

Jasmin Salenius

BETONIN TURMELTUMISILMIÖT INFRARAKENTEISSA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
12/2025

TIIVISTELMÄ

Jasmin Salenius: Betonin turmeltumisilmiöt infrarakenteissa (Concrete degradation in infrastructures)

Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
12/2025

Betonia käytetään infrarakentamisessa laajasti sen lujuuden ja kestävyys sekä monipuolisuuden takia. Betonirakenteisiin kohdistuu kuormitustekijöitä, jotka vaurioittavat niitä aiheuttaen erilaisia turmeltumismekanismeja. Vauriotekijöiden tunnistaminen ja niiden vaikutusten ymmärtäminen on oleellista betonirakenteen kestävyys ja käyttöiän suunnittelussa.

Betonirakenne mitoitetaan tiedossa oleville pysyville ja muuttuville kuormituksille. Mekaanisten kuormien lisäksi tarkastellaan ympäristöolosuhteiden vaikutusta betonin kestävyys. Betonille on määritelty rasitusluokkia eri ympäristöolosuhteiden aiheuttamien rasitusten mukaan. Näiden avulla betonirakenteelle osataan valikoida sen käyttökohteen ympäristöolosuhteiden vaatima rasitusluokka tai -luokat. Ympäristöolosuhteiden lisäksi betonirakenteita kuormittaa erilaiset kemialliset, fysikaaliset, mekaaniset ja biologiset rasitukset.

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan tyypillisimpiä betonisia infrarakenteita ja niiden käyttöolosuhteita. Tyypillisimpiä betonin käyttökohteita ovat perustukset, tukimuurit, sillat, väylärakenteet, putkilinjat, padot ja satamarakenteet. Erityisesti keskitytään ympäristöolosuhteiden aiheuttamaan betonirakenteiden vaurioitumiseen ja tutkitaan millaisia kemiallisia, fysikaalisia, mekaanisia ja biologisia rasituksia betonirakenteisiin voi kohdistua.

Betonisten infrarakenteiden vaurioita mahdollisesti aiheuttavia tekijöitä ovat muun muassa alkali-kiviainesreaktio, sulfidisavet, suoлаamisesta ympäristöön pääsevät kloridit sekä routa tai epätasainen maa. Nämä voivat johtaa betonin paisumiseen, halkeiluun, karbonatisoitumiseen ja muodonmuutosten syntymiseen. Betonirakenteisiin kohdistuu myös käytönaikaisia kuormituksia, jotka voivat aiheuttaa betonin kulumista, rapautumista, halkeilua, taipumaa ja murtumista. Nämä johtavat edelleen esimerkiksi terästen korroosioon.

Työn päätelmissä on taulukko betonin tyypillisimmistä käyttökohteista infrarakenteissa ja niiden merkittävimmistä vaurioita aiheuttavista tekijöistä. Lisäksi taulukossa on esitetty betonirakenteen tyypillinen ympäristöolosuhteiden rasitusluokka tai -luokat tavanomaisissa olosuhteissa sekä tyypillinen käyttöikä.

Infrarakenteissa betonirakenteen todellinen käyttöikä on usein suunniteltua pidempi ja käyttöolosuhteet ja kuormitukset voivat muuttua elinkaaren aikana. Tuleviin muutoksiin ei ole kustannustehokasta eikä tiedon puutteen vuoksi edes mahdollista varautua suunnitteluvaiheessa.

Avainsanat: betonirakenteet, infrarakenteet, rasitustekijät, kuormitus, vaurioituminen, käyttöikä, karbonatisoituminen, kloridit, korroosio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. BETONIRAKENTEESSEEN KOHDISTUVAT RASITUKSET	3
2.1 Ympäristöolosuhteet	3
2.2 Betonin kemialliset rasitukset	4
2.3 Betonin fysikaaliset rasitukset	7
2.4 Betonin mekaaniset rasitukset	8
2.5 Betonin biologiset rasitukset	8
3. KUORMITUSTEKIJÄT TYYPILLISISSÄ KÄYTTÖKOhteissa	10
3.1 Perustukset	10
3.1.1 Anturat	10
3.1.2 Paalut	11
3.2 Tukimuurit ja kaiteet	12
3.3 Sillat	14
3.3.1 Maatuet	16
3.3.2 Välituet	17
3.4 Väylärakenteet	17
3.4.1 Ympäristörakenteet	17
3.4.2 Betonipäällysteet	19
3.4.3 Ratapölkkyt	20
3.5 Kunnallistekniset rakenteet	21
3.5.1 Putket	21
3.5.2 Kaivot	23
3.5.3 Altaat	24
3.6 Vesirakenteet	24
3.6.1 Padot	25
3.6.2 Satamarakenteet	26
4. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	29
LÄHTEET	32

1. JOHDANTO

Betoni koostuu vedestä, sementistä ja erikokoisista kivirakeista koostuvasta runkoaineesta. Vesi ja sementti muodostavat yhdessä sementtiliiman, joka sitoo runkoaineet yhteen. Betonin kovettumisen aikana veden ja sementin välillä tapahtuu kemiallinen reaktio, jonka seurauksena liima kovettuu sementtikiveksi ja muodostuu kovettunutta betonia. (BY201 2018, s. 16)

Rakennusmateriaalina betonin valikoituminen perustuu sen lujuusominaisuuksiin, jäykyyteen, kosteuden keston, turvallisuuteen, muokattavuuteen sekä edulliseen hintaan. Näiden lisäksi raaka-aineiden saatavuus ja yksinkertainen valmistusteknologia mahdollistavat betonin laajan käytön. Materiaalina betoni valikoituu käytettäväksi etenkin silloin, kun halutaan rakentaa suuria, stabiileja sekä turvallisia rakenteita. (BY201 2018, s. 13)

Betonin kestoikä riippuu sen ominaisuuksista sekä ympäristön aiheuttamista rasitustekijöistä (RIL 184 1991, s. 78). Betonirakenteen säilyvyyden varmistamiseen liittyy siten betonin ainesosien ja koostumuksen oikea valinta, betonimassan ja rakenteen valmistus sekä laadunvalvonta ja ympäristöolosuhteiden arvioiminen (BY203 1995, s. 191). Näistä materiaalin ominaisuuksia voidaan helposti muuttaa esimerkiksi aineosien, vesi-sementtisuhteen sekä lisäaineiden määrää muuttamalla. Halutun kestoajan saavuttamiseksi tulee kuitenkin huomioida rakennuskohteen ympäristöolosuhteet, sillä näillä on keskeinen vaikutus betonirakenteen turmeltumiseen. (RIL 184 1991, s. 79)

Betonin turmeltumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa materiaaliin kohdistuvat rasitukset ovat suurempia kuin sen lujuus- ja kestävyysominaisuudet. Tällöin nämä rasitukset käynnistävät erilaisia turmeltumisilmiöitä, jotka aiheuttavat materiaalin heikkenemistä ja vaurioitumista. (RIL 184 1991, s. 78–79)

Ympäristöolosuhteiden vaikutus betonin turmeltumiseen on keskeinen. Ympäristöolosuhteet vaikuttavat betonin kestävyysominaisuuksiin, joten ne otetaan huomioon betonirakenteen suunnittelussa mekaanisten kuormitusten lisäksi. Ympäristön aiheuttamat betonivauriot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: kemiallisiin ja fysikaalisiin vaurioihin. (RIL 184 1991, s. 80)

Betonia käytetään paljon suomalaisessa infrarakentamisessa. Sen yleisimpiä käyttökohteita ovat muun muassa perustukset, tukimuurit, sillat, putket, kaivot, padot sekä sata-

marakenteet. Kun ymmärretään käyttökohteen kuormitukset ja turmeltumisilmiöt, osataan suunnitella oikea betonimassa ja valmistaa säilyvyydeltään hyvää betonia, jonka vastustuskyky on tarpeeksi suuri erilaisten vauriotekijöiden esiintymistä ja vaikutusta vastaan.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisia vaikutuksia erilaisilla kuormitustekijöillä on betonin kestävyys eri infrarakenteissa. Näiden tietojen pohjalta laaditaan taulukko, josta on helppo ymmärtää eri rakenteiden merkittävimmät vauriotekijät.

Päättökysymys on seuraava:

- Miten eri kuormitustekijät vaikuttavat yleisimpien betonisten infrarakenteiden käyttöikään Suomessa?

Alakysymykset ovat seuraavat:

- Mitkä ovat betonin turmeltumismekanismit?
- Miten rakenteeseen kohdistuvat mekaaniset ja fysikaaliset kuormitukset vaikuttavat sen käyttöikään?
- Mitkä ovat rakenteen tärkeimmät käyttöikään vaikuttavat tekijät?
- Millaiset käyttöolosuhteet voivat aiheuttaa poikkeuksellista kemiallista rasitusta?

Työssä keskitytään betonisiin infrarakenteisiin Suomessa. Työssä ei ole tarkoitus tutkia, miten nämä tekijät vaikuttavat betonin valmistukseen.

Kandidaatintyö tehdään kirjallisuustutkimuksena. Kuormitustilanteita tarkastellaan esimerkkien avulla. Työn aiheesta löytyy tietoa muun muassa betonia ja betonirakenteita käsittelevistä kirjoista, Betoniyhdistyksen verkkosivuilta ja julkaisuista, RILin kirjoista sekä muista tieteellisistä julkaisuista.

Työn alussa perehdytään tarkemmin betonin ympäristöolosuhteisiin sekä kemiallisiin, fysikaalisiin, mekaanisiin ja biologisiin rasituksiin, jotka on esitetty luvussa 2. Luvussa 3 kerrotaan erityyppisten betonisten infrarakenteiden kuormituksista. Lopuksi työssä esitetään yhteenveto kaikista tarkastelluista rakenteista ja kootaan tärkeimmät tiedot taulukossa.

2. BETONIRAKENTEeseen KOHDISTUVAT RASITUKSET

Betonirakenteiden vaurioitumista voivat aiheuttaa kemialliset, fysikaaliset, mekaaniset sekä biologiset tekijät. Usein betonissa esiintyvät vauriot muodostuvat näiden yhteisvaikutuksesta. (Pyy 2025, s. 6) Vaikutusten merkitykset vaihtelevat ympäristöolosuhteiden mukaan, minkä vuoksi käyttökohteen ympäristöolosuhteiden huomioon ottaminen betonirakenteita tehtäessä on tärkeää.

Rasitukset aiheuttavat betonin turmeltumista, joka vaikuttaa suoraan sen käyttöikään. Tässä tapauksessa sillä tarkoitetaan betonin teknistä käyttöikää, jossa rajoittavana tekijöinä ovat materiaalissa tapahtuva heikkeneminen, rapautuminen ja korrosio. (BY32 1992, s. 45)

2.1 Ympäristöolosuhteet

Betonia käytetään monenlaisissa rakenteissa, jotka altistuvat ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta erilaisille rasituksille. Nämä voivat aiheuttaa betonissa esimerkiksi jäätymsulamisrasitusta sekä kemiallista rasitusta ja edelleen karbonatisoitumista ja terästen korroosiota.

Karbonatisoitumisessa betonin emäksisyys laskee hiilidioksidin reagoiessa kalsiumhydroksidin ja kalsiumilikaattihydraattigeelin kanssa. Toisin sanoen karbonatisoitumista tapahtuu aina ilmatilassa olevassa betonipinnassa. (BY201 2018, s. 111) Korroosiolla tarkoitetaan puolestaan betonissa olevien raudotteiden ruostumista ja tästä aiheutuvaa halkeilua, lohkeilua sekä sisäisten säröjen syntymistä. Betonin korroosion mahdollistavat karbonatisoituminen sekä kloridien tunkeutuminen betoniin. Ruostumisreaktion alkaminen vaatii vettä ja happea. (BY201 2018, s. 109–111)

Jäätymsulamisrasituksella tarkoitetaan betonin kapillaarihuokosissa olevan veden jäätymistä. Jäätyessään kyseinen vesi laajenee jopa 9 tilavuusprosenttia aiheuttaen betonissa huokosverkoston ylipainetta. Tämän lisäksi ylipainetta aiheuttaa myös jääkiteen tilavuuden kasvu lämpötilan noustessa, jolloin betoni alkaa säröilemään ja halkeilemaan toistuvan rasituksen seurauksena. (BY201 2018, s. 116) Kemialliset rasitukset aiheuttavat puolestaan betoniin sisäistä tai ulkoista vaurioitumista. Näissä betoni reagoi siihen kosketuksissa olevien aineiden kanssa, jotka aiheuttavat betonin vaurioitumisen erilaisin mekanismein. (BY201 2018, s. 130)

Betonille on luokiteltu rasisitusluokkia eri ympäristöolosuhteiden aiheuttavien rasisitustekijöiden suhteen. Kun materiaaliin ei kohdistu korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä, rasisitusluokka on X0. Muissa tapauksissa rasisitusluokat ovat seuraavat:

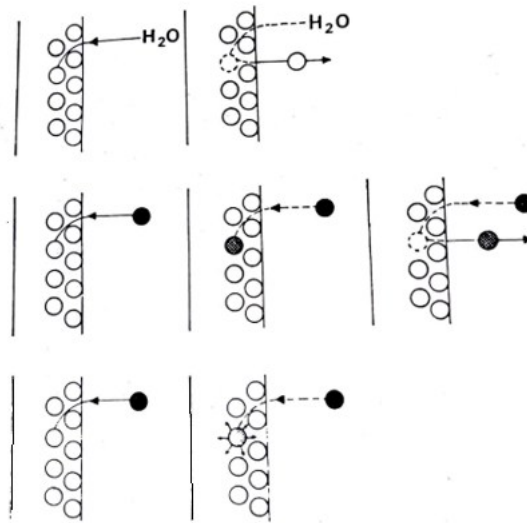
1. karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio (XC1, XC2, XC3, XC4)
2. kloridien aiheuttama korroosio (XD1, XD2, XD3)
3. merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio (XS1, XS2, XS3)
4. jäätymis-sulamisrasitus (XF1, XF2, XF3, XF4)
5. kemiallinen rasisitus (XA1, XA2, XA3). (BY65 2021, s. 41–43)

Jokaisen rasisitusluokan sisällä on alaluokkia, jotka määräytyvät ympäristöolosuhteiden mukaan. Näiden avulla betonirakennetta suunniteltaessa osataan valita täsmälleen sen käyttökohteen ympäristöolosuhteita vastaava rasisitusluokka tai -luokat.

2.2 Betonin kemialliset rasisitukset

Kemialliset rasisitukset aiheuttavat betonissa joko sisäisiä tai ulkoisia vaurioitumismekanismia. Sisäistä vaurioitumista aiheuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi kiviaineksen sisältämä humus, alkali-kiviainesreaktio sekä paisumisreaktiot. Tunnetuin ilmenemismuoto on kuitenkin raudoitteiden teräskorroosio. Ulkoista vaurioitumista aiheuttavat erilaiset aineet ollessaan kosketuksissa betonin ja betonirakenteiden kanssa. (RIL K145 1991, s. 19–20, s. 32)

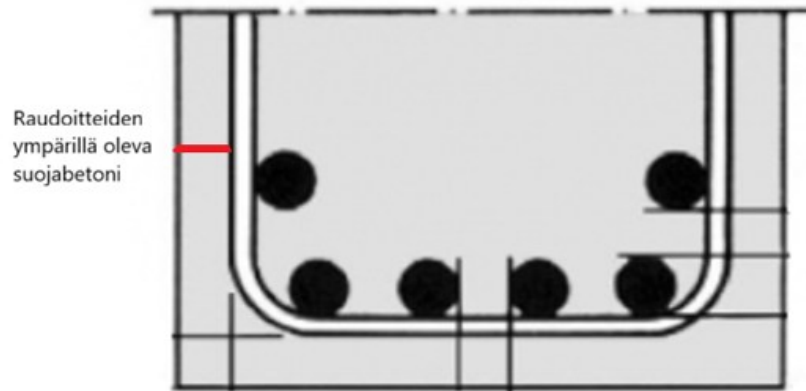
Kemiallisen korroosion muodostumisella voidaan katsoa olevan kaksi eri mekanismia. Ensimmäisessä, korroosion aiheuttajat liuottavat betonista ainesosia. Toisessa, korroosion aiheuttajat tunkeutuvat betoniin ja reagoivat siten, että reagoivien aineiden tilavuus kasvaa ja betoni rikkoutuu. Vaurioitumistapoja betonille on tässä tapauksessa kolme: liukeneminen, betonin ainesosan ja syövyttävän aineen reagointi siten, että reaktiotuote jää betoniin tai kulkeutuu veden mukana pois sekä, kun reaktiotuote jää betoniin ja sen tilavuus kasvaa. Nämä ovat esitetty kuvassa 1. (RIL 184 1991, s. 84)



Kuva 1. Betonin kolme turmeltumistapaa (RIL 184 1991, s. 84).

Betonin kemiallinen kestävyys riippuu kuitenkin siihen vaikuttavasta kemikaalista. Tämä voi olla esimerkiksi happo, joka muodostaa sementin kanssa helposti sementtikiveä liottavia suoloja. (Siikanen 1986, s. 164) Hapoista suola- ja rikkihappo voivat korkeissa pitoisuuksissa liuottaa betonin kaikki komponentit, kun taas pienemmissä konsentraatioissa muut haitalliset hapot mukaan lukien betonista liukenee vain kalkki. (RIL 184 1991, s. 84–85)

Yksi betonin vakavimpia korroosiota aiheuttavia tekijöitä ovat myös happamat sulfaatti- ja kloridi- ionit. Nämä ovat potentiaalisesti aggressiivisiä suojaamattomille betonirakenteille, sillä maassa olevat sulfaatti- ja kloridi- ionit muodostavat reaktiotuotteita betonin sisälle tarttumalla kalkkiin ja aluminaatteihin. Reaktiotuotteiden muodostuessa tilavuus kasvaa peräti 330 %:ia, joka aiheuttaa betonin sisälle suuren paineen. Tämä paineen kehitys aiheuttaa vetolujuuden ylittymisen, joka johtaa betonin lohkeiluun. (RIL 184 1991, s. 85; BY65 2021, s. 45) Lohkeilu ja muu vaurioituminen aiheuttaa betoniterästen korroosioriskin, jota pyritään suojaamaan riittävällä betonipeitteellä. Betonipeite tulee suunnitella kaikkiin raudoitettuihin betonirakenteisiin huomioiden niihin kohdistuvat rasitukset. Kuvassa 2 on esitetty poikkileikkaus betonirakenteen raudoituksesta ja sen ympärillä olevasta suojabetonista, jonka sijainti on merkattu punaisella.



Kuva 2. Esimerkkikuva raudoitteiden ympärillä olevasta suojabetonista (Muokattu lähteestä *Betonitieto 2025j*).

Sulfaattimaiden lisäksi betonia vaurioittavat sulfidimaat, jotka sisältävät rautasulfideja: magneetti- ja rikkikiisua. Nämä sulfidit voivat olla kemiallisesti reaktiivisia ja aiheuttaa ruostumista ollessaan hapen kanssa yhteydessä. Sulfidit vaurioittavat betonia aiheuttamalla betonipinnan ruskistumista, paisumista ja paikallista rapautumista. (Betonitieto 2025g)

Betonin alkali-kiviainesreaktiossa kiviaineksen ja hydratoituneen sementin väliset kemialliset reaktiot aiheuttavat betonin paisumista. Reaktiossa sementtipastan alkalinen natrium- ja kaliumhydroksidipitoinen huokosvesi sekä kiviaineksen piidioksidi reagoivat muodostaen hyvin vettä imevää geeliä. Kyseinen geeli laajenee aiheuttaen jatkuvasti kasvavaa sisäistä painetta, joka lopulta rikkoo kiviainesta aiheuttaen betonin vaurioitumista. Betonin turmeltumisen aste riippuu kosteudesta, lämpötilasta ja reaktiivisen kiviaineksen sekä alkalien määrästä betonissa. Alkali-kiviainesreaktio lyhentää siis betonin kestoikää aiheuttamalla siihen halkeilua, joka edesauttaa muiden vauriomekanismien etenemistä. (BY74 2022, s. 6–7)

Betonin kemiallista vaurioitumista voivat aiheuttaa myös betonin kanssa kosketuksissa oleva vesi, joka sisältää kalsiumyhdisteitä tai hiilidioksidia. Myös pohjavesi ja etenkin sen korkea hiilihappopitoisuus rasittaa betonia. Veden lisäksi kemiallista rasitusta aiheuttavat luonnon maahan verraten poikkeukselliset tilanteet, kuten saastuneet ja kemikaaleille altistuneet maat, joita voi löytää esimerkiksi tehdas- ja maatalo-alueilta. Lisäksi maiden siirtely ja yhdistely voi pilata maan siten, että siihen päätyy betonille haitallisia yhdisteitä.

2.3 Betonin fysikaaliset rasitukset

Fysikaalinen vaurioituminen betonissa tarkoittaa eroosiota, rapautumista ja halkeilua (RIL 184 1991, s. 80). Näiden lisäksi vaurioitumismekanismeja ovat säröily, kutistuma ja lämpövaikutukset (Betonitieto 2025d). Normaalikäytössä kulumisen voidaan ajatella kuuluvan myös näihin (RIL 184 1991, s. 80).

Eroosiossa veden kuljettamat kiinteät ainekset kuluttavat betonin sementtikiveä siten, että kovempi kiviaines paljastuu ja muodostaa uuden kulutuskerroksen. Materiaalin turmeltumisen nopeus riippuu kiinteän aineksen määrästä, muodosta ja kovuudesta sekä veden virtausnopeudesta ja betonirakenteen muodosta, että laadusta. Vesirakenteista etenkin siltarakenteet, padot ja betoniputket ovat alttiita eroosion aiheuttamille vahingoille. (RIL 184 1991, s. 80; Betonitieto 2025e)

Halkeilu on betonirakenteille ominaista ja sillä on suora vaikutus vaurioitumiseen. Halkeilua tapahtuu valmistusvaiheessa kuivumishalkeamina sekä käytön aikana muista vaihtelevista syistä. Kestävyydelle merkittäväksi tämä tulee betonirakenteissa, kun halkeamat ovat leveitä tai niitä esiintyy tiheästi. (Pyy 2025, s. 31)

Halkeilu merkitsee usein sitä, että betonissa vallitseva jännitys on ylittänyt lujuuden. Rakenteen lujuuden ja laadun heikentymisen lisäksi halkeilu aiheuttaa suuremman riskin muille turmeltumismekanismeille, kuten raudotteiden korroosiolle. Halkeamien muodostumiselle on osoitettu olevan lukuisia erilaisia syitä, joita ovat esimerkiksi plastinen sitoutuminen, eri kutistumisen muodot, alkaliset runkoaineen reaktiot ja käyttökuormitus. (RIL 184 1991, s. 82–83)

Halkeilua voi tapahtua betonirakenteissa esimerkiksi pakkasen vaikutuksesta. Pakkanen aiheuttaa betonirakenteiden sisällä olevan veden jäätyksen, joka aiheuttaa tilavuuden kasvua betonin sisällä, joka johtaa halkeamien syntyyn tai betonin lohkeiluun.

Pakkasen aiheuttaman vaurioitumisen lisäksi myös korkeat lämpötilat aiheuttavat betonin vaurioitumista. Vaikka betoni on syttymätön ja palamaton materiaali, sen osa-aineet, kuten sementti ja runkoaine eivät kestä pitkäaikaista kuumuutta. (Siikanen 1986, s. 165) Jatkuva korkea lämpötila aiheuttaa sementtiliimassa ja kiviaineksessa betonin materiaaliominaisuuksien muuttumista, jolloin rakenteeseen syntyy sisäisiä jännityksiä. Näiden seurauksena betoniin syntyy halkeamia ja rapautuminen alkaa. Ääritapauksissa rakenne voi menettää täysin jopa kantokykynsä. (Betonitieto 2025b)

2.4 Betonin mekaaniset rasitukset

Betoniin kohdistuvien ympäristörasitusten lisäksi siihen kohdistuu myös käyttötarkoituksen aiheuttamia rasituksia. Näitä käytön aikaisia rasituksia kutsutaan mekaanisiksi rasituksiksi. Joissain tapauksissa betonirakenteen mekaaninen rasitus on niin suuri, että rakenteen käyttöikä tai sen korjaustarve perustuu siihen eikä ympäristörasituksiin. (Betonitieto 2025e)

Betonin mekaanisia rasituksia siihen kohdistuvan kuormituksen lisäksi ovat muun muassa betonipinnan kuluminen, painuminen, ylikuormitus, värähtely, törmäys ja räjähdys (Pyy 2025, s. 7). Nämä aiheuttavat taipumaa, halkeilua sekä murtumista, jotka vaurioittavat betonirakennetta (Betonitieto 2025a).

Mekaanisten vaurioiden minimoimiseksi rakenteet suunnitellaan ja mitoitetaan riittäviksi, sekä mahdolliset onnettomuustilanteet huomioiden. Betonirakenteiden mitoituksessa etenkin betoniteräksillä on merkittävä vaikutus kestävyYTEEN. Teräkset ottavat vastaan vetojännityksiä varsinkin betonin puristuslujuuden ylittyessä liiallisen kuormituksen takia. Tämä estää rakenteen kriittisen vaurioitumisen tai äkillisen romahtamisen.

2.5 Betonin biologiset rasitukset

Betonin biologisilla rasituksilla tarkoitetaan elävän organismin tai mikro-organismien aiheuttamaa suoraa tai epäsuoraa vaurioitumista. Esimerkiksi sammaleet, levät ja kasvien juuret voivat aiheuttaa betoniin mekaanista vaurioitumista tunkeutumalla betonipinnan halkeamiin. Tällainen kasvillisuus voi toimia osasyynä myös betonin pakkasvaurioihin, jos se pidättää vettä betonin pinnalla. Yleisimmin vaikutus kohdistuu kuitenkin ulkonäköön. (BY201 2018, s. 135) Kuvassa 3 on esitetty kasvillisuutta betonirakenteen pinnassa.



Kuva 3. Kosteutta sitova kasvi betonirakenteen pinnassa (Capili 2025).

Merkittävimmät biologiset rasitukset esiintyvät kuitenkin jätevesiputkissa. Nämä voivat aiheutua esimerkiksi säiliössä syntyvän lietekerroksen takia, jonka tuloksena syntyy rikkivetyä. Rikkivedyn vapautuessa säiliön ilmatilaan, se liukenee tämän märkiin pintoihin muuntuen bakteerien hapettavan vaikutuksen takia rikkihapoksi. Tämän tuloksena betoni alkaa syöpymään. (BY201 2018, s. 135)

3. KUORMITUSTEKIJÄT TYYPILLISISSÄ KÄYTTÖKOHTEISSA

Suomessa tyypillisiä betonin käyttökohteita infrarakentamisessa ovat väylien rakenteet sekä muut maarakennuksen tuotteet (Betonitieto 2025f). Näitä ovat muun muassa perustukset, tukimuurit, sillat, putkilinjat, padot ja satamarakenteet (BY201 2018, s. 434).

Betoni sopii näihin rakennusmateriaalina hyvin, sillä se kestää hyvin kosteutta, erilaisia säärasituksia, mekaanista kulutusta ja lämpötilojen vaihteluja. Lisäksi sen osa-aineet ovat helposti saatavilla ja materiaalina betoni on myös helposti muovattavaa. (Betonitieto 2025f)

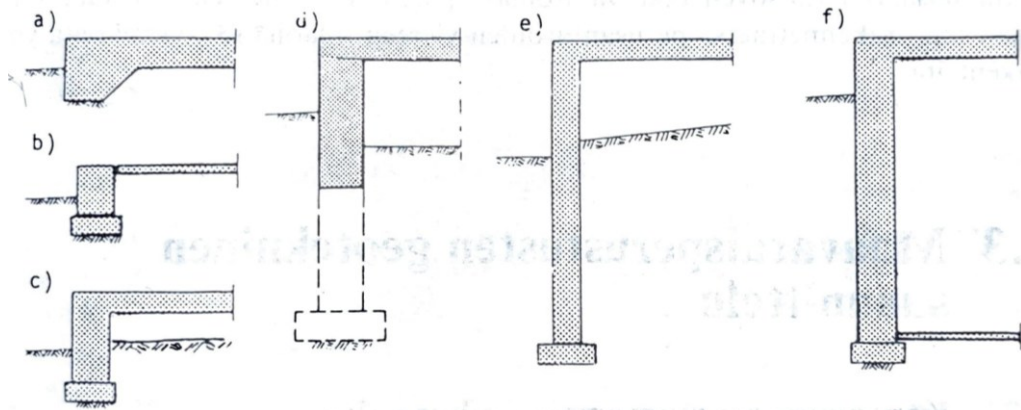
3.1 Perustukset

Kaikki rakenteet tarvitsevat perustuksen. Perustuksen tarkoituksena on siirtää sen päällä olevien rakenteiden sekä itsensä aiheuttamat kuormitukset maa- ja kalliopohjalle. (Rantamäki & Tamminrinne 1989, s. 19)

Tämä luku käsittelee maan kanssa kosketuksissa olevia anturoita ja paaluja. Näihin rakenteisiin ei maan sisässä kohdistu yläpuolisten rakenteiden aiheuttaman kuorman lisäksi mekaanisia rasituksia pois lukien voimakkaasti virtaavan pohjaveden aiheuttama kulutusta. Toisaalta kemialliset rasitukset voivat olla hyvinkin voimakkaita ympäröivän maaperän ominaisuuksien mukaan. (RIL 184 1991, s. 88)

3.1.1 Anturat

Anturoita käytetään usein maanvaraisen perusmuuri- ja pilariperustuksen yhteydessä pohjapainetta pienentävänä ja perustuksen kantavuutta lisäävänä rakenteena. Kuvassa 4 on esitetty maanvaraisen perustuksen rakenneratkaisuja, joissa on käytetty anturaperustusta. (Rantamäki & Tamminrinne 1989 s. 32)



Kuva 4. Maanvaraisperustusten rakennerratkaisuja anturalla (Rantamäki & Tamminne 1989, s. 33).

Anturan vaurioitumisen kannalta merkittävimpinä tekijöinä voidaan pitää muun muassa routimista, pohjaveden pinnan alenemista, kosteusvaurioita, maan kemiallisia ominaisuuksia sekä huonosti tehtyä tiivistystä. Maan routiminen aiheuttaa routanousua, joka voi johtaa anturan muodonmuutoksiin ja fysikaalisiin vaurioihin, kuten halkeamiin. Routanousun lisäksi maan muodonmuutoksia voi tapahtua esimerkiksi pohjaveden pinnan alenemisen takia, huonosti tehdyistä maatäytöistä ja kokoonpuristuvista pehmeiköistä. Nämä aiheuttavat yleisimmin anturaperustukseen kulmakiertymistä ja lisäjännityksiä, jotka johtavat myös halkeamien muodostumiseen. (Rantamäki & Tamminne 1989, s. 35–37; Jääskeläinen 2009, s. 222–223)

Suomessa maan kemiallisista ominaisuuksista happamat sulfaattimaat voivat aiheuttaa merkittävää sulfaattirasitusta anturoille, jotka sijaitsevat pohjavedenpinnan yläpuolella (BY65 2021, s. 45–46). Rikkipitoinen maaperä voi aiheuttaa myös anturan vaurioitumista tällaisessa tilanteessa (RIL 184 1991, s. 88).

Anturoissa voi esiintyä myös kosteusvaurioita. Nämä voivat johtua esimerkiksi huonosta kuivatuksesta, rakennuspohjan muotoilusta, pintavesien kuljetuksesta ja salaojasoran laadusta sekä kerrospaksuudesta. (Jääskeläinen 2009, s. 223)

3.1.2 Paalut

Paaluperustusta käytetään silloin, kun kantava pohja on niin syvällä, että sinne ei yllätä anturoilla, perusmuurilla tai pilareilla (Rantamäki & Tamminne 1989, s. 43). Paalut ovat siis maan sisässä, usein pohjavedenpinnan alapuolella, jossa kemiallinen ympäristö voi olla vaurioittava. Betonia syövyttävät tässä tapauksessa esimerkiksi happamat jätevedet, suolainen merivesi, eräät teollisuusjätteet sekä rikkipitoiset maakerrokset. (RIL 184 1991, s. 88) Kuvassa 5 on esimerkki paaluperustamisesta.



Kuva 5. Maahan asennettuja teräsbetonipaaluja (Rakennusteollisuus 2022, s. 6).

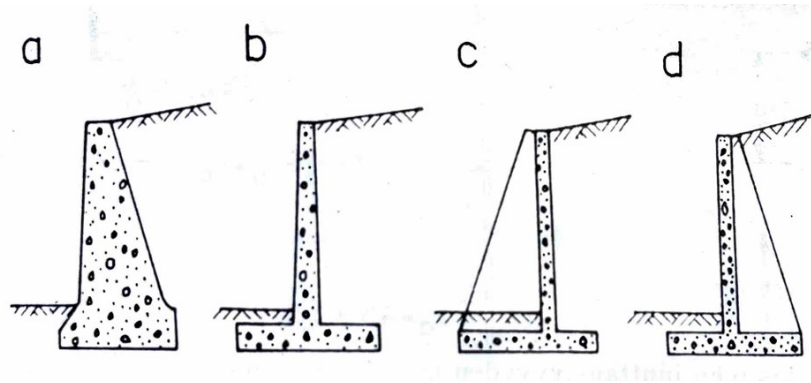
Yksi tyypillisimmistä esimerkeistä betonipaaluun kohdistuvista kemiallisista rasituksista on sulfaattirasitus. Lisäksi paaluja voi rasittaa normaalia korkeampi pohjaveden kloridipitoisuus. (Paaluinfo 2 2016, s.3) Betonipaaluille korroosiovaara tulee olennaiseksi silloin, kun veden pH on alle 6, aggressiivisen hiilihapon määrä on yli 40 mg/l tai liuenneen sulfaatin määrä on yli 300 mg/l: aa (RIL 184 1991, s. 88).

Normaalitapauksissa teräsbetonipaalujen rasitusluokaksi riittää XC2, joka kattaa betonin karbonatisoitumisen ja teräskorroosioriskin. Paaluille määritellään tämän lisäksi tapauskohtaisesti täydentävät rasitusluokat, jos maaperässä esiintyy sulfaatti-, kloridi- tai muu kemiallinen rasitus. (Paaluinfo 2 2016, s.3)

Kokonaisuutena teräsbetonipaalujen turmeltumista aiheuttaa yleisimmin pohjaveden sulfaatti- ja kloridipitoisuudet (BY68 2024, s. 94). Näiden lisäksi maantieteellinen sijainti vaikuttaa mahdolliseen maaperän sulfaattipitoisuuteen. Kloridirasitusta voi esiintyä paaluissa myös joko meriveden tai klorideja sisältävien jäänsulatusaineiden myötä. (Punkki & Mannonen 2019, s.1)

3.2 Tukimuurit ja kaiteet

Tukimuureilla tarkoitetaan usein maanpinnan suuria korkeuseroja porrastavia rakenteita, joita käytetään, kun luiskan tekemiseen ei ole tarpeeksi tilaa. Tukimuureja kuormittaa maanpaine sekä joissakin tapauksissa vedenpaine. Muiden rakenteiden yhteydessä, kuten silloissa, tukimuureihin kohdistuu lisäksi ulkopuolisia rakennekuormia. (Rantamäki & Tamminen 1979, s. 218) Kuvassa 6 on esitetty erilaisia betonisia tukimuurityyppejä.

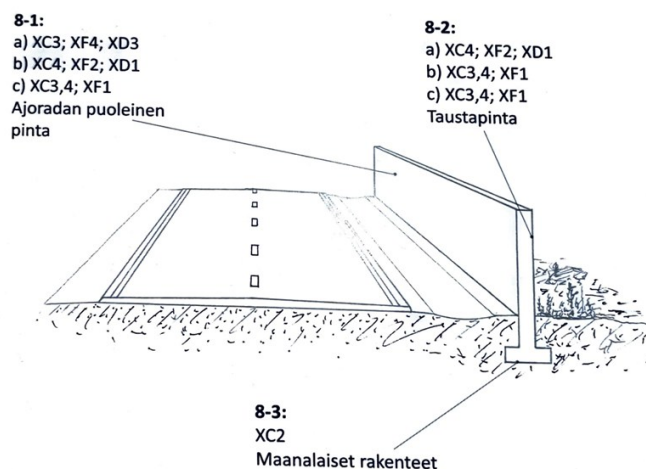


Kuva 6. Tukimuurien rakennetyyppejä (Helenelund 1963, s.153).

Tukimuureihin kohdistuvia rasituksia ovat yleensä maanpaine, vedenpaine, omapaino, mahdollinen päällä olevan maamassan tai lisäkuormituksen paino, maapohjan ja ankkuroinnin aiheuttamat reaktiopaineet sekä vaakasuorat ja pystysuorat reaktiot, jos tukimuri toimii sillan tai muun rakenteen tukena. (Helenelund 1967, s. 181) Väärin mitoitettuna nämä voivat aiheuttaa tukimuurin kaatumisen ja liukumisen, sekä johtaa betonirakenteen mekaaniseen vaurioitumiseen (Helenelund 1963, s. 152).

Muita vaurioittavia rasitustekijöitä tukimuureille ovat muun muassa routapaine, kosteus, pintavesien virtaaminen sekä lämpö- ja kutistumisjännitykset. Nämä aiheuttavat betoniin rakenteeseen halkeilua, kulutusta sekä pakkasrasitusta. Näistä johtuen muureja rakennettaessa on huomioitava riittävä routasuojaus, salaojitus sekä liikuntasaumot. (Rantamäki & Tamminne 1979, s. 218–219)

Tukimuurien lisäksi törmäys- ja melukaiteet ovat samojen fyysikaalisten rasitusten kuormittamina. Kuvassa 7 on esitetty kuva tien viereisestä törmäyskaiteesta, johon on merkattu rakenneosien rasitusluokat.

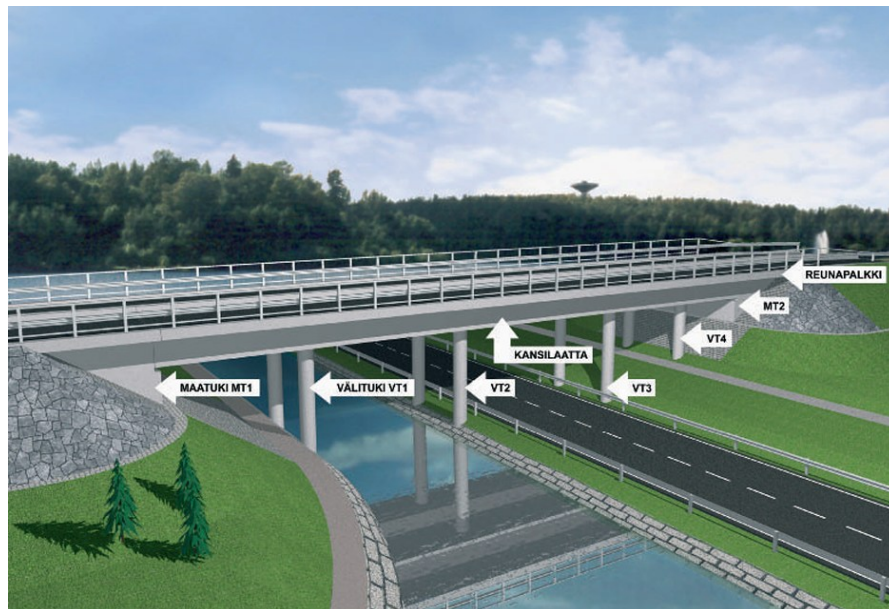


Kuva 7. Törmäyskaiteen rasitusluokat (BY68 2024, s. 84).

Kuvassa esitettyjen rasitusluokkien perusteella voidaan todeta, että muita vaurioittavia tekijöitä ovat esimerkiksi kloridirasitus, pakkasrasitus ja sade. Joissain tapauksissa, jos kaide sijaitsee meriveden läheisyydessä voi siihen vaikuttaa meriveden aiheuttamaa kloridirasitus. (Betonitieto 2025a)

3.3 Sillat

Silta on rakenne, jonka päältä liikenne pystyy kulkemaan jonkin esteen yli sekä se mahdollistaa myös kulun itsensä ali. Silta jaetaan rakenteellisesti kahteen eri osaan, jotka ovat päällys- ja alusrakenne. Näistä alusrakenne jakautuu vielä perustuksiin sekä tukirakenteisiin. Perustukset muodostuvat usein paaluista ja tukirakenteet maa- ja välituista. (RIL 165-2 2006, s. 307–308) Kuvassa 8 on esitetty sillan tyypillisimpiä betonirakenteita.



Kuva 8. Sillan betonisia päällys- ja alusrakenteita (Tiehallinto 11/07 2007, s. 60).

Betonisillat ovat joko raudoitettuja tai jännitettyjä betonirakenteita (BY201 2018, s. 484). Nämä suunnitellaan usein kestoikältään 100-vuotiaiksi, jolloin betonirakenteiden säilyvyys on yksi tärkeimmistä siltarakenteiden vaatimuksista (Betonitieto 2025f). Standardin SFS-EN 1992-2 mukaan silloissa käytettäville betoneille on määrätty vaatimuksia kestävyysominaisuuksien täyttymiseksi. Näitä ovat betonin lujuusluokka ja P-luku. Lisäksi Liikenneviraston laatimien siltojen sovellusohjeiden mukaan sillan betonisille rakennusosille on omat rasitusluokkaryhmänsä R1, R2, R3 ja R4. (BY201 2018, s. 485–486). Väyläviraston verkkosivujen siltojen korjausohjeiden laatuvaatimusdokumenteissa on Tiehallinnon ohje S11/07, joka sisältää selitteet näille rasitusluokkaryhmille. Ohjeen kohta on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Siltojen rasitusluokkaryhmien selitykset (Tiehallinto 11/07 2007, s. 60–61).

Rasitusluokkaryhmä R1	Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä, ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.
Rasitusluokkaryhmä R2	Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä, ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.
Rasitusluokkaryhmä R3	Siltarakenteet meren rannalla.
Rasitusluokkaryhmä R4	Silta ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.

Silloissa käytettävien betonien lujuusluokat rajoittuvat välille C25/30...C70/85 (BY201 2018, s. 486). Mitä korkeampi lujuusluokka, sitä paremmat säilyvyysominaisuudet betonirakenteella on (Betonitieto 2025g). Suunnitelmissa betonille esitetään myös pakkaskestävyysluku P. Luku kuvaa betonin kykyä vastustaa pakkas-suolarasitusta. Siltarakenteissa P-luku jaotellaan pakkaskestävyysluokkiin P20, P30, P50 ja P70 (BY201 2018, s. 486; Betonitieto 2025i).

Betonisilloissa esiintyvät vauriot vaikuttavat niiden käyttöikänsä, liikenneturvallisuuteen ja ulkonäköön. Nämä vauriot aiheutuvat joko rakennusmateriaalien ominaisuuksista tai siltoihin kohdistuvista ulkoisista tekijöistä. Ulkoisia tekijöitä tässä tapauksessa ovat muun muassa seuraavat:

- Vesi, kosteus ja jäätyminen.
- Betonirakenteiden päälle kertyneet epäpuhtaudet.
- Liikenteen aiheuttamat iskut, tärinä ja törmäykset.
- Suolat ja muut rapautumista aiheuttavat aineet. (Huura 1976, s. 1)

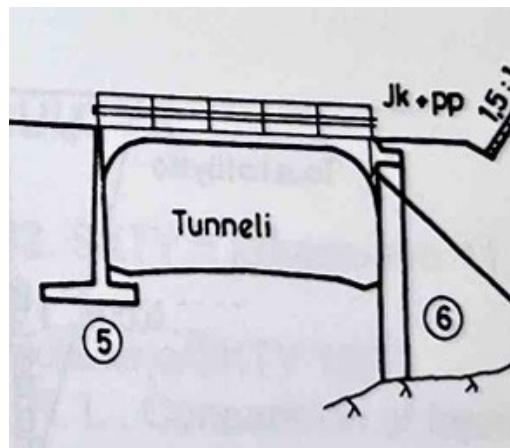
Vaikein ja lukumääräisesti eniten vaurioita aiheuttava tekijä on betonirakenteisiin pääsevä kosteus, joka aiheuttaa pakkasrapautumista ja edelleen teräskorroosiota. Tätä ilmiötä edistää entisestään rakenteiden pinnoille kerääntyvät epäpuhtaudet, jotka usein yhdistyvät kosteuden aiheuttamiin vaurioihin edistäen niitä. (Huura 1976, s. 2)

Liikenne ja etenkin raskasliikenne aiheuttavat betonisissa silloissa iskuja, jotka aiheutuvat usein sillan ja penkereen liittymäkohtien aiheuttamista painanteista ja epätasaisuuksista.

sista. Lisäksi teiden suolaaminen talvella aiheuttaa toistuvia suola-pakkasrasituksia. Ulkoisten tekijöiden lisäksi poikkeuksellisia vaurioita rakenteisiin aiheuttavat ajoneuvot törmätessään siltarakenteisiin. (Huura 1976, s. 2–3)

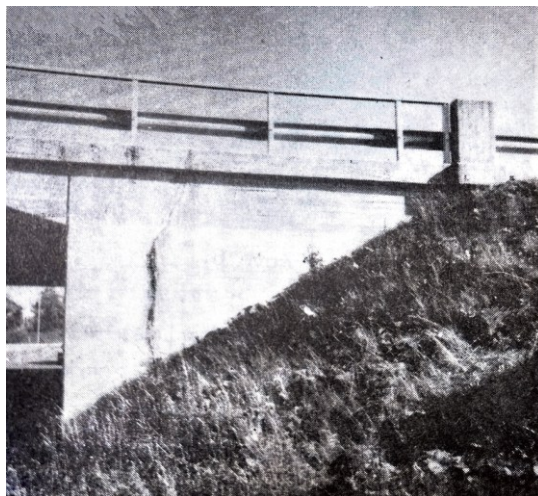
3.3.1 Maatuet

Betonisiltojen maatukien tarkoitus on sama kuin tukimuureilla. Ne toimivat hyvänä rakenteellisena ratkaisuna, kun maaston korkeuserot ovat suuria ja tilaa rakentaa on vähän. Kuvassa 9 on esitetty kaksi sillan maatukiratkaisuja, jossa numero 5 on teräsbetoninen kulmatukimuuri ja numero 6 ankkuroitu suurpaalumuuri.



Kuva 9. Sillan kaksi maatukiratkaisua (RIL 165-2 2006, s. 319).

Siltojen yhteydessä olevia betonisia maatukia vaurioittavat tukimuriin vaikuttavien kuormitusten lisäksi virtaavien pintavesien aiheuttamat syöpymät. Varsinkin betonisilloissa maatuissa esiintyy halkeamia, sillä niitä aiheuttavat normaalien olosuhteiden lisäksi perustusten liikkeet tai maan ja rakenteen painot. (Huura 1976, s. 5) Kuvassa 10 on esitetty betonisillan maatukeen muodostunut halkeama.



Kuva 10. Betonisillan maatuessa oleva halkeama (Huura 1976, s. 5).

Halkeamat ja niihin valuvat epäpuhtaat pintavedet ovat siltojen yhteydessä olevien maatukien merkittävimpiä korroosiota aiheuttavia tekijöitä. Betonin rakoihin valuvat vedet toimivat teräskorroosion mahdollistavana katalysaattorina. Lisäksi virtaavan veden tuomat epäpuhtaudet, kloridit sekä muut kemialliset aineet nopeuttavat betonissa tapahtuvaa vaurioitumista.

3.3.2 Välituet

Maatuista poiketen välituet eivät altistu suurille maamassojen kuormituksille ja ne voivat sijaita usein osittain vedessä. Maatukien tavoin normaalit välituet altistuvat kuitenkin karbonatisoitumiselle, kloridien aiheuttamalle korroosiolle ja jäätymis-sulamisrasituksille. Lisäksi alle 6 metrin etäisyydellä olevat ulkoilman kanssa kosketuksissa olevat betonirakenteet altistuvat suolasumurasitukselle, johtuen talvisin tien suolauksesta tai meriveden kloridirasituksesta. (Tiehallinto 11/07 2007, s. 60–61)

Vedessä tai sen läheisyydessä olevat välituet altistuvat tyypillisesti voimakkaammille pakkasrasituksille suuremman kosteuden sekä vedenkorkeuden vaihteluiden ja liikkeen vuoksi. Yli metrin syvyydessä oltaessa rakenteet eivät kuitenkaan altistu jäätymis-sulamisrasituksille. (Tiehallinto 11/07 2007, s. 60–61) Siltojen välituet altistuvat maatukia todennäköisemmin liikenteen aiheuttamille törmäyksille sekä muille tapaturmille. Lisäksi ne vastaanottavat sillan kansilaatan ohjaamia liikkeitä ja rasittavia voimia perustuksille.

3.4 Väylärakenteet

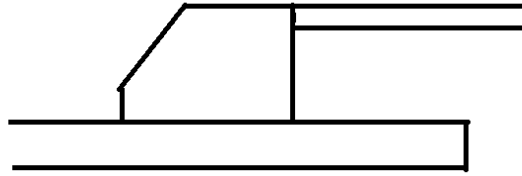
Betonisiksi väylärakenteiksi luokitellaan tässä tapauksessa erilaiset betoniset ympäristörakenteet, päällysteet ja ratapölkkyt. Näistä ympäristörakenteita ovat muun muassa erilaiset reunatuet, muurit, aidat, ulkoportaot ja luiskat.

Ympäristörakenteissa käytetään paljon betonista valmistettuja kiviä, laattoja ja tukia. Betonisen päällystekiven ja -laatan tarkoituksena on toimia pinnoitteena, kun taas betoniset reunatuet erottavat samalla tai eri korkeudella olevia pintoja. (Betoniteollisuus 2023, s. 225)

3.4.1 Ympäristörakenteet

Ympäristörakenteista betoniset reunatuet jakautuvat kolmeen pääryhmään, joita ovat upotettavat-, liimattavat- ja liukuvalettavat reunatuet. Näistä upotettavat ja liimattavat reunatuet rakennetaan reunakivistä, jotka ovat valmiiksi tehtaalla muotteihin valettuja

betonisia tuotteita. (Betoniteollisuus 2023, s. 135) Yleisesti kyseisillä reunatuilla tarkoitetaan taajamissa esimerkiksi jalkakäytävän ja ajoradan erottavaa rakennetta. Kuvassa 11 on esitetty yksi mahdollinen betonisen reunatuen tyyppi.



Kuva 11. Betoninen reunatuki (mukaillen lähteestä RIL 165-2 2006, s. 305).

Betonireunatuet naarmuuntuvat ja kuluvat kuitenkin nopeasti, sillä ne altistuvat liikenteen ja raskaan kunnossapitokaluston aiheuttamalle kulutukselle ja säsäyskuormille. Ne toimivat myös talvella aurauksen ohjauksena, jolloin kestävyysvaatimukset ovat korkeat. (Betoniteollisuus 2023, s. 134) Muita kuormittavia tekijöitä ovat sääolosuhteet, joista erityisesti pakkasen ja teiden suolaus aiheuttaa pakkas- ja pakkas-suolarasitusta.

Betoniset muurit ja aidat auttavat puolestaan maaston muotoilussa, toimivat tilan jakajina ja jopa koristeaiheina. Nämä voivat olla joko paikalla valettuja, elementtejä sekä muurikivistä tai harkoista rakennettuja. (Betoniteollisuus 2023, s. 14) Kuvassa 12 on esimerkki betonisten muurikivien käytöstä.



Kuva 12. Esimerkki betonisen muurikiven käyttökohteesta ympäristörakentamisessa (Betoniteollisuus 2023, s. 159).

Muureihin ja aitoihin kohdistuu mekaanisia rasituksia liikenteen ja siitä aiheutuvien törmäysten vuoksi. Erityisesti tukimuureilla on otettava huomioon maanpainekuorma, liikenne- ja varastokuorma, ympäristön rasitusten kesto sekä jäänpaine, joka aiheutuu rouhan liikkeestä. Vaurioitumista voi aiheuttaa myös kosteus, jos veden pääsy tai täyttöjen kuivatus on puutteellinen. (Betoniteollisuus 2023, s. 162–163)

Betoniset ulkoportaat ja -luiskat ovat usein tehty betonireunakivistä, betonikivestä, -laatoista tai valubetonista. Kuvassa 13 on Helsingin Kalasatamassa sijaitseva betoniluiska.



Kuva 13. Paikalla valettu betoniluiska (Betoniteollisuus 2023, s. 175).

Näissä betonirakenteissa merkittävimpiä vaurioitumista aiheuttavia tekijöitä ovat kosteus, joka voi jäätyessään rikkoa ja irrottaa käytettyjä kappaleita. Lisäksi tulee huomioida betonirakenteiden kulutus, pakkasen kestävyys ja sade- ja sulamisvedet. (Betoniteollisuus 2023, s. 177)

3.4.2 Betonipäällysteet

Betoni tai betonikivi voi toimia yhtenä pintamateriaalina katujen päällystämässä (RIL 165-2 2006, s. 181). Suomessa betonin käyttö kadun päällysmateriaalina on kuitenkin harvinaista, sillä monesti asfaltti sopii materiaaliominaisuuksiltaan tähän paremmin.

Betonia tai betonikiveä käytetään kuitenkin esimerkiksi pyöriteiden pinnoitteena keskusta-alueilla sekä ajoneuvoliikenteessä muun muassa suojateillä, bussipysäkeillä, korrokeilla ja välikaistoilla. Vähäliikenteisiä katuosuuksia sekä asuntokatuja saatetaan pinnoittaa myös betonikivellä.

Päällysmateriaalina katurakenteissa betonikiveen kohdistuvat merkittävimmät rasitukset ovat pakkasrasitus sekä muut ilmastokuormitukset, joita ovat esimerkiksi vuoden ajoista johtuvat lämpötilan muutokset ja betonin routintuminen sekä maan routiminen. Nämä

aiheuttavat etenkin betonin halkeilua ja karbonatisoitumista. Varsinkin keväisin roudan ja maan sulamisen jälkeen vapautuva ylimääräinen kosteus heikentää betonikiven kuormituskestävyyttä. (RIL 165-2 2006, s. 187–190) Sääolosuhteiden aiheuttamien rasitusten lisäksi betonipäällysteeseen kohdistuu liikenteen aiheuttama kuluminen ja mahdollinen suola-pakkasrasitus.

3.4.3 Ratapölkkyt

Ratapölkkyt ovat raiteeseen kuuluvia rakenteita, joiden tarkoituksena on toimia kestäväenä alustana kiskon kiinnitykselle, sekä parantaa stabiliteettia ja suurentaa tukikerrosta kuormittavaa pinta-alaa (Infra 2015, s. 99). Betoniset ratapölkkyt ovat yksi vaativimmista betonituotteista, johtuen niihin kohdistuvista suurista dynaamisista kuormituksista ja korkeista säilyvyysvaatimuksista (Betonitieto 2025f).

Ratapölkkyihin kohdistuvia mekaaniset rasitukset ovat merkittäviä johtuen raiteeseen kohdistuvasta junaliikenteen aiheuttamasta kuormituksesta, korkeista nopeuksista ja suuresta käytöstä. Nämä aiheuttavat betonipölkkyihin muun muassa tärinää, kallistuksia ja vaakasuuntaisia kuormia. (Väylävirasto 2020, s. 4–11) Kuvassa 14 on kaksi raidetta, joissa on käytetty betonipölkkyjä.



Kuva 14. Betonipölkkyjen käyttöesimerkki: Oikorata Kerava-Lahti (SATEBA 2025).

Muita vaurioitumista aiheuttavia tekijöitä ovat karbonatisoituminen, halkeamat ja sääolosuhteiden aiheuttamat rasitukset, kuten sateet, jäätymis-sulamisrasitus ja lämpötilan vaihtelut. Näistä yksi merkittävimpiä tekijöitä ovat routavauriot, joista varsinaista ongelmaa aiheuttavat roudan aikainen routanousu ja roudan sulaessa mahdolliset maakerrosten painumat, jotka vaikuttavat suoraan pölkkyjen stabiliteetin ja siitä aiheutuviin vaurioihin. (Väylävirasto 2024)

Ratapölkkyt voivat altistua myös erilaisille onnettomuuksille, kuten junaonnettomuuksille, jolloin betonirakenteet ottavat vastaan merkittäviä iskuja. Näiden yhteydessä raiteille voi päätyä betonille hyvin haitallisia aineita ja kemikaaleja. Kemikaalit voivat vaurioittaa betonipölkkyjä merkittävästi vähentäen kestävyysominaisuuksia ja laskien suunniteltua käyttöikä.

3.5 Kunnallistekniset rakenteet

Kunnallisteknisiä betonituotteita ovat esimerkiksi kaivot, putket ja altaat. Näistä betonisia kaivoja ja putkia käytetään muun muassa sade- ja sulamisvesien sekä jätevesien viemäröinnissä ja hulevesien viivästysjärjestelmissä. (BY201 2018, s. 479; Betonitieto 2025f)

Betonituotteiden ja -rakenteiden kemiallisten rasitusten huomioon ottaminen on erityisen tärkeää kunnallisteknisissä järjestelmissä, sillä osa näistä altistuu esimerkiksi yhdyskuntajätevedelle. Näissä biologiset rasitukset ovat normaaliin betonirakenteeseen verrattain suuremmat. Betonirakenteet voivat altistua lisäksi muille tyypillisille kemiallisille rasituksille, joita ovat maaperän ja pohjaveden aiheuttamat rasitukset sekä kemiallisen yhdisteen aiheuttama rasitus. (BY68 2024, s. 25)

3.5.1 Putket

Betoniputket voivat olla suoria tai muhvollisia, ja niiden poikkileikkaukset pyöreitä tai jallaisia. Näillä poikkileikkauksen muodoilla pyritään optimoimaan betoniputkessa olevia virtausominaisuuksia ja putken itsepuhdistuvuutta, joilla on suora vaikutus betoniputket kestävyteen. Muotojen lisäksi betoniputket voivat olla joko raudoittamattomia tai raudoitettuja putkia. Raudoitettuja betoniputkia käytetään silloin, kun putkessa esiintyy esimerkiksi taivutusrasitusta pituus- ja poikittaissuunnassa, halkeilua sekä mahdollisia sortumisia, jos putkeen kohdistuu suuria ennakoimattomia kuormia tai painumia. (BY201 2018, s. 479–480)

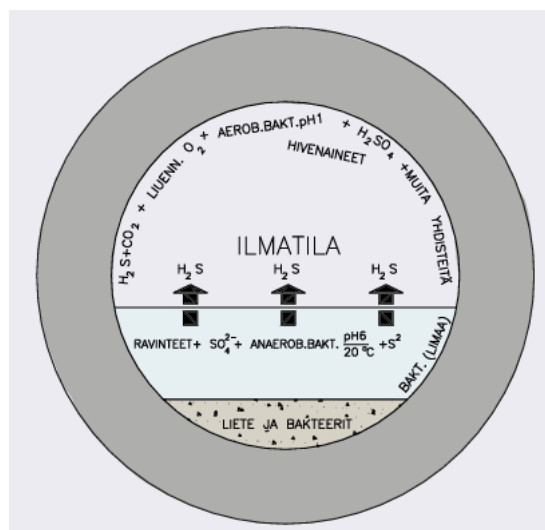
Yleisesti betoniputket kestävät hyvin kulutusta sekä staattisia ja dynaamisia kuormituksia. Betonin murtuminen on kuitenkin puristus- ja vetorasituksille haurasta. Näiden lisäksi mekaanista rasitusta esiintyy etenkin jäte- ja hulevesiputkissa, sillä niissä kulkee usein hiekkaa ja muita partikkeleita, jotka kuluttavat viemäriputken seinämiä. Toisaalta pakkaskestävyys betoniputkissa on hyvä, sillä yleensä valmistuksessa käytetään korkealaatuista betonia, joka antaa riittävän suojan pakkasrasitusta vastaan. (Petrow et al. 2017, s. 106–107) Kuvassa 15 on esitetty esimerkki betoniputkesta.



Kuva 15. Betoniputki (Betoniteollisuus 2023, s. 214).

Betoniputkissa esiintyy myös hyvin vähän kemiallisia rasituksia, sillä putkia valmistaessa betonin vesisementtisuhde on alhainen sekä sen tiiviys että lujuus turvaavat hyvän kemiallisen kestävyuden. Kemiallinen korroosio on näiden lisäksi hyvin vähäistä, sillä kemiallisesti aggressiivisten aineiden laskeminen putkiin on nykyään kiellettyä. Putkia voi kuitenkin vaurioittaa happamat ja sulfaattipitoiset jätevedet. Näiden lisäksi maan liian korkeat sulfaatti- tai sulfiittipitoisuudet, kiisupitoisuudet, hiilihappopitoinen pohjavesi sekä sulfaattipitoiset savimaat voivat aiheuttaa rasituksia betonirakenteessa. (Petrow et al. 2017, s. 107–108)

Pohjavesi ja putkissa kulkeva vesi voi olla myös liian aggressiivista veden sisältäessä liikaa kalsiumyhdisteitä tai hiilidioksidia. Näistä esimerkiksi hiilidioksidi alentaa betonin emäksisyyttä ja betonin teräksiä suojaavia ominaisuuksia. Betoniputkissa voi esiintyä myös biologisista rasituksista johtuvaa rikkivetykorroosiota, jonka esiintyminen on esitetty kuvassa 16. (Petrow et al. 2017, s. 109–110)



Kuva 16. Rikkivetykorroosion muodostuminen betonisessa viemäriputkessa (Petrow et al. 2017, s. 110).

Rikkivesi muodostuu yleensä viemäriveredessä olevien bakteerien välityksellä. Nämä bakteerit hajottavat rikkiyhdisteitä, joista muodostuu viemäriverteen liukenevaa rikkivetyä, joka siirtyy viemäriputken ilmatilaan. Tällöin rikkivety pääsee imeytymään betoniputken kosteaan pintaan, jolloin se muuttuu rikkihapoksi, joka reagoi sementin kanssa sitä vaurioittavasti ja aiheuttaen betonissa rikkivetykorroosiota. (Petrow et al. 2017, s. 110)

3.5.2 Kaivot

Betoniset kaivot ovat usein hulevesi- ja viemärikaivoja. Näissä betonisissa kaivoissa tulee käyttää betoniputkinormeissa asetettuja laatuvaatimuksia. Paikalla valettavissa betonikaivoissa tulee taas noudattaa betoni- ja teräsbetonirakenteiden normaalimääräyksiä. (Hakola et al. 1968, s. 491–492) Kuvassa 17 on betoninen kaivonrenkas.

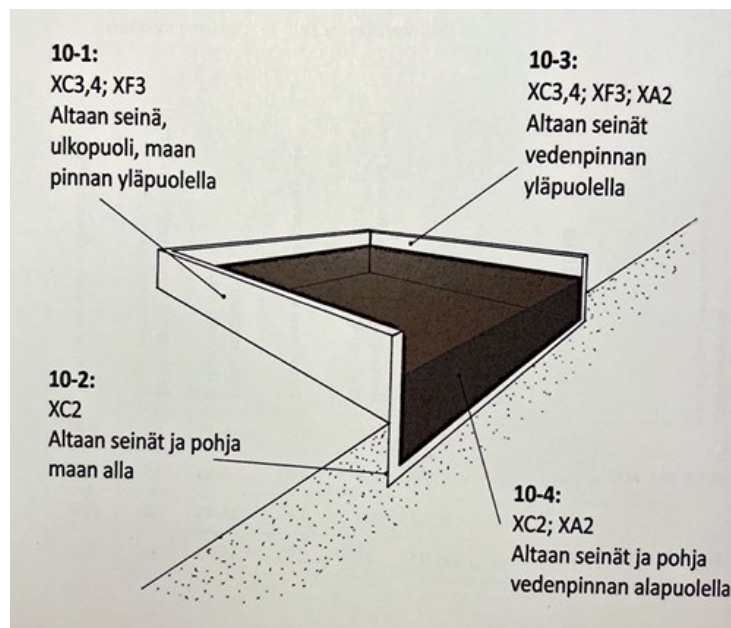


Kuva 17. Tehtaassa valmistettu betoninen kaivonrenkas (Petrow et al. 2017, s. 35).

Betonikaivoihin kuuluvat kaivonrenkaat, pohjaelementit ja kannet. Näistä tuotteista betonikannet altistuvat pääosin sääolosuhteiden aiheuttamille rasituksille. Standardin SFS 7022 kohdan A.1.2 mukaan betonikansien tulee täyttää rasitusluokan XF3 vaatimukset 50 vuoden suunnitellulla käyttöiällä. (SKTY 2/2021 2021, s. 41) Kannet ovat siis eniten alttiita sateen aiheuttamalle kulutukselle sekä jäätyksen aiheuttamalle pakkasrapautumiselle. Näiden lisäksi betoniset kaivonrenkaat ja pohjaelementit altistuvat samoille rasitustekijöille kuin putket ja altaat, riippuen käyttötarkoituksesta ja niissä olevasta vedestä.

3.5.3 Altaat

Yleisimpiä kunnallistekniikan betonialtaita ovat altaat, jotka sisältävät esimerkiksi yhdyskuntajätevettä ja vesijohtovettä. Altaiden maan alaiset betonirakenteet altistuvat yleisimmin karbonatisoitumisen aiheuttamalle korroosiolle. Maan yläpuoliset ja altaan ulkopuoliset betonirakenteet altistuvat tämän lisäksi jäätymis-sulamisrasituksille. Sisäpuoliset veden pinnan ala- ja yläpuoliset betonirakenteiden rasitukset vaihtelevat altaassa olevan nesteen perusteella. Tyypillisesti näitä ovat karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, kemiallinen rasitus riippuen aineesta sekä mahdollinen jäätymis-sulamisrasitus. (BY68 2024, s. 88–90) Näiden mukaisesti kuvassa 18 on esitetty yhdyskuntajätevettä sisältävän tuuletetun altaan rasitusluokkia.



Kuva 18. Betoninen yhdyskuntajätevesiallas (BY68 2024, s. 88).

Altaissa oleviin rakenteisiin kohdistuvat kemialliset rasitukset voivat kuitenkin vaihdella, jopa kuvassa 18, sillä nesteen koostumus tulee testata aina näyttein, jotta saadaan tietää oikeat rasitusvaikutukset. (BY68 2024, s. 88) Näiden lisäksi kunnallistekniisiin betonialtaintaiin voi kohdistua myös samoja kemiallisia rasituksia vedestä ja maasta kuin betoniputkiin, joita olivat muun muassa happamat- ja sulfaattipitoiset vedet sekä maan sulfaattipitoisuus.

3.6 Vesirakenteet

Tyypillisiä vesirakennuskohteita ovat muun muassa padot sekä erilaiset satamarakenteet, kuten laiturit. Näiden betonirakenteiden erikoispiirteenä Suomessa on veden pinnan jäätyminen talviaikana, johtuen kylmistä olosuhteista. (VTT 1201 1991, s. 62)

Jäät ja veden jäätyminen rasittavat betonisia vesirakenteita monin tavoin. Tyypillisesti betonirakenteeseen kiinni tarttunut jääpeite pyrkii liikkumaan ja kuormittamaan rakennetta vaakasuunnassa lämpötilavaihteluiden sekä tuulten ja virtausten vaikutuksesta. Lisäksi veden pinnan läheisyydessä sijaitsevaa betonia rasittaa voimakkaasti pakkasen materiaalin jäätyessä märkänä. (VTT 1201 1991, s. 62)

3.6.1 Padot

Padot ovat rakenteita, joiden tarkoituksena on rajoittaa, estää tai ohjata veden luonnollista virtausta. Tällöin padon tehtävänä on joko varastoida vettä, nostaa sen pintaa, säännellä vesistöjä, parantaa vesiliikenteen mahdollisuuksia tai ohjata kastelua ja tulvasuojelua. Näiden lisäksi on vielä rantapatoja, joiden tarkoituksena on estää veden pääsy alaville maille. (Sistonen 1980, s. 45) Kuvassa 19 on esitetty esimerkki rakennetusta betonipadosta.



Kuva 19. Massiivinen betonipato (Isomäki 2021).

Betonipatoja rakennetaan silloin, kun maapatoon sopivia rakenteita ei ole saatavilla, patoon sijoitetaan muita rakenteita, rakennuspaikka on ahdas, sääolosuhteet tietävät pakkasta ja sadetta sekä, jos patoon on mahdollista kohdistua odottamattomia tulvia, maan siirtymisiä sekä ylivirtauksia. (Sistonen 1980, s. 47)

Merkittävimpiä betonipatoihin kohdistuvia kuormituksia ovat seuraavat:

- Ulkoisen vapaan veden aiheuttama paine.
- Huokosvedenpaine.
- Veden nosteen aiheuttama paine padon pohjapintaa vasten.
- Tuulen aiheuttamat aallot ja näiden aiheuttamat sysäykset.
- Virtaavan veden aiheuttama törmäys betonirakenteeseen.
- Jäänpaineen aiheuttama kiinteässä jääpeitteessä tapahtuva lämpölaajeneminen sekä jäähän kohdistuva tuulen paine.
- Jäänlähdön aikana liikkuvien jäiden aiheuttamat sysäykset.
- Rakenteen omapaino sekä liikkuvien osien aiheuttamat kuormat.
- Liikenne-, tuuli-, ja lumikuormat.
- Lämpötilan muutokset, betonikutistuminen- sekä laajenemisen aiheuttamat hii-pumat. (Sistonen 1980, s. 47–49)

Massiivisissa betonipadoissa etenkin jäätyminen, kuivumisen ja lämpötilanlaskun vuoksi betoniin muodostuu jännityksiä, jotka aiheuttavat halkeamia. (Sistonen 1980, s. 53). Nämä mahdollistavat raudoitusten korroosion, merivedessä kloridirasitusta sekä kemiallisten rasitusten aiheuttamaa vaurioitumista. Lisäksi sateelle ja vedelle alttiit betonipadot voivat rakenteen jäätyessä kyllästyä merkittävästi. Padon yhteydessä olevalla vedellä on myös merkitystä vaurioitumiseen, sillä ne aiheuttavat ominaisuuksiensa mukaan esimerkiksi karbonatisoitumista, betonin liukenemista ja korroosioriskiä. (Betonitieto 2025c)

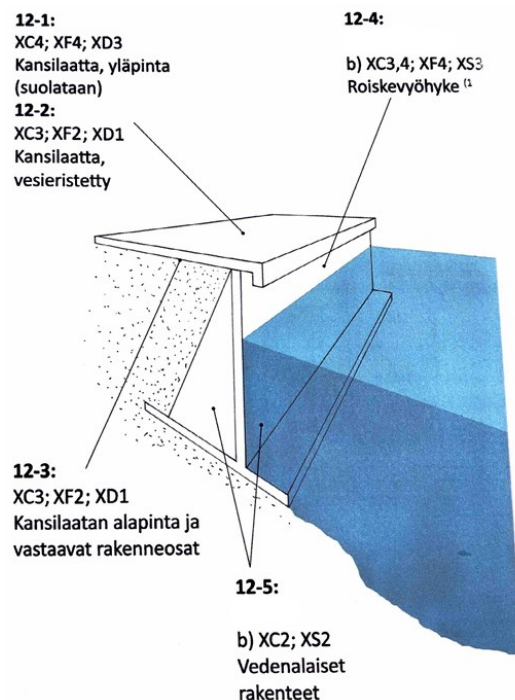
3.6.2 Satamarakenteet

Tyypillisimpiä betonisia satamarakenteita ovat erilaiset laiturit, kanavat ja aallonmurtajat. Näitä ovat esimerkiksi massiiviset tukimuurirakenteet sekä veden ala- ja yläpuoliset rakenteet. Suurien virtausrasitusten vuoksi satamarakenteille on tyypillistä veden pinnan ja vedenpaineiden nopeat vaihtelut, jotka vaikuttavat betonirakenteisiin. (VTT 1201 1991, s. 62–63; RIL 165-2 2006, s. 539)

Satamarakenteet altistuvat suurille käyttö- ja ympäristökuormituksille. Näistä merkittävimpiä betonin vaurioitumista edistäviä tekijöitä ovat:

- Maanpaineet, kuten tukirakenteiden siirtymistä aiheutuvat vauriot sekä pohja- ja huokosveden vaikutukset.
 - Vedenpaine ja -noste.
 - Aaltovoimat.
 - Jään noste- ja pystykuormat sekä horisontaalinen paine.
 - Lumi- ja tuulikuormat.
 - Lämpötilavaihteluista aiheutuva vaurioituminen.
 - Rakenteiden päällä olevat kuormat ja liikenne.
 - Laivojen aiheuttamat törmäykset ja hankaukset liikkeestä tai sääolosuhteista johtuen.
 - Betonirakenteissa olevista pollareista siirtyvät kuormat laitureihin.
 - Satamien yhteydessä olevien siltojen, tunneleiden, putkistojen, mastojen jne. kuormituksen aiheuttamat vaikutukset, jotka huomioidaan tapauskohtaisesti.
- (RIL 165-2 2006, s. 538–539)

Edellä mainittujen mekaanisten kuormien lisäksi satamarakenteisiin kohdistuu muita merkittäviä rasituksia. Kuvassa 20 on esitetty betoninen satamarakenne ja tämän tyypillisimpiä rasitusluokkia. (BY68 2024, s. 92)



Kuva 20. Betonisen kulmatukimuurilaiturin rasitusluokat meriveden vaikutuksessa
(Muokattu lähteestä BY68 2024, s. 92).

Tyypillisissä betonisissa satamarakenteissa rakenteen yläpintaan kohdistuu karbonatisoitumisen aiheuttamaa korroosiota, jäätymis-sulamisrasituksia sekä kloridien aiheuttamaa korroosiorasitusta. Vedenalaiset betonirakenteet altistuvat merivedessä olevien kloridien vaikutuksesta korroosiolle. Betonirakenteen roiskevyöhykkeessä materiaalia kuormittaa vielä voimakkaammin jäätymis-sulamisrasitus, sillä tämä ei sijaitse pysyvästi veden alla. (BY68 2024, s. 92)

Näiden lisäksi satamarakenteita rakennettaessa käytetään usein täyttömaita, jotka voivat vaikuttaa betonirakkeen turmeltumiseen. Täyttömaiden laatu voi olla vaihtelevaa niiden alkuperän ja käsittelyn aikaisen toiminnan vuoksi. Esimerkiksi maiden hapettuminen tai altistuminen kemikaaleille voi johtaa pilaantumiseen, jolloin täyttömaista tulee betonirakenteille vahingollisia.

4. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Kaikki infrarakentamisessa käytettävät betoniset rakenteet altistuvat jollekin vaurioitumista aiheuttavalle tekijälle käytön aikana. Tämän vuoksi merkittävimpien vauriotekijöiden tunteminen on tärkeää betonirakenteiden turmeltumismekanismien ymmärtämiseksi.

Betonirakenteiden vaurioitumista aiheuttavat rasisustekijät voidaan jaotella kemiallisiin, fysikaalisiin, mekaanisiin ja biologisiin rasituksiin. Kemialliset rasitukset aiheuttavat betonissa sisäisiä tai ulkoisia vaurioitumismekanismeja, joita aiheuttavat muun muassa alkali-kiviainesreaktio, erilaiset hapot ja sulfaatti- ja sulfidimaiden aiheuttamat kemialliset reaktiot. Nämä aiheuttavat betonirakenteissa paisumista ja betonin liukenemistä ja edelleen terästen korroosiota.

Fysikaalista vaurioitumista betonirakenteissa aiheuttavat tyypillisesti pakkaminen, kutistuma, kuluminen ja erilaiset lämpövaikutukset. Ne aiheuttavat eroosiota, rapautumista ja halkeilua, jotka johtavat edelleen muihin vaurioitumismekanismeihin, kuten teräskorroosioon. Mekaaninen vaurioituminen johtuu puolestaan infrarakenteisiin kohdistuvan kuormituksen lisäksi painumista, värähtelystä, iskuista ja törmäyksistä. Nämä aiheuttavat betonirakenteissa usein taipumaa, halkeilua ja murtumista. Biologiset rasitukset johtuvat tyypillisesti kasveista, jotka pidättävät vettä betonin pinnalla tai tunkeutuvat halkeamiin. Nämä aiheuttavat esimerkiksi pakkasvaurioita. Orgaaniset aineet voivat muodostaa myös esimerkiksi betoniputkissa rikkivetyä, joka aiheuttaa betonin syöpymistä ja korroosiota.

Eri vauriotekijöiden vaikutukset ohjaavat betonirakenteiden suunnittelua ja käyttöään määrittämistä. Rasisustekijöiden lisäksi suunnittelussa tulee ottaa huomioon betonirakenteeseen kohdistuvat ympäristöolosuhteet, joiden mukaan betonirakenteen rasisusluokka tai -luokat valikoidaan. Ympäristöolosuhteiden aiheuttamat rasitukset ja niistä johtuva vaurioituminen jaotellaan viiteen luokkaan: karbonatisoitumisen aiheuttamaan korroosioon, kloridien aiheuttamaan korroosioon, merivedessä olevien kloridien aiheuttamaan korroosioon, jäätymis-sulamisrasitukseen sekä kemialliseen rasitukseen.

Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat betonirakenteen käyttöikänsä. Infrarakenteille on määritetty tyypillisiä rasisusluokkia ja käyttöikä, mutta ne voivat vaihdella rakenteen käyttötarkoituksen ja korjaustoimenpiteiden mukaan. Taulukossa 2 on esitetty tyypillisimpien betonisten infrarakenteiden vaurioitumiseen merkittävimmin vaikuttavat vauriotekijät. Taulukossa on esitetty myös tyypillisesti käytetyt rasisusluokat ja suunnitellut käyttöiät.

Taulukko 2. Betonisten infrarakenteiden merkittävimmät rasitustekijät, tyypilliset rasitusluokat ja suunniteltu käyttöikä (rasitusluokat: Betonitieto 2025a).

Betoni-rakenne	Merkittävimmät vauriotekijät	Ympäristöolosuhteiden tyypillinen rasitusluokka /-luokat tavanomaisissa olosuhteissa	Tyypillinen suunniteltu käyttöikä
Anturat	- Maan painumista, tärinästä tai roudasta johtuvat rakenteelliset vauriot	XC2	50 v / 100 v
Paalut	- Käsittely työmaalla - Paalujen lyönti - Pohjaveden korkeat sulfaatti- ja kloridipitoisuudet - Sulfaattirasitus - Ennakoimattomat kuormitukset	XC2	100 v
Tukimuurit	- Maa- ja vedenpaine - Lisäkuormitukset - Pakkasrasitus - Kloridirasitus - Törmäyskuormat	XC3,4; XF1,2; XD1,3	50 v
Sillat	- Kosteuden aiheuttama karbonatisoituminen ja teräskorroosio - Toistuvat jäätymis-sulamisrasitukset - Kloridirasitus - Iskut, tärinä ja törmäykset	XC3,4; XF3; XD1	100 v
Reunatuet	- Pakkasrasitus - Suola-pakkasrasitus - Liikenteen aiheuttama kulutus - Kunnossapidon aiheuttamat törmäykset	XC3,4; XF2; XD1	Ei määritelty
Rata-pölkkyt	- Dynaamiset kuormitukset ja tärinä - Vaakasuuntaiset kuormat - Routa - Päällysrakenteen kunnossapito	XC3,4; XF3	40 v
Putket, kaivot ja altaat	- Aggressiivinen vesi / neste - Rikkivetykorroosio - Pohjamaan kokoonpuristumat - Sulfidimaat - Aallot ja jäälautat - Nesteen paine	Vesijohtovesi: XC1,2; XC3,4; XF3 Yhdyskuntajätevesi: XC2,3; XF3; XA2	100 v 50 v / 100 v
Padot	- Vedenpaineet - Aaltoliike - Jää ja jääpaine - Omapaino - Liikenne-, tuuli- ja lumikuormat - Sääolosuhteet - Betonin jäätymis-sulamissyklit, kuivumis-kastumissyklit ja lämpötilanmuutokset	Makean veden yhteydessä oleva rakenne: XC3,4; XF2; XD1 Meriveden yhteydessä oleva rakenne: XC3,4; XF4; XS3	100 v
Satamarakenteet	- Meriveden aiheuttama korroosio - Roiskerajan jäätymis-sulamisrasitus - Lämpötilavaihtelut - Törmäykset - Rakenteiden kuormat - Maanpaineet - Aaltovoimat ja jäälautat - Vedenpaine- ja noste	Kansilaatta (suolataan): XC4; XF4; XD3 Kansilaatta vesieristetty: XC3; XF2; XD1 Kansilaatan alapinta ja vastaavat rakenneosat: XC3; XF2; XD1 Roiskevyöhyke: XC3,4; XF4; XS3 Vedenalaiset rakenteet: XC2; XS2	50 v / 100 v

Infrarakenteissa betonirakenteiden todellinen käyttöikä on tyypillisesti paljon pidempi kuin suunniteltu käyttöikä. Käyttöikää pidennetään kunnossapidolla ja korjauksilla. Rakenteeseen kohdistuvat kuormitukset ja myös käyttöympäristö voivat muuttua pitkän elinkaaren aikana. Tulevien muutoksien ennakointi ei ole mahdollista eikä kustannustehokasta vielä rakenteen suunnitteluvaiheessa, mutta rakenteen tehokas suojaaminen käyttöympäristön aiheuttamilta vauriotekijöiltä mahdollistaa pitkän käyttöiän. Näiden vauriomekanismien tunnistaminen ja niihin varautuminen on oleellista betonirakenteen pitkän elinkaaren takaamiseksi.

LÄHTEET

Betoniteollisuus (2023). Betonin käyttö ympäristörakentamisessa. Betoniteollisuus ry. Saatavissa (viitattu 25.11.2025): https://betoni.com/wp-content/uploads/2023/01/Betonin-kaytto-ymparistorakentamisessa_2023.pdf

Betonitieto (2025a). Betonin ja rasitusluokan valinta. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 4.10.2025): <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/rakenteiden-toteutus suunnittelu-ja-mitoitus/betonin-ja-rasitusluokan-valinta.html>

Betonitieto (2025b). Betoni korkeissa lämpötiloissa. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 4.10.2025): <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/betonin-sailyvyys/betoni-korkeissa-lampotiloissa.html>

Betonitieto (2025c) Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 25.11.2025): <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/betonin-sailyvyys/betonirakenteiden-kayttoikasunnittelu.html>

Betonitieto (2025d). Betonin säilyvyys. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 4.10.2025): <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-ominaisuudet-ja-valinta/betonin-sailyvyys.html>

Betonitieto (2025e). Betonirakenteiden säilyvyys. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 14.11.2025): <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/betonirakenteiden-suunnitteluperusteet/betonirakenteiden-sailyvyys.html>

Betonitieto (2025f). Betonituotteet. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 27.10.2025): <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonituotteet.html>

Betonitieto (2025g). Infrarakentaminen. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 14.11.2025): <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonielementit/betonielementtirakentaminen/infrarakentaminen.html>

Betonitieto (2025h). Kiviainesten kemialliset ominaisuudet. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 14.11.2025): <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/betonin-valmistus/betonin-osa-aineet-ja-niiden-kasittely/betonin-osa-aineet/kiviainenes/kemialliset-ominaisuudet.html>

Betonitieto (2025i). P-luku. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 19.11.2025): <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/p-luku.html#:~:text=P-luku%20kuvaa%20betonin%20kyky%C3%A4%20vastustaa%20pakkas-suolarasitusta.%20P-lukumenettely%20on,taitorakenteiden%20rakentamisessa.%20P-lukumenettely%20on%20esitetty%20yksityiskohdissaan%20V%C3%A4yl%C3%A4viraston%20ohjeessa.>

Betonitieto (2025j). Raudoitustankojen betonipeitevaatimukset. Suomen Betoniyhdistys ry. Saatavissa (viitattu 10.12.2025): <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johdaminen-talonrakentaminen/betonityot/raudoitustyot/betonipeite.html>

BY201 (2018). Betonitekniikan oppikirja. Suomen Betoniyhdistys ry. BY-Koulutus Oy, Helsinki. 556 s.

BY203 (1995). Betonirakenteiden perusteiden oppikirja. Suomen Betoniyhdistys ry. Suomen betonitieto, Helsinki. 191 s.

BY32 (1992). Betonirakenteiden säilyvyysohjeet ja käyttöikämitoitus. Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki. 66 s.

BY65 (2021). Betoninormit 2021. Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki. 156 s.

BY68 (2024). Betonin valinta ja käyttöikäsuunnittelu – opas suunnittelijoille 2024. Suomen Betoniyhdistys ry, Vaasa. 103 s.

BY74 (2022). Ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi. Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki. 49 s.

Capili, L. (2025). Green ivy climbing up a textured concrete wall. Unsplash. Saatavissa (viitattu 10.12.2025): https://unsplash.com/photos/green-ivy-climbing-up-a-textured-concrete-wall-C5mChhzd_D0

Hakola, Hautala & Myllyluoma (1968). Tienrakennus. Teoksessa Maa- ja vesirakennus. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, Helsinki. 881 s.

Helenelund, K. V. (1963). Maanpaine. Teoksessa Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Maa- ja vesirakennusinsinöörin yhdistyksen vuosikirja. K. F. Puromiehen kirjapaino Oy, Helsinki. 600 s.

Helenelund, K. V. (1967). Pohjarakennus 143. Otapaino, Espoo. 198 s.

Huura, J. (1976). Vauriot ja niiden estäminen. Teoksessa Sillanrakennus. Insinööritieto Oy, Helsinki. 1–5 s.

Infra (2015): Rakennusosa- ja hankenimistö. Määrämittausohje. Rakennustieto Oy. Saatavissa (viitattu 24.11.2025): https://tiedostot.rakennustieto.fi/liitteet/infra-ryl/Infra_2015_Maaramittausohje.pdf#2422.0

Isomäki E. (2021). Erilaisia patoja. Vesi.fi. Saatavissa (viitattu 7.12.2025): <https://www.vesi.fi/vesitieto/erilaisia-patoja/>

K.V. Helenelund (1963). Geotekniikka ja pohjarakennus. Teoksessa Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Maa- ja vesirakennusinsinöörien yhdistyksen vuosikirja. K. F. Puromiehen kirjapaino Oy, Helsinki. 600 s.

K-H. Korhonen (1963). Patorakenteet. Teoksessa Maa- ja vesirakentajan käsikirja. Maa- ja vesirakennusinsinöörien yhdistyksen vuosikirja. K. F. Puromiehen kirjapaino Oy, Helsinki. 600 s.

Petrow S., Heikkinen M., Forsman J. & Pirinen M. (2017). Betoniset viemäri- ja hulevesijärjestelmät -suunnittelu ja toteutus. Betoniteollisuus ry, Helsinki. Saatavissa (viitattu 25.11.2025): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset_viemari_ja_hulevesijarjestelmat.pdf

Punkki, J. & Mannonen, R. (2019). Teräbetonipaalujuen säilyvyysuunnittelu. Teoksessa Paaluinfo 1 (2019). Betoni.com. Saatavissa (viitattu 5.10.2025): <https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/10/Terasbetonipaalujuen-sailyvyysuunnittelu.pdf>

Pyy H. (2025). Betonirakenteiden fysikaaliset vauriot. Betonirakenteiden korjaaminen 2025. Päivitetty 10.3.2025. Saatavissa (viitattu 19.9.2025): <https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssit/betonirakenteiden-korjaaminen-ja-tutkiminen/hannu-pyy-betonin-korjauskurssi-2025-fysikaaliset-vauriot.pdf>

Rakennusteollisuus (2022). PO-2016 Mukaiseen paalutuksen suunnitteluun ja paalutus-työhön RT betonipaaluilla. Rakennusteollisuus RT ry. Saatavissa (viitattu 14.11.2025): <https://betoni.com/wp-content/uploads/2022/11/RT-Betonipaalu-Tuotelehti-17-11-2022.pdf>

Rantamäki M & Tamminne M. (1979). Pohjarakennus. Otakustantamo, Helsinki. 227 s.

RIL 165-2 (2006). Päälysteet. Liikenne ja väylät II. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki 591 s.

RIL 165-2 (2006). Tukimuurit. Liikenne ja väylät II. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki 591 s.

RIL 184 (1991). Rakennusmateriaalien ja -osien kestävyys. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Helsinki. 263 s.

RIL K145-1991 (1991). Betonin rakenne ja vaurioituminen. Betonirakenteiden säilyvyys, vauriot ja korjaaminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 165 s.

SATEBA (2025). Sateba Finland. Viitattu (saatavissa 9.12.2025): <https://finland.sateba.com/>

Siikanen, U. (1986). Rakennusaineoppi. Unto Siikanen ja rakennuskirja Oy, Jyväskylä. 319 s.

Sistonen, H. (1980). Vesirakennuksen perusteet 433. Otapaino, Espoo. 143 s.

SKTY 2/2021 (2021). Isojen betoniputkien ja -kaivojen normit 2021. Suomen kuntatekniikan yhdistys SKTY. Saatavissa (viitattu 25.11.2025): [https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/2025/01/isojen betoniputkien ja kaivojen normit 2021.pdf](https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/2025/01/isojen_betoniputkien_ja_kaivojen_normit_2021.pdf)

Teräsbetonipaalujujen säilyvyysuunnittelu (2016). Teoksessa Paaluinfo 2. Betoni.com. Saatavissa (viitattu 5.10.2025): <https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/10/Teras-betonipaalujujen-sailyvyysuunnittelu.pdf>

Tiehallinto 11/07 (2007). Betoni sillankorjausmateriaalina. Silko-ohjeet. Saatavissa (viitattu 19.11.2025):

KUHTTP7gD%2F7Gtgp5WPHzAUaYebOUGm%2FGzA%2Br8U%2B9VOSCKo-
yhy7SSbueMK8kSX0VA6hL%2FjrVRZn39ZfQOUy3IT%2Fiu0gK8F9ocxjIF5tTEp2skPq
Q1WCaXJjD3MkcLh4XXc%2F3wHpBXipdVZro4fJ7ovrlt45QS%2BPePQ%3D%3D&X-
Amz-Signa-
ture=08a285152b434d9f07e87ae94687606701874c4e01006c417f46ebe58f041bdd&X-
Amz-SignedHeaders=host&x-amz-checksum-mode=ENABLED&x-id=GetObject

VTT Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 1201 (1991). Suomalaisen kylmän il-
maston rakennustekniikka. Osa 5. Betoni- ja tiilirakentaminen. VTT OFFSETPAINO, Es-
poo. 68 s.

Väylävirasto (2020). Radan päällysrakenteet. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 11. Saa-
tavissa (viitattu 24.11.2025): [https://rok.vayla.fi/wp-content/uploads/2021/11/RATO-11-
Infotilaisuus.pdf](https://rok.vayla.fi/wp-content/uploads/2021/11/RATO-11-Infotilaisuus.pdf)

Väylävirasto (2024). Ratojen routavauriot. Saatavissa (viitattu 21.11.2025):
<https://vayla.fi/kunnossapito/rataverkon-kunnossapito/routavauriot>