

Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu

Jouni Punkki, tekn.tri, professori
Aalto-yliopisto, rakennustekniikan laitos
jouni.punkki@aalto.fi
Betoniviidakko Oy
jouni.punkki@betoniviidakko.fi



1

Suomi on ollut betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelun edelläkävijä. Jo vuodesta 2005 lähtien betonirakenteilta on edellytetty käyttöikäsuunnittelua. Kantavat betonirakenteet mitoitetaan normaalisti 50 tai 100 vuoden käyttöiällä huomioiden rakenteisiin kohdistuvat ympäristörasitukset, kuten betonin karbonatisoituminen, pakkasrasitus, kloridien tunkeutuminen ja kemiallinen rasitus.

Käyttöikäsuunnittelua on käsitelty Betoni-normeissa (by 50 ja by 65: 2016) ja lisäksi Betoniyhdistyksen julkaisussa by 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. By 51 päivitettiin vuonna 2016 julkaisulla *by 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – Opas suunnittelijoille*. Vanhentuneet tiedot korjattiin ja samalla julkaisu pyrittiin tekemään käyttäjystävällisemmäksi.

Käyttöikäsuunnittelun periaatteet

Käyttöikäsuunnittelulla tarkoitetaan rakenteiden kestävyys suunnittelua säilyvyyden osalta. Lähtötietona käyttöikäsuunnitteluun tarvitaan ympäristöolosuhteet (rasitusluokat) sekä ajanjakso, jonka rakenteen edellytetään kestävän (suunnittelukäyttöikä).

Suunnittelukäyttöikä määritellään ajanjaksoksi, jonka ajan betonirakenteen ominaisuudet valitulla todennäköisyydellä säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa (huolletaan). Suunnittelukäyttöikä arvioidaan normaalisti 95 % varmuustasolla käyttäen log-normaalista jakaumaa. Käytännössä esimerkiksi suunnittelukäyttöiän ollessa 50 vuotta, tilastollisesti 5 %

kyseisistä rakenteista voi vaurioitua ennen 50 ikävuotta, puolet kestää lähes 150 vuotta ja pitkäikäisimmät kestävät kohdat noin 300 vuotta (kuva 2). Suunnittelukäyttöiän ylityttyä rakenteen käyttöikää voidaan niin halutessa jatkaa suhteellisen paikallisilla korjaustoimenpiteillä. Valitsemalla pidempi käyttöikä, esimerkiksi 100 vuotta 50 vuoden sijaan, voidaan vauriotodennäköisyyttä pienentää.

On huomattava, että käyttöikälaskelmiin sisältyy runsaasti hajontaa, sekä betonin ominaisuudet vaihtelevat, mutta erityisesti ympäristöolosuhteissa esiintyy runsaasti hajontaa. Siten käyttöikäsuunnittelussa ei ole järkevää mennä vuoden tai edes kymmenen vuoden tarkkuustasolle, vaan kannattaa tyytyä tasoihin 50 ja 100 ja erityisissä tapauksissa 200 vuotta.

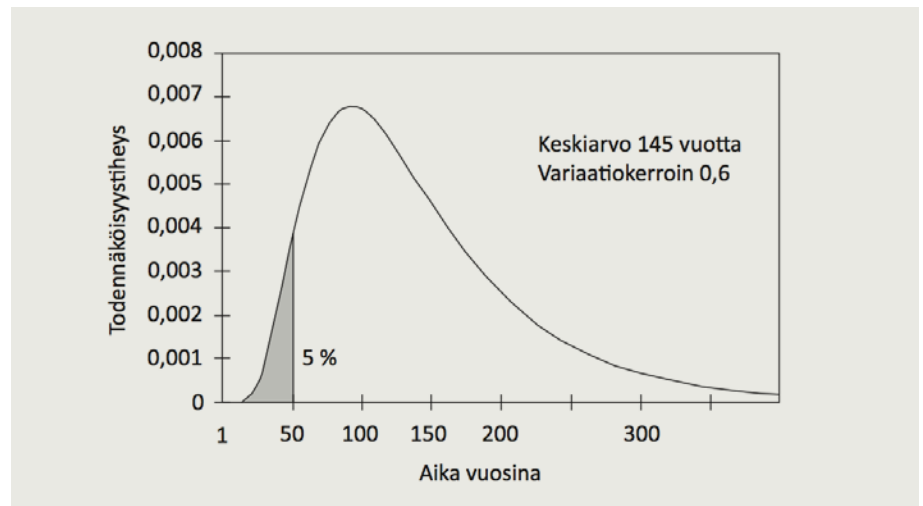
1 Uusi by 68 Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – Opas suunnittelijoille.

2 Esimerkki käyttöiän jakautumakäyrästä. Suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta (by 68: kuva 1).

3 Hämeenlinnan Maakunta-arkiston betonijulkisivuille on laskettu 200-vuoden käyttöikä.

4,5 Julkaisussa by 68:ssa pysäköintitalojen vaatimuksia on täsmennetty. Pysäköintitalon tasot ja rampit on jaettu kolmeen alueeseen rasituksen perusteella Kuvassa Karisman pysäköintilaitos Lahdessa.

6 Betonisille melukaide- ja seinärakenteille on annettu omat rasitusluokat. Kuvassa meluseinäelementtirakenteet Turku-Helsinki moottorien varrella Lohjalla.

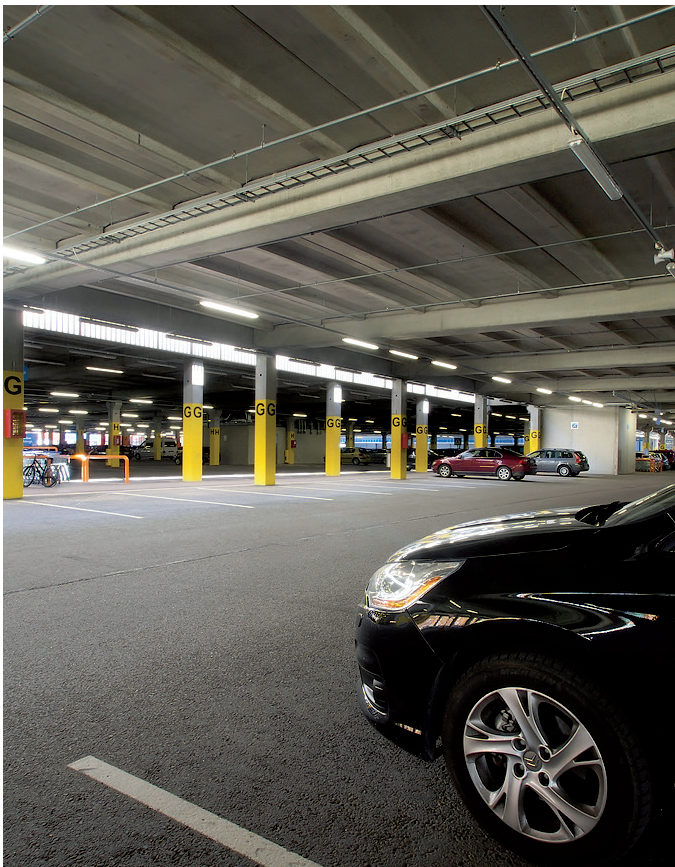


2



3

Kari Palsila



4

Kari Palsila

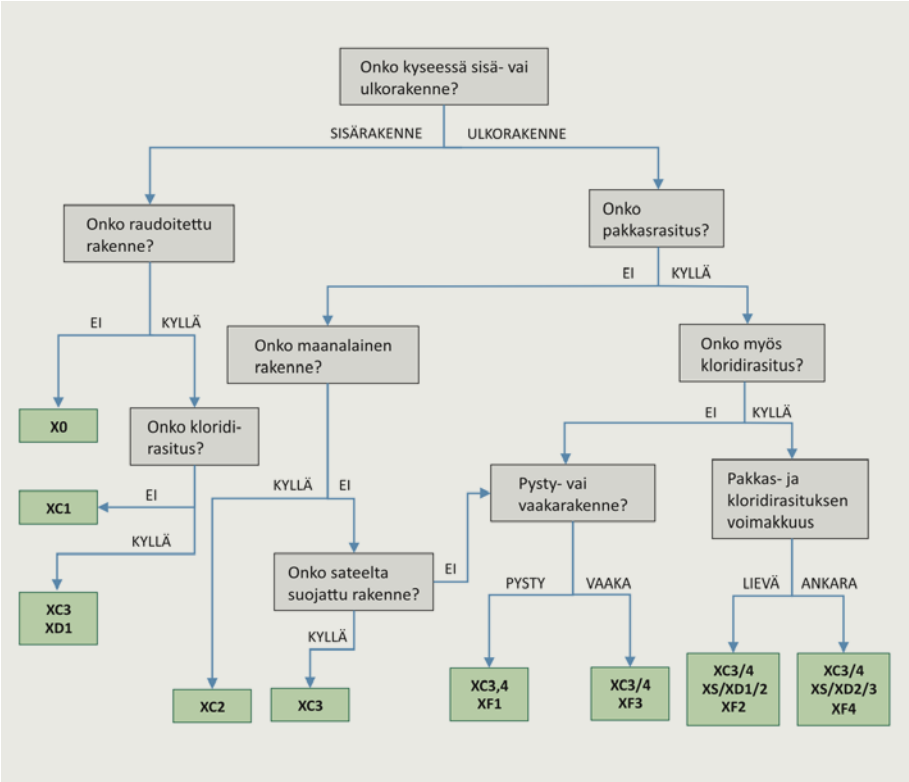


6

Kari Palsila



5



Rasitusluokat ja rasitusluokkayhdistelmät
Rasitusluokat on esitetty vauriomekanismeit-
tään ja kukin rasitusmekanismi tarkastellaan
erikseen:

- Xo Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä
- XC Karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio
- XD Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio
- XS Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio
- XF Jäätymis-sulamisrasitus
- XA Kemiallinen rasitus

Yksinkertaisimmillaan sisätiloissa tarvitaan vain yksi XC-luokka eli karbonatisoitumisen aiheuttama teräskorroosio tai rasitusmekanis-
meja ei ole ollenkaan, rasitusluokka Xo. Käy-
tännössä kuitenkin tarvitaan yleensä kaksi tai
jopa kolme erillistä rasitusluokkaa ja tällöin
puhutaan rasitusluokkayhdistelmistä.
Rasitusluokat eivät ole kovinkaan hienoja-
koisia, esimerkiksi pakkasrasituksen (ei suola-
rasitusta) osalta on valittavana vain kaksi tasoa,
XF1 ja XF3. Näin ollen rasitusluokka ei voi aina
vastata täydellisesti todellista kuormitusta. Rasi-
tusluokkia valittaessa ei kuitenkaan tulisi valita
"varmuuden vuoksi" mahdollisimman ankaraa
rasitusluokkaa, koska se kasvattaa rakentamisen
kustannuksia. Lisäksi rasitusluokkien ylimeri-
toitminen ei välttämättä paranna laatua, vaan voi
jopa heikentää sitä. Esimerkiksi liian korkea XD-
tai XS-luokka kasvattaa betonipeitteen paksuutta
ja siten lisää rakenteen halkeiluriskiä. Kuvassa 7
(by 68: kuva 8) on esitetty rasitusluokkayhdistel-
män yksinkertaistettu valinta. Kaaviosta puuttuu
kokonaan kemiallinen rasitus XA.
Tyypillisimmät rasitusluokkayhdistelmät
on esitetty taulukossa 1.

7 Rasitusluokkien yksinkertaistettu valinta prosessikaaviona (by 68: kuva 8).

Taulukko 1 Tyypillisimmät rasitusluokkayhdistelmät (by 68: taulukko 9, osittain).

Rasitusluokka- yhdistelmä	Selite
X0	Raudoittamattomat rakenteen kuivissa sisätiloissa
XC1	Raudoitetut rakenteet kuivissa sisätiloissa
XC2	Maanalaiset rakenteet, rakenne pysyy erittäin kosteana
XC3	Sateelta suojattu ulkorakenne, ei pakkasrasitusta (kosteuspitoisuus alhainen)
XC3; XF1	Sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4; XF1	Osittain sateelta suojattu pystyrakenne, pakkasrasitus
XC3,4, XF3	Sateelta osittain tai kokonaan suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC4, XF3	Sateelle altis suojaamaton vaakarakenne, pakkasrasitus
XC3; XD1	Kloridirasitetut rakenteet sisätiloissa
XC3; XF2; XD1	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja lievä pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole merkitystä
XC4; XF2; XD1	
XC3,4; XF2; XD1	
XC3; XF4; XD2	Sateelta suojattu, sateelta suojaamaton tai osittain sateelta suojattu rakenne, kloridirasitus ja ankara pakkas-suolarasitus. XD-luokka on vaativampi kuin XC-luokka ja siten XC-luokalla ei ole käytännössä merkitystä
XC4; XF4; XD2	
XC3,4; XF4; XD2	
XC2; XS2	Merivedenalainen rakenne
XC3,4; XF4; XS3	Merenrannalla, roiskevyöhykkeessä oleva rakenne

Taulukko 2 Paikallavalurakenteiden vesi-sementtisuhteen ja lujuusluokkien välinen ohjeellinen yhteys valituilla sideaineilla (by 68: taulukko 13).

v/s-suhde	Tyypillinen lujuusluokka				Huomioitavaa				
	Huokostamaton betoni		Huokostettu betoni		Pumpattavuus	Kulutuskestävyys	Lämmönkehitys	Kutistuma	Kuivuminen
	Huokostamaton CEM IIB 42.5 "Plus" tai vast.	Huokostamaton CEM II A 42.5 "Rapid" tai vast.	Huokostettu CEM IIB 42.5 "Plus" tai vast.	Huokostettu CEM II A 42.5 "Rapid" tai vast.					
0,35			C40/50	C45/55	1	3	5	6	
0,40	C50/60		C35/45	C40/50	1	3	5	6	
0,45	C40/50	C50/60	C35/45	C35/45	2				
0,50	C35/45	C40/50	C30/37	C30/37					
0,55	C30/37	C35/45	C25/30	C30/37					
0,60	C30/37	C30/37	C25/30	C25/30		4			
0,65	C25/30	C30/37		C25/30		4		7	9
0,70	C25/30	C25/30				4		7	9
0,75		C25/30				4		8	10

■ = v/s-suhteen alue, joka saattaa tuottaa ongelmia

■ = v/s-suhteen alue, joka todennäköisemmin tuottaa ongelmia

- 1: v/s-suhteen ollessa < 0,40 pumpattavuus vaikeaa, harkitse suurempaa v/s-suhdetta.
- 2: v/s-suhteen ollessa < 0,50 pumpattavuus voi tuottaa ongelmia.
- 3: Alhaisilla v/s-suhteilla sirotepinnoituksen teko ei ole mahdollista.
- 4: Korkeilla v/s-suhteilla itse betonin kulutuskestävyys on huono. Kulutuskestävyys hoidettava muilla tavoin.
- 5: Alhaisilla v/s-suhteilla betonin lämmöntuotto saattaa nousta liian korkeaksi.
- 6: Alhaisilla v/s-suhteilla autogeeninen kutistuma saattaa olla ongelmallinen.
- 7: Korkeilla v/s-suhteilla vesimäärä on korkea ja siten kuivumiskutistuma kasvaa. v/s-suhdetta tärkeämpää on pitää vesi- ja sideainemäärät kohtuullisina.
- 8: Riski korkeaan kuivumiskutistumaan.
- 9: Korkeilla v/s-suhteilla betonin kuivuminen hidasta, harkitse tarvittaessa alhaisempaa v/s-suhdetta.
- 10: Riski hitaaseen betonin kuivumiseen.

Raudoitteiden suunnittelu

Betonipeitteen valinta on olennainen osa käyttöikäsuunnittelua. Rasitusluokissa XC betonipeite yhdessä betonin nimellislajuuden kanssa määrittelee rakenteen käyttöiän. Rasitusluokissa XD ja XS betonipeite yhdessä vesi-sementtisuhteen kanssa määrää käyttöiän. Betonipeitteen vähimmäisarvo voidaan määrittää kahdella vaihtoehtoisella tavalla:

1. Taulukkomitoituksella
2. Laskennallisella mitoituksella (by 65: 2016, liite 3)

Käytettäessä taulukkomitoitusta betonipeitteen vähimmäisarvo saadaan by 65:n taulukosta 2.3. Betonipeitteen arvoon voidaan tehdä yksi 5 mm:n vähennys, jos by 65: 2016:n taulukoiden 3.8 tai 3.9 mukaista lujuusluokkaa rasitusluokissa XC2 ... XC4 korotetaan vähintään 10 MN/m². Vähennystä ei saa tehdä rasitusluokissa Xo ja XC1.

Laskennallista mitoitusta voidaan käyttää betonipeitteen määrittämiseen rasitusluokissa XC2 ... XC4. Laskennallisessa mitoituksessa voidaan betonipeite optimoida tarkemmin ottaen huomioon rakenteen puristuslujuus. Laskennallinen mitoitus on hyödyllinen erityisesti, kun betonin puristuslujuus on suurempi kuin rasitusluokan minimivaatimus. Laskennallisen mitoituksen avulla voidaan mitoittaa rakenteet yli 100 vuoden käyttöiälle (maksimissaan 200 vuotta). Käytettäessä laskennallista mitoitusta ei betonipeitteen vähimmäisarvot tarvitse täyttyä.

Laskennallinen mitoitus on esitetty by 65: 2016:n liitteessä 3.

Kloridirasitetuissa rakenteissa (XD ja XS-rasitusluokat) käyttöikä riippuu betonipeitteestä ja vesi-sementtisuhteesta (by 65: taulukko L3.24). Siten kun suunnittelija valitsee betonipeitteen arvon, hänen pitää määrittää myös betonipei-

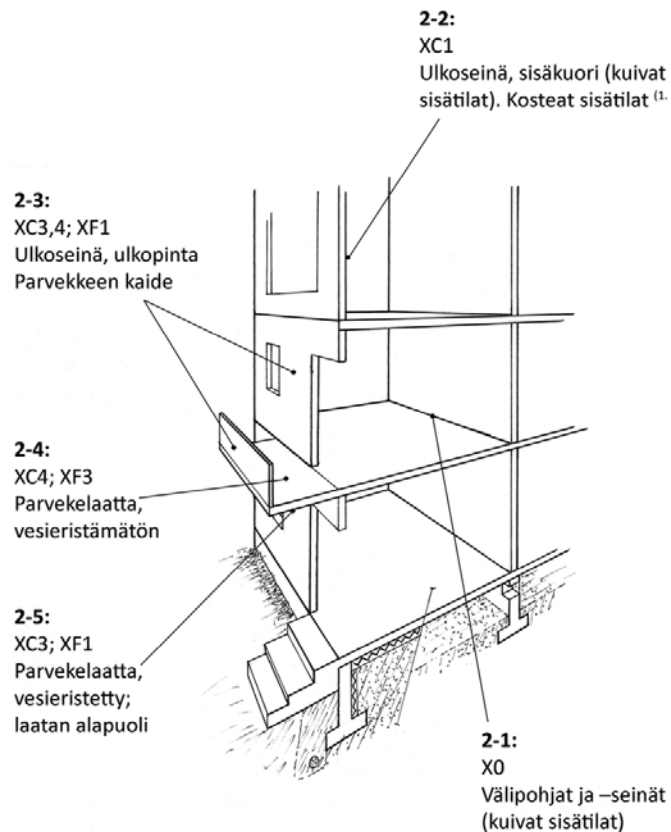
tettä vastaava vesi-sementtisuhte. Vesi-sementtisuhte tulee merkitä myös piirustuksiin, jotta tieto välittyy myös betonin valmistajalle.

Julkaisussa by 68 on esitetty tyypillisiä lujuusluokan ja vesi-sementtisuhteen välisiä riippuvaisuuksia. Samoin on esitetty mahdollisia riskejä liittyen alhaisiin ja korkeisiin vesi-sementtisuhteisiin (Taulukko 2). Käyttöikä- ja rakennesuunnittelussa tulisikin päätyä sellaisiin betonilaatuihin, joiden lujuusluokat ja vesi-sementtisuhteet olisivat mahdollisimman hyvin sopusoinnussa keskenään.

Pakkasenkestävyys

Betonin pakkasenkestävyys riippuu pääosin betonin vesi-sementtisuhteesta sekä ilmamäärästä. Ei-suolarasitetuissa rakenteissa (XF1 ja XF3) betonin käyttöikä pakkasenkestävyyden suhteen lasketaan F-luvun avulla. Betonin valmistaja voi halutessaan käyttää erilaisia v/s-suhde ja ilmamäärä-kombinaatioita. Vastaavasti pakkas-suolarasitetut rakenteet (XF2 ja XF4) mitoitetaan totutusti P-luvun avulla.

8 Asuinrakennuksen runko- ja julkisivurakenteet. Suositeltavat rasitusluokkayhdistelmät.



Rakenne-esimerkit

Julkaisuun by 68 on koottu yleisimmät rakennetyypit. Rakennetyypeistä on esitetty suositeltavat rasitusluokkayhdistelmät sekä niitä vastaavat betonin ominaisuudet sekä betoni- teitepaksuudet. Esitetyt tiedot ovat suosituksia ja siten ne eivät ole suunnittelijaa sitovia.

Kuvassa 8 on esitetty asuinrakennuksen runko- ja julkisivurakenteiden tyypilliset rasitusluokkayhdistelmät ja taulukossa 3 niitä vastaavat suositellut betonilaadut ja raudoitteiden betonipeitteet. Vastaavia rakennetyyppejä on julkaisussa by 68 yhteensä 13 kappaletta.

Pysäköintitalot

Julkaisussa by 68:ssa on pysäköintitalojen vaatimuksia täsmennetty. Aikaisemmin on tuottanut vaikeuksia yhdistää pysäköintitaloilta vaadittava hyvä pakkasenkestävyys ja toisaalta tasojen riittävän hyvä kulutuskestävyys. Pysäköintitalon tasot ja rampit on jaettu kolmeen alueeseen rasituksen perusteella (kuva 9) ja lisäksi eri tyyppiset pysäköintitalot on käsitelty erikseen.

- Alue I: Kova kulutusrasitus
 - Ajoinrampit
 - Mutkat
 - Puomialueet
- Alue II: Kohtuullinen kulutusrasitus
 - Suorat ajoalueet
- Alue III: Muuta alueet
 - Pysäköintiruudut
 - Ei-liikennöidyt alueet

Yksityinen pysäköintitalo on esim. asuintalon tai yrityksen pysäköintitalo, johon ei ole vapaa pääsy. Julkinen pysäköintitalo on kauppakeskuksen, virasto yms. pysäköintitalo, johon on vapaa pääsy. Liikenne on selvästi vilkkaampaa kuin yksityisessä pysäköintitalossa.

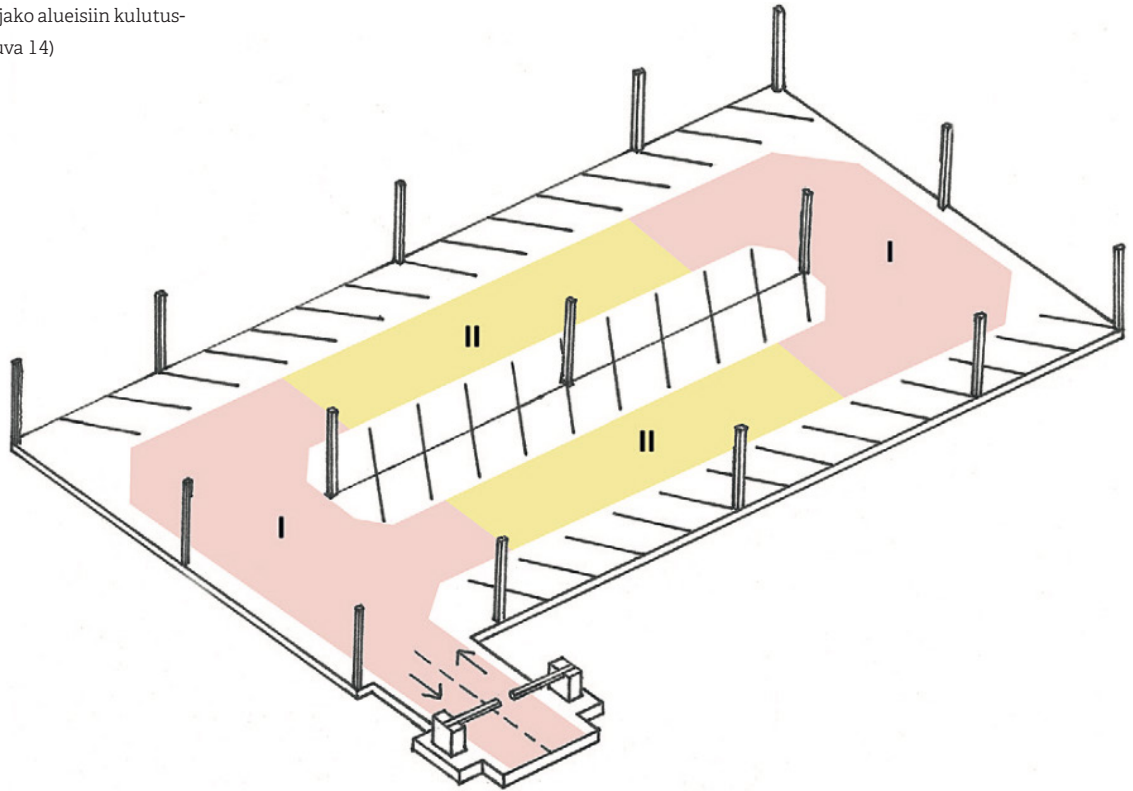
Taulukko 3 Asuinrakennuksen runko- ja julkisivurakenteet. Suositeltavat betonilaadut sekä raudoitusten betonipeitteet. Betonipeitteen sallittu mittapoikkeama on 10 mm (by 68: taulukko 17).

Rakenneosa Rasitusluokkayhdistelmä	Suunnittelukäyttöikä	Raudoitustyyppi	Paikallavalurakenne		Elementtirakenne	
			Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)	Lujuusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (Sall. mittapoikkeama: 10 mm)
2-1 X0	50 - 100 v ²⁾	br jr	C25/30 —	20 —	C30/37 C50/60	20 30
2-2 XC1	50 - 100 v ²⁾	br jr	C25/30 —	20 —	C30/37 —	20 —
2-3 XC3,4; XF1	50 v	br rst	C30/37 C30/37	35 20 ³⁾	C30/37 C30/37	35 20 ²⁾
	100 v	br rst	C30/37 C30/37	40 20 ³⁾	C30/37 C30/37	40 20 ³⁾
2-4 XC4; XF3	50 v	br	C35/45	30	C35/45	30
	100 v	br	C35/45	35	C35/45	35
2-5 XC3; XF1	50 v	br	C30/37	35	C35/45	30
	100 v	br	C30/37	45	C35/45	35

2) Rasitusluokissa X0 ja XC1 vaatimukset ovat identtiset 50 ja 100 vuoden käyttöiälle.

3) XC-rasitusluokissa ruostumattomia (B600KX) raudoitteita käytettäessä betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään raudoitteen halkaisija.

9 Pysäköintitalojen tasojen jako alueisiin kulutusrasituksen kannalta (by 68: kuva 14)



Service life design of concrete structures

Finland has been a forerunner in the service life design of concrete structures. Already since the year 2005, service life design has been mandatory for concrete structures. Loadbearing concrete structures are normally designed for a lifespan of 50 or 100 years, taking into consideration the environmental stresses they are exposed to, such as carbonation of concrete, frost stress, chloride penetration and chemical stress.

Service life design refers to the design of the structures in terms of durability. The input data required for service life design include environmental exposure and the design service life of the structure.

The design service life is defined as the period of time during which the concrete structure retains with the chosen probability its properties at the level required of the structure, provided appropriate maintenance is carried out on the structure. In practice, with a design service life of 50 years, for example, 5% of these structures may statistically deteriorate before the structure reaches the age of 50 years, half of the structures will have a lifespan of almost 150 years and the longest-lived structures will last for about 300 years.

There is a lot of dispersion in service life calculations. The properties of concrete vary, but the most dispersion is found in environmental exposure. Because of this, there is no point in using an accuracy level of one year, or even ten years. Instead, it is advisable to choose 50 and 100-year levels, and in specific cases 200 years.

Taulukko 4 Suositeltavat menetelmät pysäköintitalojen tasojen ja ramppien kulutuskestävyyden varmistamiseksi (by 68: taulukko 21).

	Yksityinen pysäköintitalo	Julkinen pysäköintitalo	Julkinen pysäköintitalo Alueet joissa paljon liikennettä
Alue I Kova kulutusrasitus	by 45, Luokka 2 • Sirotepinnoite, A8 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v	by 45, Luokka 1 • Sirotepinnoite, A5 tai A8 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli 10...25 v	by 45, Luokka 1 • Sirotepinnoite, A3 • Kovabetoni, A5
Alue II Kohtuullinen kulutusrasitus	by 45, Luokka 2 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v	by 45, Luokka 2 • Sirotepinnoite, A8 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v	by 45, Luokka 1 • Sirotepinnoite, A5 • Kovabetoni, A8 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v
Alue III Muut alueet	by 45, Luokka 3 • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v	by 45, Luokka 2 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v	by 45, Luokka 2 • Sirotepinnoite, A8 • Silikaattikäsittely • Betonipinta; uusimisväli noin 25 v