 100 vuoden suunnittelukäyttöiälle. Taulukkomitoitusta käytettäessä betonipeitteen vähimmäisarvo saadaan taulukosta 2.17 (by50: s. 73). Taulukkomitoitus on yksinkertainen menetelmä, mutta ei mahdollista optimointia. Taulukkomitoitus onkin käyttökelpoinen lähinnä vain, jos betonirakenteen puristuslujuus on lähellä taulukon 4.7 minimitasoa. Muussa tapauksessa menetelmä johtaa helposti tarpeettomaan ja hallitsemattomaan käyttöiän ylitykseen.

Tavallisimpia rasitusluokkayhdistelmiä varten on kehitetty tarkemmat käyttöiän mitoitusmenetelmät. Ulkorakenteet ilman pakkassuolarasitusta voidaan tehokkaasti mitoittaa laskennallisella mitoituksella (by50: Liite 4). Pakkassuolarasitettujen betonin pakkasenkestävyys mitoitetaan tutulla P-lukuun perustuvalla menetelmällä. XD- ja XS-rasitusluokissa

betonipeitettä voidaan pienentää alentamalla betonin vesi-sementtisuhdetta. Käytettäessä laskennallista mitoitusta tai XD- ja XS-luokkien tarkempaa menetelmää eivät taulukon 2.17 betonipeitteen vähimmäisarvot ole enää voimassa.

Koska käyttöikä terästen korroosion suhteen on riippuvainen betonipeitteestä sekä lujuusluokasta (XC), suunnittelijan on tehtävä käyttöikäsuunnittelu terästen korroosion osalta. Pakkaskestävyyden suhteen tilanne on kuitenkin toinen. Suunnittelijan tehtävänä on määrittellä rasitusluokka pakkasenkestävyyden suhteen sekä luonnollisesti suunnittelukäyttöikä. Valmistaja valitsee betonin ominaisuudet siten, että vaatimukset täyttyvät. Valmistajan on ositettava vaatimustenmukaisuuden täyttymisen betoninormeissa esitetyllä tavalla. Suunnittelijan ei pitäisi asettaa mitään lisävaatimuksia pakkasenkestävyydelle, rasitusluokkaa ja suunnittelukäyttöikä riittävät.

LASKENNALLINEN MITOITUS (KERROINMENETELMÄ)

Laskennallinen mitoitus on tehokas käyttöiän mitoitusmenetelmä ulkorakenteille, joihin kohdistuu pakkasrasitus, mutta ei pakkassuolarasitusta. Menetelmä kattaa käyttöiät 50...200 vuotta. Menetelmä perustuu kansainväliseen standardiin ISO 15686-1. Erkki Vesikari (VTT) on kehittänyt menetelmää suomalaisia olosuhteita ja betonirakenteita silmällä pitäen. Menetelmällä voidaan tehdä käyttöikämitoitus sekä betonin pakkasenkestävyyden että karbonatisoitumisen / terästen korroosion suhteen.

Käyttöikä betonin pakkasenkestävyyden suhteen lasketaan betonin ilmapitoisuuden ja vesi-sementtisuhdetta avulla. Lisäksi rakenneyksityiskohdat, työn suoritus, ulkoinen säärasitus sekä huoltotoimenpiteet vaikuttavat käyttöikään. Karbonatisoitumisen / teräskorroosion osalta tärkeimmät tekijät ovat betonipeite ja betonin lujuus. Näiden lisäksi käyttöikään vaikuttaa työn suoritus, ulkoinen säärasitus sekä huoltotoimenpiteet. Te-

3

Betonirakenteen todennäköinen käyttöikä puristuslujuuden funktiona taulukko- ja laskennallisella mitoituksessa määritettynä. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta.



4, 5, 6

Turun Yliopiston Kasarmialueella on käytetty julkisivujen suunnittelukäyttöikänä 200 vuotta. Julkisivut on toteutettu ripustetulla kuorielementtiratkaisulla, joka mahdollistaa kuorien irrottamisen tarvittaessa.

rästen korroosion osalta riski voidaan kokonaisuudessaan eliminoida käyttämällä ruostumattomia raudotteita, tällöin käyttöikä terästen korroosion suhteen oletetaan olevan 200 vuotta betonipeitteestä riippumatta.

Laskennallinen mitoitus on hyvin edistyksellinen laskentamenetelmä ja se mahdollistaa betonirakenteiden tarkan käyttöikämitoituksen. Taulukkomi- toitus saattaa korkeammilla lujuustasoilla johtaa jopa 4-kertaiseen ylimitoitukseen käyttöiän osalta. Siten laskennallista mitoitusta tulisikin käyttää aina, kun betonin puristuslujuus ylittää taulukon 4.7 vaatimustason. Käytännön työkaluja laskennalli- seen mitoitukseen ovat mm. VTT:n Ennus-Betoni sekä by501:ssä oleva käyttöiän laskentaohjelma.

PAKKASSUOLARASITETUT RAKENTEET

Pakkassuolarasitetuissa rakenteissa betonin pak- kasenkestävyyden käyttöikämitoitus tehdään *Sep- po Matalan* ja *Erkki Vesikarin* kehittämän P-luvun avulla. Lievemässä rasitusluokassa (XF2) P-luvun ja suunnittelukäyttöiän välinen yhteys on 1:2. Anka- rammassa rasitusluokassa (XF4) vastaava suhde on 1:1,25. Siten esimerkiksi rasitusluokassa XF2, suun- nittelukäyttöiän ollessa 50, saadaan P-luku vaati- mukseksi P25. Myös itse P-luvun laskentaan on teh- ty pieniä muutoksia johtuen lähinnä vesi-sementti- suhteen laskentatavan muutoksesta.

XD- JA XS-RASITUSLUOKAT

Betonirakenteen käyttöikä teräskorroosion suhteen voidaan määrittää laskennallisella mitoituksella, mutta ainoastaan karbonatisoitumisen suhteen (vain XC-luokissa). Kun teräskorroosion potentiaali- nen aiheuttaja on kloridit, esitetty laskennallinen



Antti Luutonen

5

mitoitus ei ole käyttökelpoinen. Myöskään ruostumattomien terästen käytöllä ei voida eliminoida teräskorroosion riskiä XD- ja XS-rasitusluokissa.

Taulukon 23 (by50: s. 230) avulla voidaan vaikuttaa vaadittavaan betonipeitteeseen XD- ja XS-luokissa. Vesi-sementtisuhdetta alentamalla vaadittavaa betonipeitettä voidaan pienentää. Vesi-sementtisuhteavaatimus on esitettävä piirustuksissa, mikäli betonipeitettä pienennetään vesi-sementtisuhdetta alentamalla.

KEHITTÄMISTARPEET

Uusia määräyksiä on kritisoitu kohtuuttoman ankariksi. Ovathan vaatimukset pakkasrasitetuissa rakenteissa, esimerkiksi julkisivuissa, kertaluokkaa tiukemmat kuin Ruotsissa. Kokonaisuutena voitaisiin kuitenkin arvioida, että uudet normit takaavat betonirakenteiden säilyvyyden entistä luotettavammin. Ja antavathan uudet normit valmistajalle entistä enemmän mahdollisuuksia tuotantonsa optimointiin.

Sen sijaan XD- ja XS-rasitusluokissa on riskinä betonipeitteiden selkeä kasvu aikaisempaan verrattuna. Liian paksut betonipeitteet kasvattavat rakenteiden dimensioita ja ennen kaikkea kasvattavat halkeamaleveyksiä. Osittain betonipeitteiden kasvu lienee perusteltuakin, mutta XD- ja XS-luokkiin tarvitaan jatkossa tarkempi mitoitusmenetelmä.

Betonirakenteet ovat edelläkävijän roolissa rakentamisen käyttöikäsuunnittelussa. Toivottavasti muutkin materiaalit seuraavat vähitellen perässä. Ja olisi tervetullutta, jos rakennustasollakin ryhdyttäisiin käyttöikäsuunnitteluun. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnitteluun olisi tukevampi perusta, kun tiedettäisiin itse rakennuksen käyttöikätaivoite.

SERVICE LIFE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES

Concrete norms have been revised. The new Part B4 of the Finnish Building Code, Concrete Structures, will be enforced on 1 January 2005. The starting point of the revision has been the adoption of the European Concrete Standard SFS-EN 206-1, but at the same time more specific requirements have been laid down for the durability of concrete. The most concrete change introduced by the new Concrete Norm is that the service life design of concrete structures becomes compulsory. In the future, concrete structures shall be designed and manufactured for a service life of 50-200 years.

Service life design as such is nothing new; it has been applied to concrete structures for decades. What is new, however, is that it becomes compulsory pursuant to the Concrete Norm. Service life design is at present not required of any other building materials, and the new Finnish practice is probably unique in the whole world. The European Concrete Standards contain no requirement for service life design, this is an additional requirement included in the Finnish Building Code.

From now on, the exposure class and the design service life of the concrete structures shall be shown in the drawings. The exposure class indicates in what type of an environment the structure will be used and the design service life how long the structure shall sustain in that environment. These values are both required, as a structure cannot be manufactured on the basis of just the exposure class, for example.

6



Maritta Kouvisto