

Opinnäytetyö AMK

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Infratekniikka

2022

Anton Sirkama

# INFRABETONIEN OHJEIDEN MUUTOKSET JA LAADUNVARMISTUS SILTARAKENTAMISESSA



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Ohjaaja: DI Maarit Järvinen

2022 | 60 sivua, 2 liitesivua

Anton Sirkama

# INFRABETONIEN OHJEIDEN MUUTOKSET JA LAADUNVARMISTUS SILTARAKENTAMISESSA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uuden infrabetonien valmistusohjeen muutoksia betonisiltojen rakentamisessa käytettyjen yleisten laatuvaatimusten ja ohjeiden muutosten kautta. Työssä selvitettiin myös ohjeiden muutoksiin johtaneita syitä infrabetonien valmistuksessa ja laadunvalvonnassa.

Työn alussa käsitellään betonisiltojen rakentamiseen liittyviä yleisiä ohjeita ja määräyksiä, siltojen betonointiin liittyviä oikeaoppisia työtapoja ja betonin laadunvarmistuksen ja vaatimuksenmukaisuuden osoittamista. Työssä on eritelty infrabetonien valmistusohjeen muutosten taustalla olevat syyt ja uuden ohjeen tuomat muutokset betonin valmistajan ja työmaan ohjeisiin. Opinnäytetyön lähdemateriaalina käytettiin aiheesta kertovaa kirjallisuutta, sähköisiä lähteitä ja sekä asiantuntijahaastattelua.

Työssä saatiin selville laadunvalvonnan tärkeys jo betonin valmistuksesta lähtien. Oikeanlaisella infrabetonin valmistuksella ja laadunvalvonnalla varmistutaan hyvästä infrabetonilaadusta, jolla on merkittävä vaikutus rakenteen kestävyys ja onnistuneen toteutuksen suhteen. Eri betonialan organisaatioiden tiivis yhteistyö infrabetonien valmistuksessa ja työmaalla takaa toimivan ja hyvälaatuisen lopputuotteen.

Asiasanat: Infrabetoni, laadunvarmistus, siltarakentaminen

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

Instructor: Maarit Järvinen, M.Sc.Eng

2022 | 60 pages, 2 pages in appendices

Anton Sirkama

# CHANGES TO INFRA CONCRETE INSTRUCTIONS AND QUALITY ASSURANCE IN BRIDGE CONSTRUCTION

This thesis aimed to investigate the changes in the new instructions for the production of infra concrete through changes in the general quality requirements and guidelines used in the construction of concrete bridges. The reasons for the changes in the guidelines in the manufacture and quality control of infrared concrete were also investigated.

At the beginning of the work, general instructions and regulations related to the construction of concrete bridges, orthodox work methods related to the concreting of bridges, and demonstration of concrete quality assurance and compliance are discussed. The reasons behind the changes in the infrared concrete manufacturing instructions and the changes introduced by the new instruction to the instructions of the concrete manufacturer and the construction site have been specified in the work. The source material of the thesis was literature, electronic sources, and an expert interview.

The importance of quality control in the production of concrete was found in the work. Proper infrared concrete production and quality control ensure good infrared concrete quality, which has a significant impact on the durability and successful implementation of the structure. The close cooperation of various concrete industry organizations in the production of infrared concrete and on-site ensures a functional and high-quality end product.

Keywords: Infra concrete, quality assurance, bridge construction

# Sisältö

<b>Käytetty sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Betonisiltojen vaatimukset ja laadunvarmistus</b>	<b>10</b>
2.1 Betonirakenteiset sillat	10
2.2 Ohjeet ja määräykset siltarakentamisessa	11
2.3 Betonin vaatimukset ja rasitusluokat	12
2.4 Käytettävät materiaalit	18
2.4.1 Betoni	18
2.4.2 Raudoitus	18
2.5 Siltarakenteiden betonointi	19
2.6 Betonin laadunvarmistus	20
2.7 Betonin vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen	21
<b>3 Pakkas- ja pakkassuolarasitettu betoni</b>	<b>23</b>
3.1 P- ja F-lukubetonit	23
3.2 Betonin pakkasenkestävyys	23
3.3 Betonin pakkasvauriot	25
3.4 P-lukujärjestelmä	26
<b>4 Ohjepäivityksen taustat</b>	<b>28</b>
4.1 Taitorakenteiden tehostetut laadunvarmistustoimenpiteet	28
4.2 Robust-air – Tutkimus	29
4.3 Uuden ohjeen laatiminen	32
<b>5 Uudet infrabetoniohjeet</b>	<b>34</b>
5.1 Vuoden siirtymäaika	34
5.2 Ohjeiden muutokset	35
5.2.1 Infrabetonilaadut	36
5.2.2 Lieriölujuudet	36
5.2.3 Tavoiteilmamäärät	37

5.2.4 Vesi- ja seosainemuutokset	37
5.2.5 Tehdaskohtaiset ennakkokokeet	37
5.2.6 Kohdekohtaiset ennakkokokeet	39
5.3 Ohjeen vaikutus betonitehtaan toimintaan	42
<b>6 InfraRYL – muutokset</b>	<b>43</b>
6.1 Yleistä	43
6.2 Infrabetonien laadunvalvonta työmaalla	43
6.3 Betonin tiivistys	44
6.4 Betonin notkeuden määrittäminen	44
6.5 Ilmamäärän määrittäminen	45
6.6 P-luvun laskenta ilmamäärämittauksista	46
6.7 Olosuhdekoekappaleet	47
6.8 Työmaakoekappaleet	47
6.9 Puristuslujuusluokan vaatimuksenmukaisuuden arviointi eri testausmenetelmillä	49
6.9.1 Seulontamittaus kimmovasaralla	50
6.9.2 Kimmovasamittaus ja porakappale	50
6.9.3 Rakennekoekappale	51
6.10 Lämpötilan hallinta	53
6.11 Kypsyysikä ja lujuudenkehitys	54
<b>7 Johtopäätökset</b>	<b>56</b>
<b>Lähteet</b>	<b>58</b>

## Liitteet

Liite 1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset

## Kuvat

Kuva 1. Kehäsillan betonirakenneosat	14
--------------------------------------	----

Kuva 2. Maatuen rasitusluokat	16
Kuva 3. Laattapalkin rasitusluokat	16
Kuva 4. Välituen-, reunapalkin- ja siirtymälaatan rasitusluokat	17
Kuva 5. Päätypalkin ja maatuen otsamuurin rasitusluokat	17
Kuva 6. Betonin suojahuokosten toiminta	25
Kuva 7. Havainnekuva Tyksin T3-sairaalan betonin laatupoikkeamasta	28
Kuva 8. Havainnekuva poralieriöiden poraamisesta pystyrakenteesta	40
Kuva 9. Havainnekuva poralieriön poraamisesta vaakarakenteesta	41
Kuva 10. Esimerkki sillan rakennusosakohtaisista arvosteluerista	49
Kuva 11. Esimerkki sillan eri betonisten rakenneosien lämpötilaeroista	53

## Kuviot

Kuvio 1. Ilmamääräpotentiaali suhteessa sekoitusaikaan	30
Kuvio 2. Ohjeita betonin valmistamiseen, työmaan laatuvaatimuksiin sekä niissä käytettäviin ohjeisiin	35
Kuvio 3. Betonin ilmamäärän sallittu vaihtelu tavoiteilmamäärän perusteella	46
Kuvio 4. Esimerkki rakennekoekappaleen lujuustuloksen laskentakaavasta	52

## Taulukot

Taulukko 1. Suositellut infrabetonilaatut	36
Taulukko 2. Ennakkokokeiden testit yhdelle betonilaadulle	38
Taulukko 3. Esimerkkitaulukko ennakkokokeiden voimassaolosta	39
Taulukko 4. Betonin puristuslujuuden tunnistusehdot	49
Taulukko 5. Testaus- ja laadunvarmistusiästä riippuva puristuslujuuden ikäkorjauskerrointaulukko	53
Taulukko 6. Lämpötilojen seurantataulukko	54

## Käytetty sanasto

arvosteluerä	betonin vaatimustenmukaisuuden arvostelussa käytetty betonierä (Betonitieto 2022b)
betonointisuunnitelma	betonityösuunnitelmaa tarkempi, kustakin betonoitavasta rakenteesta laadittava betonintisuunnitelma (Betonitieto 2022b)
koekappale	betoni-, teräs- tai rauditusnäytteestä testausta varten valmistettu kappale (Betonitieto 2022b)
kuutiopuristuslujuus	betonin puristuslujuus, joka on määritetty 150 mm kuutiomaisten koekappaleiden avulla (Väylävirasto 41/2020)
kovettunut betoni	betoni, joka on kiinteässä olomuodossa ja joka on saavuttanut tietyn lujuuden (Betonitieto 2022b)
Kyllästysaste	Kyllästysasteeksi kutsutaan sitä osuutta betonin kokonaishuokoistilavuudesta, joka on täyttynyt vedellä (BY 201, 2018.)
laskennallinen tiheys	betonin laskennallinen tiheys lasketaan reseptitietojen perusteella tehdaskohtaisten ennakkokokeiden Excel-lomakkeella (Betonitieto 2022b)
lieriöpuristuslujuus	betonin puristuslujuus, joka on määritetty halkaisijaltaan $d = 150 \text{ mm}$ ( $h = 300 \text{ mm}$ ) lieriömäisten koekappaleiden avulla (Betonitieto 2022b)
lujuusluokka	betoni luokitellaan puristuslujuuden perusteella lujuusluokkiin, ja muut suunnittelussa käytettävät mekaaniset ominaisuudet saadaan lujuusluokan perusteella (Betonitieto 2022b)

ominaispuristuslujuus	ominaispuristuslujuus määritetään lieriömäisistä koekappaleista ( $h = 300 \text{ mm}$ ja $d = 150 \text{ mm}$ ) (Betonitieto 2022b)
P-luku	betonin pakkassuolakestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkassuolakestävyysluokuna P; infrarakenteet jaotellaan P-luvun mukaan pakkassuolakestävyysluokkiin, esimerkiksi P30 tai P50 (Betonitieto 2022b)
seosaine	sementin ja betonin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättävät standardin mukaiset II-luokan seosaineet kuten lentotuhka, masuunikuonajauhe ja silika (Betonitieto 2022b)
tavoiteilmamäärä	betonin valmistajan valitsema suhteituksen mukainen tuoreen betonin ilmamäärä. Tavoiteilmamäärän valinnassa on huomioitava P-luvusta ja tehollisesta vesi-sideainesuhteesta riippuva vähimmäis- ja enimmäisilmamäärä (Betonitieto 2022b)



# 1 Johdanto

Siltarakentamisessa ja muissa vaativissa pakkassuolarasitusta kestävässä betonirakenteissa P-lukubetoneita on käytetty jo pitkään. Suomessa siltojen eri betoniset rakenneosat altistuvat jatkuville ja vaihteleville jäätymis- ja sulamisrasituksille sekä kloridien aiheuttamalle rapautumiselle, mikä heikentää sillan rakenneosia sekä vähentää betonin pakkasenkestävyyttä. Koviin rasituksiin joutuville betoneille on jo 1980-luvulla kehitetty P-lukuvaatimus, jonka käytöllä siltabetonien säilyvyys on pyritty varmistamaan.

Vuonna 2016 betonialan ”betonikriisi” muutti infrarakentamisessa käytetyn P-lukubetonien laadunvarmistuksen ja laadunvalvonnan suunnan, jonka vuoksi *Siltabetonien P-lukumenettely* -ohjetta päivitettiin vastaamaan tämän päivän laadunvarmistuksen ja -valvonnan standardeja. P-lukubetonin valmistuksessa kiinnitettiin myös huomiota käytettyihin betonin osa-aineisiin ja määriin, joilla betonista saadaan laadunvarmistuksen kriteerejä täyttävää P-lukubetonia. Uuden ohjepäivityksen myötä betonialalla otettiin käyttöön *Infrabetonien valmistus* -ohje, joka on suunnattu betonin valmistajille, sekä päivitetty InfraRYL:n 42020 – *Sillan betonin valmistus ja betonityöt* -ohje, joka on suunnattu työmaalle.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia betonisiltoja käsitteleviä laadunvarmistusmääräyksiä ja säädöksiä sekä tarkastella uuden infrabetonien valmistusohjeen tuomia muutoksia ja vaatimuksia betonitehtaan ja työmaan kannalta. Opinnäytetyö toteutetaan Destia Oy:lle, jossa opinnäytetyötä ohjaa Markku Savola, Destia Oy.

## 2 Betonisiltojen vaatimukset ja laadunvarmistus

### 2.1 Betonirakenteiset sillat

Silta luokitellaan taitorakenteeksi, joka johtaa ajoneuvo-, juna-, henkilö- tai muun esteen yli. Sillaksi luetellaan rakenne, jonka vapaa-aukko on vähintään 2,00 m. Rinnakkaiset rakenteet luokitellaan yhdeksi sillaksi, jos keskellä ei ole omia reunapalkkeja. (RIL 179-2018.) Taitorakenteet ovat osa liikennejärjestelmää, jotka välittävät ja edesauttavat liikennekuormien siirtymistä esteiden yli maalla ja merellä. Taitorakenteiksi luetaan esimerkiksi sillat, tunnelit, paalulaatat, meluseinät, laiturit ja lauttaumat. Taitorakenteet ovat merkittäviä rakenteita yhteiskunnallisesti. (Liikennevirasto 30/2014.)

Sillan pää rakenneosat jakautuvat rakenneosien toiminnan perusteella (RIL 179-2018):

Päällysrakenne on sillan tärkein rakenneosa, joka välittää liikennekuorman ja rakenteen omanpainon alusrakenteelle. (RIL 179-2018.)

Päällysrakenteeseen kuuluvat (RIL 179-2018.)

- pääkannatin, joka on päällysrakenteen kantava osa
- tiesiltojen pintarakenteet, joita ovat vedeneristys ja päällyste.

Alusrakenne välittää päällysrakenteen kuormat kantaviin maakerrokseen tai kallioon. Sillan alusrakenteisiin kuuluvat perustukset, paalut, tukiseinät ja muurit sekä päätytuettukimureineen ja siirtymälaatat. (RIL 179-2018.)

Sillan varusteet ja laitteet ovat sillan turvallisuuteen ja käyttöikään vaikuttavia rakenteita. Niitä ovat esimerkiksi laakerit, liikuntasaumalaitteet, kaiteet, valaisimet pylväineen ja hoitosillat. (RIL 179-2018.)

Siltapaikan rakenteet koostuvat sillan ulkopuolisista rakenteista, joita käytetään sillan kuivatukseen ja pitkäikäisyyden takia. Rakenteita ovat esimerkiksi luiskat, sadevesikourut ja kaivot, pengerkaitteet ja portaat. (RIL 179-2018.)

Betonisillat ovat raudoitettuja tai jännitettyjä kantavia betonirakenteita, joita ovat esimerkiksi palkki-, laatta-, kehä-, holvi- tai kaarisillat. Raudoitetusta betonisillasta käytetään nimitystä teräsbetonisilta ja jännitetystä betonisillasta nimitystä jännitetty betoninen silta. Teräs- ja puusiltojen kansilaatan rakennusmateriaalina käytetään pääasiassa teräsbetonia. Betonisillat jaetaan rakentamistavan perusteella paikalla valettuihin siltoihin ja elementtisiltoihin. (BY 201, 2018.)

Suomessa yleisin betonisiltojen rakennustapa on paikallaan valettu betonisilta, jossa silta rakennetaan puutelineiden ja muottien varaan. Betonielementtien käyttö siltarakentamisessa on vähäistä verrattuna paikallaan valettuihin siltoihin. (BY 201, 2018.)

## 2.2 Ohjeet ja määräykset siltarakentamisessa

Liikenneviraston sillat, joihin kuuluvat kaikki yleisten teiden sillat ja rautatiesillat, sekä valtionavustusta saavat yksityistiesillat tulee suunnitella ja rakentaa eurokoodien mukaan. Eurokoodissa *SFS-EN 1990* on määritelty yleiset oletukset rakenteiden vaatimusten täyttämiseksi. (BY 201, 2018.)

Standardin *SFS-EN 1990* yleiset oletukset ovat seuraavat (BY 201, 2018):

- riittävän pätevät ja kokeneet henkilöt valitsevat rakennejärjestelmän ja suunnittelevat rakenteen
- riittävän ammattitaitoiset ja kokeneet henkilöt rakentavat kohteen
- niin suunnittelutoimistoissa, tuotantolaitoksissa kuin työmaallakin käytetään riittävää valvontaa ja ylläpidetään laadunvalvontaa työtä suoritettaessa
- rakennusmateriaaleja ja -tuotteita käytetään niin kuin standardeissa edellytetään
- rakennetta pidetään kunnossa asianmukaisesti
- rakennetta käytetään suunnitteluoletusten mukaisesti.

Betonisiltojen suunnittelussa käytetään yhdessä eurokoodien kanssa Liikenneviraston laatimia siltojen sovellusohjeita (BY 201, 2018):

- *Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (Liikenneviraston ohjeita 24/2017)*
- *Eurokoodin soveltamisohje, Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 (Liikenneviraston ohjeita 31/2017)*

### 2.3 Betonin vaatimukset ja rasitusluokat

Betonirakenteiden suunnittelussa rasitusluokkien tulee vastata ympäristön rasituksia ja olosuhteita. Rasitusluokkien ylityö rajoittaminen heikentää sillan ominaisuuksia ja huonontaa rakentamisen laatua sekä kasvattaa rakentamisen kustannuksia. (Väylävirasto 2022.)

Sillan betonisista rakenneosista määritellään piirustuksissa seuraavat asiat:

- rakenneosan tunnus (Ro)
- rasitusluokkaryhmä (R)
- lujuusluokka (C)
- P-lukuvaatimus (P)
- betonipeitteen nimellisarvo (c<sub>nom</sub>)
- toteutusluokka
- betonipintojen suojaus
- seuraamusluokka (CC) esitetään yleispiirustuksessa.

Väyläviraston kohteissa betoni valmistetaan *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* -ohjeen mukaan, jolloin rasitusluokkia ei merkitä suunnitelmiin. Betonirakenteiden rasitusluokkaryhmä, lujuusluokka, pakkasenkestävyysvaatimus ja betonipeitteen nimellisarvo määritetään liitteen 1 mukaan. Monen eri betonilaadun käyttämisestä tulee välttää samassa kohteessa ja rakenneosassa. Rakenneosille määritetty rasitusluokka R valitaan tiukemmaksi eri pinnoista saatavien rasitusluokkaryhmien mukaan. (Väylävirasto 2022.)

Liitteessä 1 on esitetty infrabetoneille asetettuja vähimmäisvaatimuksia (Väylävirasto 2022). Kuvissa 1-5 on esitetty betonisillan vähimmäisvaatimukset eri rakenneosille.

Betonirakenteiden rasitusluokat ovat seuraavia (Betonitieto 2022a):

**X0:** Ei korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä.

**XC:** Karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuva korroosio

**XD:** Muista lähteistä kuin merivedestä peräisin olevien kloridien aiheuttama teräskorroosio

**XS:** Meriveden kloridien aiheuttama teräskorroosio

**XF:** Jäätymis-sulamisrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä sekä

**XA:** Kemiallinen rasitus

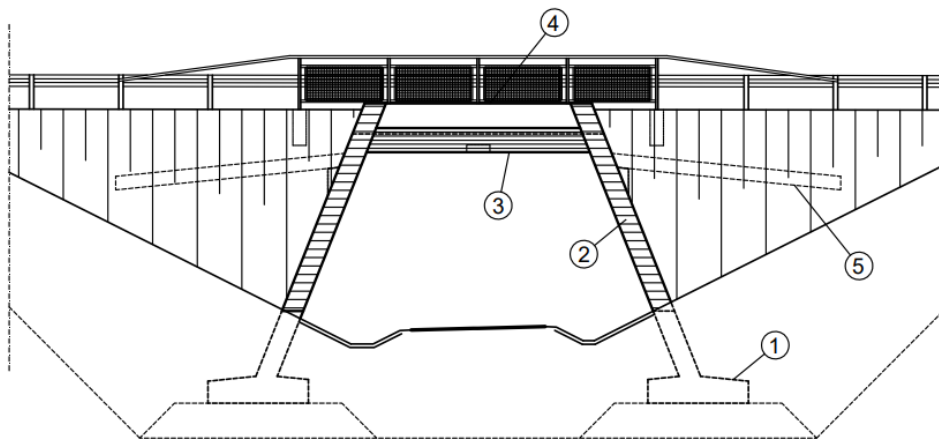
Väylävirasto (2022) jaottelee betonirakenteiden rasitusluokat neljään ryhmään.

Rasitusluokkaryhmä R1: Päälysrakenteen 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: Päälysrakenteen 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: Siltarakenne ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään.



Kuva 1. Kehäsillan betonirakenneosat (Väylävirasto 2022).

### 1) Peruslaatta

- Ro07, R1/R2, jos alittavaa väylää suolataan
- Ro07, R1/R2, jos ylittävää väylää suolataan ja ollaan siirtymälaattojen suojaavan vaikutuksen ulkopuolella
- Ro03, R4 muutoin

### 2) Kehän jalat ja siivet

- maata vasten olevat ulkopinnat
- Ro12, R1/R2, jos ylittävää tai alittavaa väylää suolataan ja ollaan siirtymälaattojen suojaavan vaikutuksen ulkopuolella
- Ro10, R1/R2, jos ylittävää väylää suolataan ja ollaan siirtymälaattojen suojaavan vaikutuksen alueella
- Ro10, R4 muutoin
- siipien sisäpinnat ja yläpinnat
- Ro11, R1/R2, jos ylittävää tai alittavaa väylää suolataan
- Ro11, R3, jos meren suolasumurasitusta
- Ro10, R4 muutoin
- jalkojen sisäpinnat
- Ro11, R1/R2, jos alittavaa väylää suolataan
- Ro11, R3, jos meren suolasumurasitusta

- Ro10, R4 muutoin Väyläviraston ohjeita 5/2022 Liite 3 / 2 (3) Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2

### 3) Kansilaatta

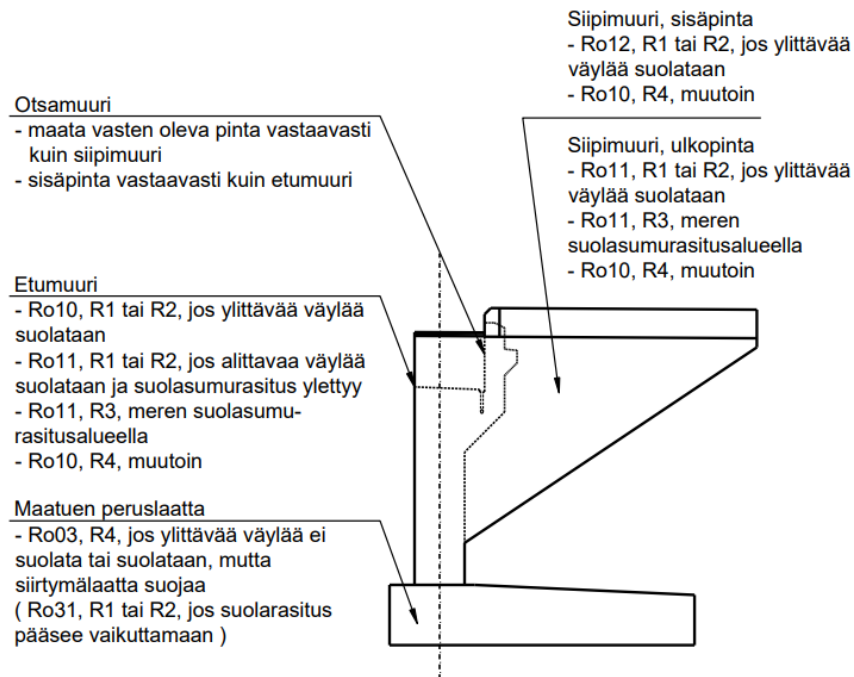
- alapinta
- Ro21, R3, meren suolasumurasituksen alueella
- Ro20, R4 muutoin
- yläpinta (vedeneristeen alla)
- Ro20, R1/R2, jos ylittävää väylää suolataan
- Ro20, R4 muutoin
- kylki
- Ro21, R1/R2, jos alittavaa väylää suolataan ja kylki pystyssä tai kaltevuus > 1:3
- muutoin kuten alapinta

### 4) Reunapalkki

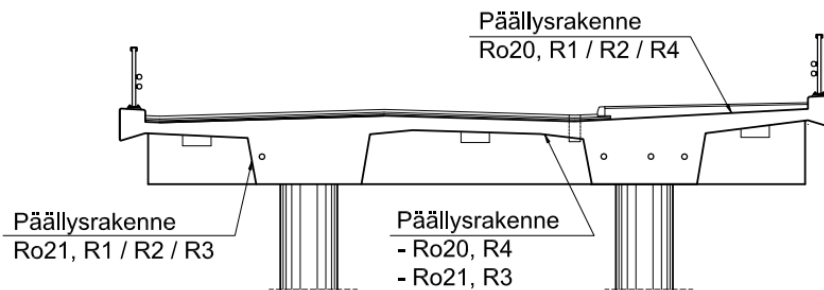
- Ro22, R1–R4 (ulkokylkeen voi vaikuttaa myös alittavan väylän suolaus)

### 5) Siirtymälaatta

- Ro23, R1/R2/R4 (Väylävirasto 2022.)

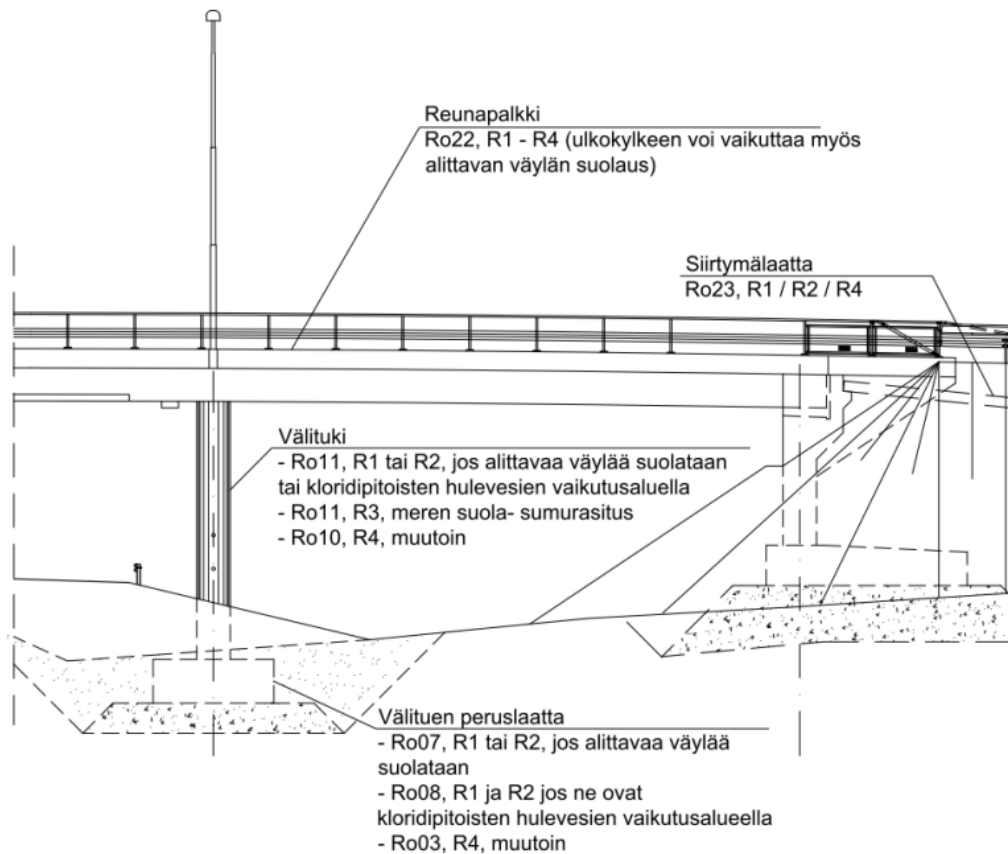


Kuva 2. Maatuen rasitusluokat (Väylävirasto 2022).

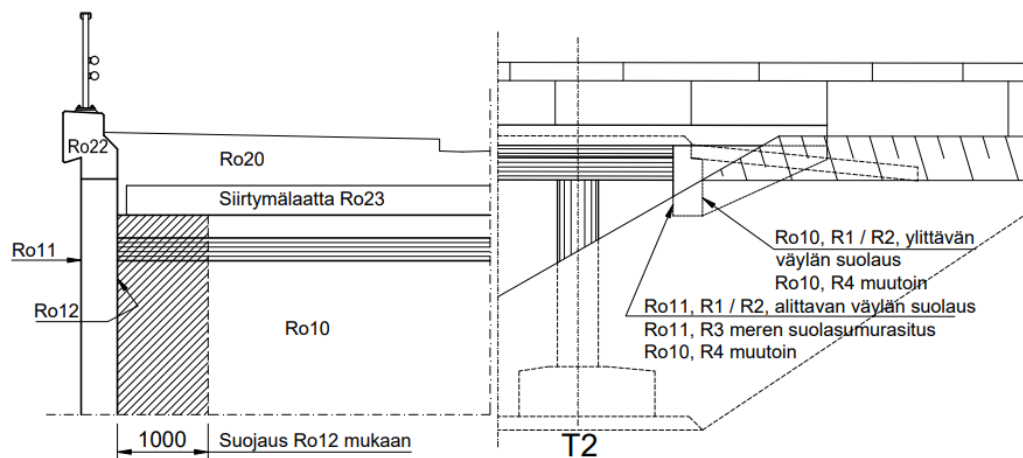


Kuva 3. Laattapalkin rasitusluokat (Väylävirasto 2022).





Kuva 4. Välituen-, reunapalkin- ja siirtymälaatan rasisusluokat (Väylävirasto 2022).



Kuva 5. Päätypalkin ja maatuen otsamuurin rasisusluokat (Väylävirasto 2022).

## 2.4 Käytettävät materiaalit

### 2.4.1 Betoni

Siltojen suunnittelussa käytettävät betonin lujuusluokat määräytyvät standardin *SFS-EN 1992-2* mukaan välille C25/30...C70/85. Rakenneosakohtaiset vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty rakennesuunnitelmaan Liikenneviraston ohjeen *31/2017 Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2* mukaisesti. (BY 201, 2018.)

Betonin pakkasenkestävyys esitetään suunnitelmissa pakkasenkestävyyslukuna P. Siltarakenteet jaotellaan pakkasenkestävyysluokkiin P30, P50 ja P70. Betonin säilyvyysvaatimukset esitetään Väyläviraston ohjeen *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* mukaisesti. (BY 201, 2018.)

### 2.4.2 Raudoitus

Betonirakenteiden raudoituksena käytetään harjakuvioitua standardin *EN 10080* mukaista terästä, joiden tulee olla suunnitelmien mukaisia ja lujuusluokaltaan 400–700 Megapascalia. (BY 65, 2021.) Betonirakenteiden raudoituksessa käytetään jänneteräksiä, joita voi olla esimerkiksi langat, tangot ja punokset. (BY 201, 2018.)

Betoniteräsrakenteissa muodonmuutokset ja jännitykset raudoituksen ja betonin välillä ovat pienet samansuuruisten lämpötilakertoimien takia, jolloin muodonmuutoseroja ja ylimääräisiä rasituksia ei synny. Raudoitus sijoitetaan alueille, joissa syntyy vetorasituksia. Pilareissa ja palkkirakenteissa raudoitus asetetaan vahvistamaan puristusrasitettua betonia. (BY 201, 2018.)

## 2.5 Siltarakenteiden betonointi

Siltarakenteiden betonityöt on suunniteltava tarkasti. Betonitöiden suunnitteluun vaikuttaa kohteen laajuus, laatuvaatimukset sekä paikalliset olosuhteet ja niistä tulee laatia dokumentoitu betonityösuunnitelma. Jokaisesta toteutusluokan 2 ja 3 betonirakenteista tulee olla valukohtainen betonointisuunnitelma. (BY 65, 2021.)

Betonityösuunnitelma sisältää rakennushankkeen betonitöiden suunnitelmat, joissa huomioidaan asiat rakennuskohteen betonirakenteita tehdessä.

Betonityösuunnitelman tekee betonityönjohtaja yhteistyössä rakennesuunnittelijan, muotti- ja tukitelinetoimittajan, betonitoimittajan sekä työnjohtajien kanssa. Betonointisuunnitelma tulee käsitellä työntekijöiden kanssa ennen työvaiheen alkamista ja se tulee hyväksyttävä valvojalla sekä rakennesuunnittelijalla ennen sen toteuttamista. Betonityösuunnitelmaan kirjataan mahdolliset poikkeamat ja muutokset, jos suunnitelmista poiketaan. (BY 65, 2021.)

Siltarakenteiden betonoinneissa tulee kiinnittää erityistä huomiota seuraaviin asioihin (BY 201, 2018):

- betonoinnin valmistelussa ja betonoinneissa
  - kovettumisen aikaisten lämpötilakenttien ja lujuudenkehityksen suunnitteluun
  - toimenpiteisiin halkeilun rajoittamiseksi liittyvissä rakenteissa
  - työ- ja liikuntasauman tekemiseen
  - tartuntojen kiinnittämiseen
  - muotti- ja työsaumapintojen puhdistamiseen
  - työsaumapintojen ja lautamuottien kastelemiseen
  - betonimassan siirtoon betonointikohteeseen (massan saannin varmistaminen toimituskatkon varalta)
  - betonin ilmamäärän mittauksiin työmaalla
  - betonointiin siten, että massa ei erotu, muotti täyttyy kaikilta osin eikä raudoitus siirry paikaltaan
  - betonimassan riittävään tiivistykseen ja massan haitallisen painuman estämiseen
  - jälkitärytykseen ja sen ajankohtaan ottaen huomioon käytettävät lisäaineet

- häiriöihin varautumiseen (esimerkiksi sähkökatkokset ja kalustovauriot)
- sääolosuhteisiin varautumiseen (kylmä, vesi- tai lumisade, tuuli, pimeys, auringonpaiste)
- vedenalaisen betonoinnin vaatimuksiin
- pintojen viimeistelyssä, jälkihoidossa ja suojauksessa
  - halkeilun rajoittamistoimenpiteisiin betonin kypsymisen varhaisvaiheessa sekä sitoutumisen ja kovettumisen aikana
  - varhaisjälkihoitoaineen käyttö
  - jälkihiertoon
  - jälkihoitoaineen käyttöön tai muihin jälkihoito- ja suojaustoimenpiteisiin (kosteaa jälkihoito vähintään 7 vuorokautta, elleivät kovettumisolosuhteet vaadi pidempää aikaa; suojaus lämpötilaerojen rajoittamiseksi)
- betonin kovettumisen aikana
  - lämpötilamittauksin
  - lujuudenkehityksen seurantaan
  - häiriöihin varautumiseen
- korjaus- ja viimeistelytyöissä
  - telineiden asennuskolojen ja -reikien, muottisiteiden kolojen ja mahdollisten harvavalujen ja halkeaminen korjaukseen tilaajan hyväksymiä korjausaineita ja menetelmiä käyttäen (SILKO-ohjeet)
  - betonivaluun jätettyjen muottisiteiden ja telinepalkkien katkaisuun ja kolojen paikkaamiseen.

## 2.6 Betonin laadunvarmistus

Betonirakenteiden suunnitelmien mukaisuus ja kelpoisuus varmistetaan valvonnalla ja ominaisuuksien vaatimuksenmukaisuuden todentamisella ja tarkastamisella. Laadunvalvonnan laajuus esitetään toteutusluokilla, joka määrittää laadunvalvonnan ja dokumentaation tason työmaalla. (BY 65, 2021.)

Siltarakenteet kuuluvat toteutusluokkiin 2 ja 3, jolloin seuraamusluokat ovat CC2 ja CC3 standardin *SFS-EN 1990 – Betonirakenteiden suunnittelun perusteet* mukaan. Seuraamusluokkiin CC2 tai CC3 kuuluvissa rakennuskohteissa tulee laatia kirjallinen toteutuksen laatusuunnitelma, jonka laadunvalvonnan toimenpiteet on suoritettava ja dokumentoitava *Ympäristöministeriön asetukset (477/2014)* mukaan. Laatusuunnitelmassa tulee olla viittaukset noudatettaviin testistandardeihin. (BY 65, 2021.)

Betonirakenteiden valmistuksen valvonta kohdistuu muotti- ja tukirakenteisiin, raudoitukseen, jännitystöihin, betonin suunnitelmien mukaisuuteen, betonointiin, tiivistämiseen, pinnan viimeistelyyn jälkihoitoon ja lämmönkäsittelyyn.

Rakenteiden valvonta ja tarkastustoiminta perustuu toteuttajan omavalvontaan sekä ulkopuolisen henkilön tekemien työvaiheiden säännöllisiin tarkastuksiin.

Tarkastusten laajuus määräytyy hankkeen toteutusluokasta ja laajuudesta, joka määritellään toteutusasiakirjoissa. Dokumentoidut tarkastus- ja laadunvalvonta-asiakirjat säilytetään kahden vuoden ajan rakenteen käyttöönotosta lähtien. (BY 65, 2021.)

Toteutusluokan 2 ja 3 rakenteiden valmistuksesta tehdään kirjaukset betonointipöytäkirjaan seuraavista asioista (BY 65, 2021):

- rakennustyömaan tai elementtitehtaan tunnustiedot, betonityönjohtajat sekä heidän työaikansa
- valmisbetonin kuormakirjat sekä rakennuspaikalla tehtävien kelpoisuuskoekappaleiden tunnukset
- betonin suunnitelmien mukaisuus
- betonointiolosuhteita koskevat tiedot ja niiden vaatimat toimenpiteet
- betonimäärät betonijaksoittain
- betonointitapa
- betonoinnin alkaminen ja päättyminen, työssä ilmenneet hankaluudet, muottien ja tukirakenteiden purkamisajankohta sekä sen määrittäminen
- betonin jälkihoito, betonin lämpötilan seuranta ja lämpökäsittely
- elementtien käsittely ja varastointi
- muottien ja raudoituksen valvontatoimenpiteet sekä tarkastukset
- elementtien raudoitteiden vastaanottotarkastukset
- rakennustuotteiden kelpoisuuden toteutustarkastusasiakirjat ja vastaanottotarkastusasiakirjat
- rakenteiden tarkastukset
- muut tarpeelliset asiat.

## 2.7 Betonin vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen

Betonitöiden vaatimuksenmukaisuus osoitetaan laadunvalvontamenettelyjen mukaan tutkimalla kovettuneen betonin ominaisuudet ja betonoitu rakenne.

Vaatimuksenmukaisuus osoitetaan betonin puristuslujuuden testauksella joka testataan yleisesti 28 vuorokauden iässä. Jos puristuslujuuden testaus ei ole

mahdollista, testaustulosten lukuarvot muutetaan vastamaan 28 vuorokauden lujuutta. (BY 65, 2021.)

P-lukubetonin vaatimuksenmukaisuus osoitetaan koekappaleiden lisäksi kimmovasarakokeella Liikenneviraston ohjeen *21/2016 Kimmovasaran käyttäjän* ohje - mukaan. Tilaaja voi määrätä kelpoisuuden osoitettavaksi rakenteesta rakennekoekappalein, jos puristuslujuustulokset eivät täytä vaatimuksia tai betonointi, jälkihoito tai lämmönsuojaus ei ole onnistunut. (BY 201, 2018.)

### 3 Pakkas- ja pakkassuolarasitettu betoni

#### 3.1 P- ja F-lukubetonit

Betonin kykyä vastustaa koostumuksensa perusteella pakkas- ja pakkassuolarasitusta kuvataan F- ja P-luvuilla. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelussa ja betonin valinnassa on otettava huomioon pakkasenkestävyys. (BY 201, 2018.)

P-lukumenettely pohjautuu Väyläviraston ohjeeseen *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)*, jota käytetään siltojen ja taitorakenteiden rakentamiseen. P-lukumenettely perustuu laboratorio- ja kenttäkokeiden antamiin pakkasenkestävyyden tuloksiin ja se on ollut käytössä vuodesta 1991 lähtien. P-lukumenettelyä on kehitetty betonitekniikan lisätutkimusten mukanaan tuomien tarkennusten ja normien uudistusten mukaan. P-lukumenettely edellyttää pakkasenkestävän betonin vaatimukset täyttäviä arvoja puristuslujuus- ja pakkasenkestävyysvaatimuksissa sekä muissa betonin laatuvaatimuksissa kuten ennakkokokeissa, suhteutuksessa ja betonin side- ja seosainemäärissä. (BY 201, 2018.)

Betonin pakkasenkestävyyttä rasitusluokissa XF1 ja XF3 kuvataan F-luvulla, joka otettiin käyttöön Suomessa vuonna 2005. F-luku riippuu betonin vesi-sementtisuhteesta ja ilmamäärästä, ja on ajatukseltaan samankaltainen kuin aikaisemmin käytössä ollut P-luku. (BY 201, 2018.)

#### 3.2 Betonin pakkasenkestävyys

Betonin pakkasenkestävyyttä parannetaan muuttamalla betonin huokosrakennetta alhaisella vesi-sementtisuhteella tai käyttämällä huokoistavia lisäaineita. Betonin pieni vesi-sementtisuhte ja oikeanlainen jälkihoito alentaa kapillaarisuutta sekä nostaa hydrataatioastetta. Vesi-sementti arvojen ylittyessä kapillaarihuokosverkostosta muodostuu yhtenäinen, joka alentaa lujuutta, lisää betonin läpäisevyyttä ja heikentää sen säilyvyyttä. (BY 201, 2018.)

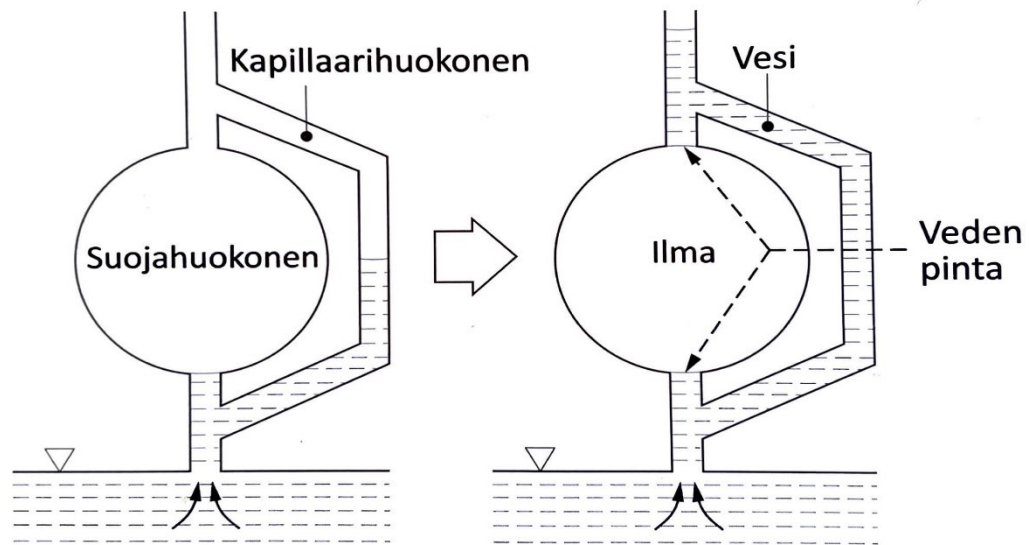
Betoni sisältää käytännössä aina huokoisuutta, jolloin betonin huokoisverkostossa on vettä. Betonin sementtikivessä on erilaisia huokoisia, joissa oleva vesi voi jäätymä eri lämpötiloissa. Erilaisia huokoisia on esimerkiksi geelihuokokset, kapillaarihuokokset, supistumishuokokset, suojahuokokset ja tiivistyshuokokset. (BY 201, 2018.)

Huokoistavien lisäaineiden käytöllä sementtikiveen synnytetään suojahuokoisia, jotka eivät täyty kapillaarisen imun vaikutuksesta vedellä (kuva 6). Betonin kapillaarihuokosissa jäätyneen veden jääkiteiden paine pääsee purkautumaan suojahuokosten synnyttämiin ilmahuokostiloihin, jolloin paine ei riko betonia. Pakkasvaurioiden estämiseksi ilmatäyteisiä suojahuokosia tulee olla tiheästi. Suojahuokosten tavoitearvot riippuvat muun huokosrakenteen säätelystä pakkasenkestävyyden osalta. (BY 201, 2018.)

Korkealujuusbetoneilla (>C55/67) pakkas- ja pakkassuolakestävyys voidaan saavuttaa pienellä suojahuukoistuksella ja tavanomaisella lujuustasolla (< C50/60) suojahuukoistuksen varmistamiseksi tulee kiinnittää huomiota. (BY 201, 2018.)

Betonin oikeanlaisella jälkihoidolla voidaan parantaa betonin pakkasenkestävyyttä. Jälkihoito edesauttaa korkeamman hydrataatioasteen ja pienemmän kapillaarihuokoisuuden saavuttamisessa. Jälkihoitoajan pidentäminen 7:stä 28 vuorokauteen vähentää pakkassuolarapaumaa noin 10 %. (SILKO 1.201. 2007.)





Kuva 6. Betonin suojahuukosten toiminta (BY 201, 2018).

### 3.3 Betonin pakkasvauriot

Betonin vaurioituminen pakkasrasituksessa ilmenee lujuuden menetyksenä, tilavuuden kasvuna, läpäisevyyden lisääntymisenä tai pinnan rapautumisena. Betonin pakkasrapautumisessa betonin sisään muodostuu ylipaine, joka on seuraus betonin kapillaarihuukosissa olevasta vedestä. Jäättyessään vesi laajenee noin 9 tilavuusprosentin verran, mikä aiheuttaa betonin sisäisiä säröjä ja halkeamia, mikäli jäätymisen tilavuudenkasvu ei pääse tapahtumaan tai jään kiteytymispaine ylittää sementtikiven vetolujuuden. Pakkasrapautuminen aiheuttaa edetessään betonin lujuuden ja rakenteen koossapysymisen menetyksen. Pakkasvaurion voi aiheuttaa myös betonin sementtikiven ja kiviaineksen lämpölaajeneminen. (BY 201, 2018.)

Merivesi sekä tiensuolauksessa käytettävien kloridien käyttö lisää betonirakenteisiin kohdistuvia pakkasrasituksia. Kloridit nostavat vedenkyllästysastetta ja laskevat kriittistä kyllästysastetta. Alhainen lämpötila sekä kloridisuolojen vaikutus kasvattavat jäätymispainetta ja kykyä vastustaa räsitusta, jolloin esimerkiksi betonin pakkasenkestävyys heikentyy. (BY 201, 2018.)

Betonin kapillaarihuokoisuus lisääntyy betonin ikääntyessä, jolloin betonin keskimääräinen jäätymispiste kasvaa. Jäätymispisteen kasvu aiheuttaa pakkasrasituksen nousun, jonka vuoksi eri betoneiden pakkas- ja pakkasuolakestävyys heikkenee. Eri betoneilla ja sementin sideaineilla voidaan vaikuttaa betonin karbonatisoitumisen nopeuteen. (SILKO 1.201. 2007.)

### 3.4 P-lukujärjestelmä

P-lukuun perustuva pakkasenkestävyyden käyttöikämalli on ollut käytössä Suomessa vuodesta 1986 lähtien. Erkki Vesikarin kehittämä P-luvun käyttöikämalli tuli Tiehallinnon siltayksikön puristuslujuuden mittarina käytetyn K-lujuuden rinnalle. Betonin pakkasenkestävyyttä on käytetty hyväksi sillanrakennuksessa, vesirakentamisessa sekä pakkasenkestävyyttä vaativissa kohteissa. (Tielaitos 2000.)

Suomessa tehtiin 1980-luvun lopussa säilyvyyskoesarjoja, joissa selvitettiin teollisuuden sivutuotteiden vaikutusta eri betonien pakkasenkestävyyteen ja pakkassuolakestävyyteen. Säilyvyyskoesarjoissa testattiin betonien jälkihoitojen ja jälkihoitoaikojen sekä vanhennusmenetelmien vaikutusta kuivumisen ja karbonatisoitumisen seurauksena. Säilyvyyskoesarjoja tehtiin myös korkealujuusbetoneille, joilla suolapakkaskestävyys eri sideaineilla todettiin erinomaiseksi. Korkealujuusbetonien lujuustason vuoksi P-lukukaavaa ei voitu kuitenkaan soveltaa sellaisenaan. (Tielaitos 2000.)

Seppo Matala aloitti vuoden 1989 lopussa Tiehallinnon siltayksikön määräyksestä kehittämään P-lukubetonin suhteituksen mallia, jolla P-luku voitiin määrittää tuoreen betonin ominaisuuksista ilmamäärämittauksin ennen rakenteen valamista. P-luvun mallin etuna nähtiin tulosten nopeus ja reklamaatioiden ja kustannusten väheneminen siltojen betonitöiden osalta. P-lukubetonin käyttö edellytti ennakkokokeiden tekemistä betoniasemalla. Mallin kehitystyö aloitettiin VTT:llä vuonna 1989 ja saatettiin loppuun vuonna 1990 Teknillisessä korkeakoulussa. (Tielaitos 2000.)

P-lukubetonin käyttöohje julkaistiin vuonna 1991 SYL 3:ssa (*Sillanrakennuksen yleiset laatuvaatimukset, Osa 3 Betonirakenteet*). (Betoni 2021a.)

P-luvun kehittämismallin laadinnassa käytettiin hyväksi vuoteen 1990 Suomessa tehtyjen pakkasenkestävyyskokeiden tilastoaineistoa. Mallissa huomioitiin tuoreen betonin ominaisuuksien, betonikoostumuksen, sivutuotteiden sekä jälkihoitoajan ja vanhennusprosessin vaikutusta betonin myöhäisiän pakkasenkestävyyteen. Laskentamallin tuli soveltua myös käytettäväksi korkealujuusbetoneissa. (Tielaitos 2000.)

Suomi on ainoa maa, jossa P-luvun laskentakonsepti on käytössä. Muualla siltojen betonit testataan kohdekohtaisesti rakenteen valun jälkeen. (Tielaitos 2000.)

## 4 Ohjepäivityksen taustat

### 4.1 Taitorakenteiden tehostetut laadunvarmistustoimenpiteet

Vuonna 2016 Suomessa todettiin vakavia säänkestävien betonirakenteiden lujuusaluksia. Lujuusaluksia havaittiin Kemijärven sillassa, jonka jännitysankkurit pettivät huonon lujuuden takia sekä Turun keskussairaalan työmaalla, jonka kansirakenteen valutyö epäonnistui. Betonien tiheydet olivat molemmissa alhaisia ja rakenteista otetut ilmamäärät tavoitearvoja korkeammat. Kohonnut ilmamäärä osoittautui merkittäväksi syyksi lujuusongelmiin. (Aalto-yliopisto 2017.)



Kuva 7. Havainnekuva Tyksin T3-sairaalan betonin laatu­poikkeamasta (Vsshp 2016).

Vuoden 2016 lopussa Liikennevirasto määräsi lähetettäväksi ELY-keskusten rakennuttajille ja projektipäälliköille ns. myllykirjeen selittämättömien lujuusalenemien vuoksi. Myllykirje sisälsi taitorakenteiden tehostetut betonin laadunvarmistustoimenpiteet jokaiselle valettavalle yleiselle rata- tai tieverkolla sijaitsevalle sillalle ja muille merkittäville taitorakenteille, kuten tunneleille ja suurille tukiseinille. Päätös koski myös kuntien ja kaupunkien taitorakenteita, jotka ylittävät tai alittavat Liikenneviraston omistaman väylän, sekä valtionapua saavia yksityistiesilloja. (Rakennuslehti 2016.)

Myllykirje tarkensi ohjeita laadunvalvonnan eri osa-alueilla. Muutos kattoi betoniaseman ennakkokokeet, betonin suhteitustietojen ilmoittamisen, työmaalla koekappaleiden tekemisen ja ilmamäärien mittauksen työmaalla. Tehostettuja laadunvarmistustoimenpiteitä jatkettiin, kunnes syyt lujuusalituksiin selvitettiin ja korjaavat toimenpiteet saatiin määriteltä. (Liikennevirasto 2016.)

Betonin valmistusprosessissa ilmamäärä nostetaan 6 %-yksikköön sen pakkasenkestävyyden parantamiseksi. Liikenneviraston aloittamissa tutkimuksissa havaittiin että ilmamäärät olivat nousseet työmaalla yli 10 %-yksikköön ja valmiissa rakenteessa 15 %-yksikköön. Tavoiteilmamäärä betoniasemalla ja rakennuskohteessa on 6 %-yksikköä jossa yksi prosentti ilmaa vastaa noin viittä prosenttia betonin lujuudessa. (Aalto-yliopisto 2017.)

Betonialla tiedostettiin, ettei betonin suojahuokostus ole riittävän stabiilia ja tämä mahdollistaa betonin ilmamäärän nousun sekoituksen jälkeen sekä ilmamäärän vaihtelun betonirakenteen sisällä. Markkinoille tulleet uudet polykarboksylaattipohjaiset notkistavat lisäaineet nostivat betonin ilmamäärää, jonka kohonnut ilmamäärä neutralisoitiin lisäaineessa olevien vaahdontappajien ja synteettisten huokostimien avulla. Aikaisemmin käytössä olleilla notkistimilla ilmamäärät laskivat sekoittamisen jälkeen. (Aalto-yliopisto 2017.)

#### 4.2 Robust-air – Tutkimus

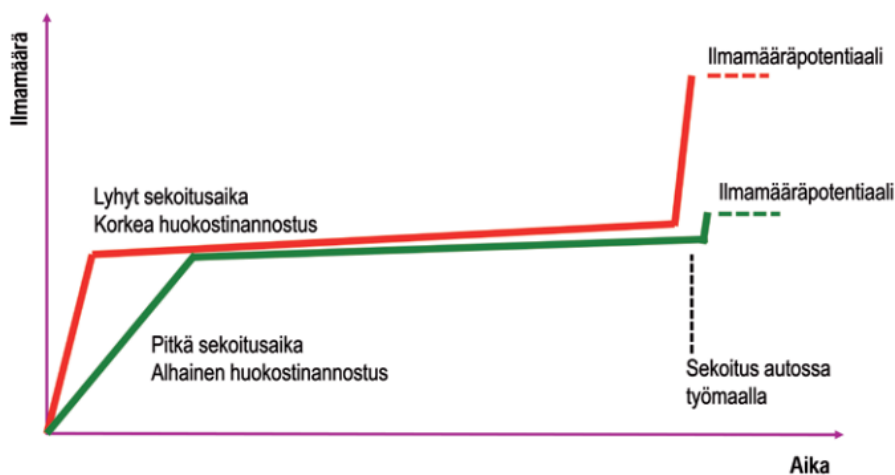
Vuoden 2017 alussa käynnistettiin ”Robust-air” tilaustutkimus Aalto-yliopiston rakennetekniikan laitoksella, jonka tavoite oli varmistaa suojahuokostuksen stabiilisuus ja löytyy keinot betonin huokoistumiseen, jotta ilmamäärät eivät muutu betonin sekoituksen jälkeen. Robust-air tutkimuksen tilasivat ja rahoittivat Liikennevirasto, Betonteollisuus ry, seitsemän lisäainetoimittajaa sekä kolme valmisbetonitoimittajaa. (Betoni 2017b.)

Tutkimus sisälsi kirjallisuusselvityksen sekä laboratoriotutkimuksia betonikokeilla. Kokeissa tutkittiin betonin sekoitusaikojen vaikutusta notkeuteen ja ilmamääriin. Kokeissa selvitettiin myös betonimassan ja lisäaineiden vaikutusta ilmamäärän muuttumiseen sekoittamisen jälkeen. Betonimassan

ominaisuuksista tutkittiin betonin lujuusluokka, notkeus, sementtityyppi ja kiviaineksen raekoko. Tutkimusprojektia rahoittavilta lisäainetoimittajilta tutkittavana oli seitsemän eri notkistin-huokoisyhdistelmää. (Betoni 2017b.)

Laboratoriokokeiden tulokset osoittivat, että polykarboksylaattipohjaiset notkistavat lisäaineet vaativat tehokkaan ja pitkän sekoitusprosessin, joka riippuu sekä sekoittajan tehosta että sekoitusajasta. Sekoitusprosessi korreloi ilmamäärän kohoamista. Huonosti sekoitetun betonin huokostimet toimivat vain osittain sekoituksen aikana. Tällöin ilmamäärän lisääntyminen voi jatkua, kun betonia sekoitetaan työmaalla betoniautossa. (Betoni 2017b.)

Betoneilla on oma ilmamääräpotentiaali, joka kertoo maksimi-ilmamäärän, jonka betoni voi saavuttaa. Ilmamääräpotentiaalia säätelevät käytetyt lisäaineet, betonin koostumus sekä betonin notkeus. Betonin huokostinannostuksella voidaan säädellä, kuinka nopeasti tavoiteilmamäärä saavutetaan. Lyhyellä sekoitusajalla ja korkealla huokostinannostuksella voidaan saavuttaa vaadittava ilmamäärä, mutta tällöin ei saavuteta ilmamääräpotentiaalia, jolloin riski ilmamäärien nousemiseen kasvaa myöhemmässä vaiheessa. (Betoni 2017b.)



Kuvio 1. Ilmamääräpotentiaali suhteessa sekoitusaikaan (Betoni 2017b).

Ilmamääräpotentiaalin saavuttaminen polykarboksylaattipohjaisilla notkistavilla lisäaineilla tarkoittaisi pidempiä sekoitusaikoja normaalisti käytetyn 90 sekunnin

sekoitusajan sijaan. Pidempien sekoitusaikojen käyttäminen eivät käytännössä ole mahdollisia tuotantoteknisistä syistä. (Betoni 2017b.)

Ilmamääriin liittyviä ongelmia ja näiden korjaavia toimenpiteitä vaaditaan betonin valmistusketjun kaikilta toimijoilta. Korjaavia betonin valmistukseen liittyviä toimenpiteitä ovat (Betoni 2017b):

### **Lisäaineet**

Betonin lisäaineita on kehitettävä niin, että riski ilmamäärän kasvamiseen jää minimaaliseksi.

### **Betonin sekoitin**

Betonisekoittimia tulee kehittää niin, että tarvittava huokostus saadaan aikaiseksi kohtuullisessa sekoitusajassa.

### **Betonin ennakkokokeet**

Betonin valmistajan tulee tietää betonin huokostuksen toiminta myös varsinaisen sekoituksen jälkeen. Tätä varten valmistajan on tehtävä tarvittavat ennakkokokeet ja lisäksi seurattava ilmamääriä myös rakennuspaikalla.

### **Betonin notkeus**

Erittäin notkeita huokostettuja betoneita kannattaa välttää, mikäli se vain on mahdollista. Mikäli erittäin notkeita huokostettuja betoneita tarvitaan, tulee ilmamäärän stabiilisuuteen kiinnittää erityistä huomiota.

### **Betonin ilmamäärät**

Suuria ilmamääriä (> 6 %) tulee välttää. Hyvä pakkas-suolakestävyys (korkea P-luku) saavutetaan luotettavimmin kohtuullisella ilmamäärällä ja alhaisella vesi-sementtisuhteella.

## **Pakkasenkestävän betonin vaatimukset**

Pakkasenkestävyyden vaatimukset tulee arvioida kriittisesti ja tarvittaessa päivittää. Nykyiset vaatimukset osin kannustavat liikaa betonin korkeisiin ilmamääriin.

## **Betonin laadunvalvonta**

On pidettävä huolta, että betonin ennakkokokeet sekä laadunvalvonta hoidetaan asianmukaisesti. Pidemmällä aikavälillä laadunvalvontamenetelmiä tulee päivittää vastaamaan nykyteknologiaa. Manuaaliset mittaukset tulee jatkossa korvata automaattisilla, jatkuvatoimisilla järjestelmillä.

### **4.3 Uuden ohjeen laatiminen**

Uuden infrabetonien valmistusohjeen päivitystyö alkoi vuonna 2017 Liikenneviraston toimesta. Betonirakenteiden lujuuspoikkeamien vuoksi Liikennevirasto halusi tarkastella koko betonin valmistusketjun toimintaa. Lujuusalitukset sijoittuivat vuosina 2005–2016 valettuihin siltarakenteisiin, joissa epäiltiin betonin puristuslujuuden alhaisuutta rakenteessa sekä alitusten suurta riskitasoa aikaisemman käytössä olleen *Liikenneviraston ohjeita 22/2016 Siltabetonien P-lukumenettely* -ohjeistuksen takia. (Kiwa 2019.)

Siltoja tutkittiin yhteensä 94 kappaletta, joista rautatiesiltoja oli mukana 32 kappaletta ja tiesiltoja 62 kappaletta. Sillat jakaantuivat ympäri Suomea. Liikenneviraston tutkimukseen valittujen siltojen kriteerinä oli rakennusvuosi, suuri koko, tiesiltojen liikennemäärät, rautatiesiltojen merkitys henkilö- ja tavarakuljetusten kannalta sekä sillan kunto. Siltojen rakenteesta testattiin puristuslujuus, ilmamäärä ja tiheys, joita mitattiin koepaloin sekä kimmovasaramittauksin. Tutkimuksen tulosten perusteella yksi silta ei täyttänyt vaadittuja lujuusvaatimuksia. Tuloksista selvisi liiallisen ilmamäärän heikentävä vaikutus betonin lujuuteen. (Liikennevirasto 2018.)

Riittämättömään lujuustasoon oli useita syitä. Kohonneet ilmamäärät, lujuuksien muutokset ja tunnistetestaus, tiivistymisongelmat, pienet lujuusmarginaalit sekä



valvonnan puute koko valmistus- ja laadunvalvontaketjun osalta. Testien puutteellinen ohjeistus ja valvonta johti laiminlyönteihin esimerkiksi ennakkokokeiden tekemisessä, jotka olivat ainoat testit betonin säilyvyyden osalta. Myös suunnittelijoiden kehittämien omien P-lukubetonien lukumäärä oli liian suuri joka puolestaan rasitti laadunvalvontaa. (Kiwa 2019.)

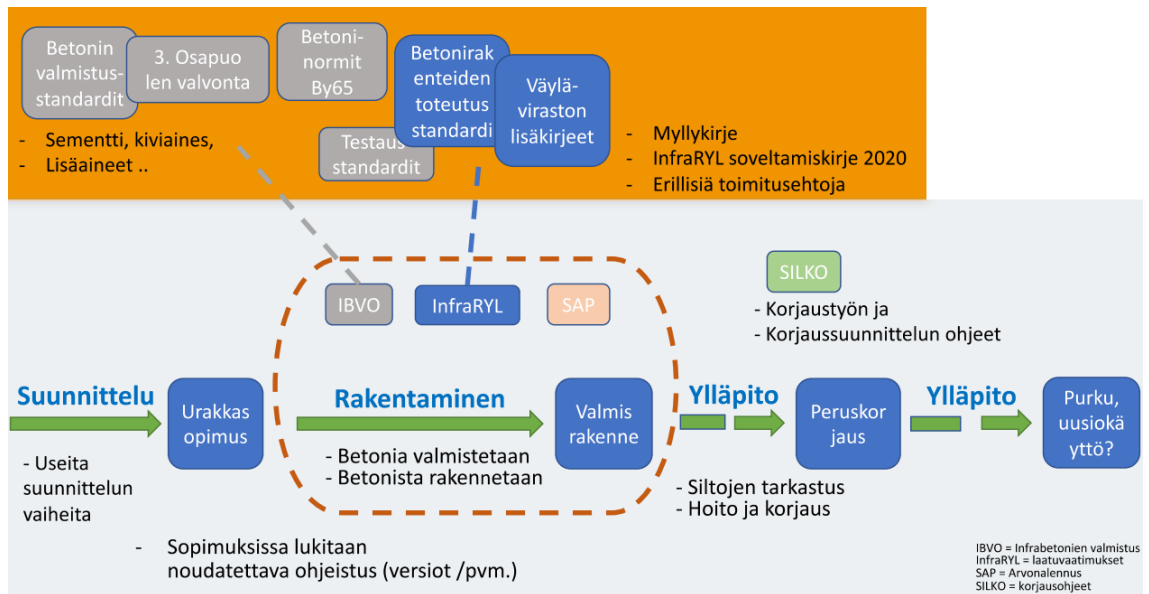
*Liikenneviraston ohjeita 22/2016 Siltabetonien P-lukumenettely* korvattiin 18.11.2016 myllykirjeellä. Uuden *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* -ohjeen laatimiseen haluttiin löytää eri organisaatioiden osapuolia tyydyttävä ratkaisu Aalto-yliopiston projektissa, jossa ohjeistus laadittiin työpajoissa eri osapuolten haastatteluilla ohjeisiin liittyvistä ongelmista ja haasteista. Ohjepäivityksen teossa on ollut mukana Väyläviraston asiantuntijaryhmä ja laajennettu asiantuntijaryhmä, johon kuului betoniteollisuuden, betonivalmistajan, betonitehtaiden sertifioijien ja työmaan osapuolia. (Kiwa 2019.)

## 5 Uudet infrabetoniohjeet

### 5.1 Vuoden siirtymäaika

Väyläviraston laatima *Infrabetonien valmistusohje (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* – ohje tuli voimaan 1.1.2021. Uuden ohjeen täysmittaiseen käyttöönottoon asetettiin vuoden siirtymäaika, jonka aikana betonin valmistajat tekivät infrabetonilaaduista vaadittavat ennakkokokeet. Siirtymäajan aikana uuden ohjeen toimivuudesta kerättiin tietoa kuukausittaisten seurantakokousten, koulutusten ja palautteiden kautta. Betonin valmistajat hakevat infrabetoneille tuotesertifioinnin, jonka hyväksymisen jälkeen infrabetonia voidaan alkaa toimittamaan. 1.1.2022 infrabetonien valmistusohjeen täysimääräinen käyttö tuli voimaan, jolloin infrabetonien ennakkokokeet ja valmistus tuli olla ohjeen mukaista Väyläviraston infrakohteissa. Elementtiteollisuudessa infrabetonien valmistusohjeen siirtymäaikaa jatketaan 1.6.2022 asti. (Betoni 2021a.)

*Infrabetonien valmistusohje (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* – ohjepäivityksessä muutoksia tehtiin ohjeiden selkeytykseen sekä vaatimusten mitattavuuteen esimerkiksi ennakkokokeiden osalta. Ohjepäivityksessä Infrabetonien valmistusohje koskee betonin valmistusta ja InfraRYL työmaan toimintaa ja infrarakentamisen laadunvalvontaa. Väylävirasto on laatinut laskentalomakkeita ja Excel-tiedostoja betonin valmistajan ja urakoitsijan avuksi. (Väylävirasto 41/2020.)



Kuvio 2. Ohjeita betonin valmistamiseen, työmaan laatuvaatimuksiin sekä niissä käytettäviin ohjeisiin (Betoniyhdistys 2022a).

## 5.2 Ohjeiden muutokset

*Infrabetonien valmistusohje (Väyläviraston ohjeita 41/2020) – ohjemuutokset* (Betoni 2021a):

- Kuusi suositeltua infrabetonilaatua
- Lieriölujuuksien käyttöönotto
- Tavoiteilmamäärän maksimiarvo
- Muutokset sallittuun vesi- ja seosaineiden määriin
- Uudet tehdaskohtaiset ennakkokokeet
- Kohdekohtaiset ennakkokokeet vaativissa kohteissa
- Kohdekohtaiset valettavat koekappaleet betoniasemalla

### 5.2.1 Infrabetonilaadut

Infrabetonien valmistusohjeessa on kuusi suositeltua infrabetonilaatua, joista neljä on huokostettuja P-lukubetoneita ja kaksi on huokostamatonta (P0) betonia. Infrabetonilaadut on esitetty taulukossa 1. P-lukuja ohjeessa on kaksi, P30 ja P50. P-lukubetonien määrä vähentää ennakkokokeiden tekemistä betonitehtaalla sekä käytössä olevien P-lukubetonien määrää. (Betoni 2021a.)

Erikoisbetoneita ja muita käytössä olevia betoneita tulee olemaan markkinoilla, mutta betonin valmistajaa kehotetaan korvaamaan ne ohjeen suositelluilla betonilaaduilla, jonka lujuus tai P-luku on korkeampi kuin tilattavalla betonilla. (Betoni 2021a.)

<b>Infrabetonilaatu</b>
C30/37 P0
C30/37 P30
C35/45 P0
C35/45 P30
C35/45 P50
C45/55 P50

Taulukko 1. Suositellut infrabetonilaatut (Väylävirasto 41/2021).

### 5.2.2 Lieriölujuudet

Infrarakenteissa aikaisemmin käytössä ollut kuutiolujuus korvattiin siirtymällä lieriölujuuksiin. Koekappaleita testataan lieriöillä (300 mm x 150) ja laadunvarmistuksessa puristuslujuustulokset arvostellaan lieriölujuuksina. Betonitehtaalla koekuutioiden käyttö on vielä sallittu, mutta tulokset tulee muuttaa vastaamaan lieriölujuuden arvoa InfraRYL:ssä esitetyllä laskentakaavalla. (Väylävirasto 41/2020.)

### 5.2.3 Tavoiteilmamäärät

Huokostettujen betonien ongelmana olleet korkeat ilmamäärät betonin sekoituksen jälkeen, sekä ilmamäärien vaihtelut betonirakenteen sisällä asettivat betonin valmistajalle vaatimukset tavoiteilmamäärän asettamiseen. Tavoiteilmamäärät on määritettävä kullekin betonilaadulle. Tavoiteilmamäärän maksimiarvo on 5,5 %, ilmamäärät betoniasemalla ja siltapaikalla saa ylittää tavoiteilmamäärän 2,5 %-yksikköä ja alittaa 1 %-yksikköä. (Betoni 2021a.)

### 5.2.4 Vesi- ja seosainemuutokset

Ohjeessa *Siltabetonien P-lukumenettely (Liikenneviraston ohjeita 22/2016)* betonin kutistumaa rajoitettiin määrittämällä vesimäärän maksiarvo, joka riippui käytetystä P-luvusta ja hienoaineksen määrästä betonissa. Ohjeen uudistuksessa maksimi vesimäärä saa olla korkeintaan 200 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. (Betoni 2021a.)

Infrabetoneissa masuunikuonan maksimikäyttömäärä on pysynyt samana, joka on 50 % sideaineen kokonaismäärästä. Masuunikuonan maksimi käyttömäärä pysyy samana käytettäessä kuona- tai irtosementtiä. Mikäli masuunikuonan määrä ylittyy, pakkassuolakestävyys alkaa heikentymään. Huokostamattomilla P0-betoneilla masuunikuonan maksimiraja on 70 % sideaineen kokonaismäärästä. Käytettäessä kuonasementtiä CEM III B, kuonan raja ylittää sallitun 50 % rajan, jolloin kuonan määrää voidaan vähentää tai sideainetta voidaan rikastaa CEM I-tyypin sementillä. (Betoniyhdistys 2022b.)

### 5.2.5 Tehdaskohtaiset ennakkokokeet

Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat tärkeässä roolissa infrabetonien valmistuskokonaisuuden tekemisessä, sillä esimerkiksi betonin pakkassuolakestävyyttä ei testata normaalisti tehdaskohtaisten ennakkokokeiden jälkeen. Pakkassuolakestävyys lisäksi betonista tutkitaan

ilmamäärää eri ajankohtina, betonin notkeutta ja painumaa, työstettävyyttä, tiheyttä ja puristuslujuutta 7, 28 ja 91 vuorokauden laadunvarmistusällä.

Taulukossa 2 esitetään eri infrabetonilaaduille suoritettavat testaukset.

Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat suuria ja aikataullisesti merkittävä prosessi, jossa huokostettujen betonien osalta testaukset saattavat kestää jopa neljä kuukautta. Betonien saatavuus on tällöin varmistettava betonin valmistajalta ennakkokokeiden osalta. (Betoniyhdistys 2022b.)

Infrabetonilaadut	Sarake 1 C30/37 P30, C35/45 P30 C35/45 P50, C45/55 P50	Sarake 2 C30/37 P0, C35/45 P0
<b>Puristuslujuus</b> <b>valetuin koekappalein</b> (kpl 5.1.5)	Yhteensä 9 koekappaletta, (7, 28 ja 91 vrk.) á 3 koekappaletta	
<b>Tiheys</b> (kpl 5.1.4.1 ja 5.1.5)	Tiheys määritetään tuoreesta massasta ja kaikista vale- tuista koekappaleista.	
<b>Ilmamäärä</b> (kpl )	3 ilmamäärämittausta. (eri ajanhetkinä)	Ei tehdä.
<b>Ilmamääräpotentiali</b> (kpl 5.1.3)	Ilmamäärämittaus välittömästi vähimmäissekoitusajan ja 6 min sekoitusajan jälkeen	Ei tehdä.
<b>Notkeuden mittaus</b> (kpl 5.1.4.2)	3 kpl notkeuden mittauksia: välittömästi sekoittamisen jälkeen, 60 min sekoituksen alkamisen jälkeen sekä notkistinlisäyksen jälkeen.	
<b>Pakkassuolakestävyys</b> <b>CEN/TS 12390-9</b> (kpl 5.1.6)	4 kpl 150 mm kuutioita. Tehdään normaalilanteessa be- tonilaaduilla C30/37 P30 ja C35/45 P50 ja tarvittaessa muilla betonilaaduilla	Ei tehdä.
<b>Kiviaineksen</b> <b>kosteuspitoisuus</b> (kpl Virhe. Viitteen läh- dettä ei löytynyt.)	Määritetään kaikista kiviaineslajeista.	

Taulukko 2. Ennakkokokeiden testit yhdelle betonilaadulle (Väylävirasto 41/2020).

Infrabetonien laatujen määrä on vähennetty kuuden suositellun infrabetonilaadun testaamiseen. Muiden kuin suositeltujen betonilaatujen käyttö on sallittua, jos näiden ennakkokokeet on tehty. Kaikkia betonilaatuja ei testata ennakkokokein, mutta tietyt betonit vaativat sen. Betonin maksimiraekoon ollessa alle 12 mm, käytettäessä itsetiivistyvää betonia tai betonin notkeusluokka on pieni, tehdään betonille omat ennakkokokeet.

Tehdaskohtaisissa ennakkokokeissa pakkassuolakokeet tehdään kahdelle betonilaadulle ja saman betonilaadun eri sideaine vaatii ennakkokokeen vain osalle betonilaaduista. Betonin valmistaja voi päättää betonit, joille ennakkokokeet tehdään. Betonin valmistajan tehdessä ennakkokokeet vain osalle betoneista, muiden sideaineiden lievennykset eivät ole tällöin voimassa. Betonin raaka-aineiden muuttuessa tulee betonien ennakkokokeet uusia. Betonin valmistajan on tehtävä vähintään yhden betonilaadun ennakkokokeet vuosittain. (Betoni 2021a.)

Ennakkokokeet ovat betoniasema ja betonilaatukohtaisia, joiden voimassaoloa valvontaan tuotesertifiointin yhteydessä. Tehdaskohtaiset ennakkokokeet ovat voimassa kaksi vuotta, jonka jälkeen ne on uusittava. Väylävirasto on laatinut Excel-lomakkeen ennakkokokeiden seuranta varten, jossa on eritelty betonilaadut ja näille tehdyt testaukset ja voimassaoloajat. (Väylävirasto 41/2020.)

ENNAKKOKOKEIDEN ERITTELYT

ENSISIJAINEN SIDEAINE

Sideaine		Oiva, Finnsementti Oy					
Betonilaatu	Ennakkokoe voimassa	Ennakkokokeen voimassaolo	Ennakkokokeet (Taul.2)		Sallitut notkeusluokat	Sallitut kiviaineksen max. raekoot	Ennakkokokeen tunnus
			Sarake 1	Pakkaskoe			
C30/37 P0	X	4.1.2023	X		≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_01/2021
C30/37 P30	X	4.1.2023	X	X	≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_02/2021
C35/45 P0	X	5.1.2023	X		≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_03/2021
C35/45 P30	X	5.1.2023	X		≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_04/2021
C35/45 P50	X	6.1.2023	X	X	≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_05/2021
C45/55 P50	X	6.1.2023	X		≤ S4	≥ 12 mm	PV1-ENN_06/2021

Mikäli kaikki taulukon 1 (VO 41/20) mukaiset suositellut betonilaadut on testattu ensisijaisella sideaineella, voidaan toissijaisilla sideaineilla testata vain osa taulukon 1 betoneista. Katso tarkemmin ohjeen kappale 5.1.2.1.

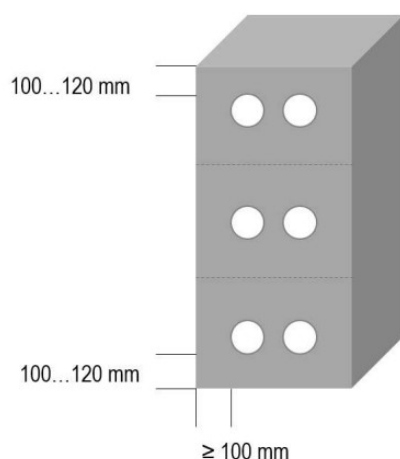
Taulukko 3. Esimerkkitaulukko ennakkokokeiden voimassaolosta (Väylävirasto 41/2020).

### 5.2.6 Kohdekohtaiset ennakkokokeet

Kohdekohtaiset ennakkokokeet tulivat käytäntöön uuden *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* -ohjeen myötä. Kohdekohtaiset ennakkokokeet koskevat vaativia rakenteita, jotka ovat vaikeasti valettavia ja

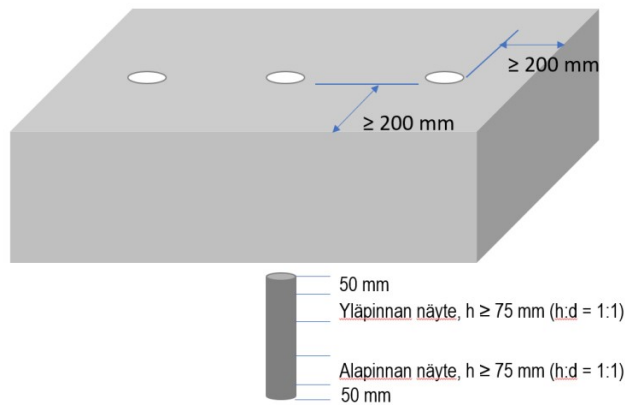
joissa käytetään erottumisherkkiä betoneita. Kohdekohtaisia ennakkokokeita voidaan vaatia esimerkiksi, jos kiviaineksen maksimi raekoko on alle 12 mm, käytetään korkeita betonin lujuuksia tai korkea P-lukua. Kokeita ei tehdä kaikista rakenteista vaan ne kohdistetaan tiettyyn rakenneosaan. Infrarakenteen tilaaja tekee päätöksen kohdekohtaisten ennakkokokeiden tekemisestä ja kokeiden tekemisestä vastaa urakoitsija. Kohdekohtaisten ennakkokokeiden tavoitteena on tehdä yhteistyötä urakoitsijan ja betonin valmistajan välillä. Kohdekohtaisten ennakkokokeiden tekeminen tulee olemaan harvinaista ja niitä tullaan näkemään vain vaativissa kohteissa. Kohdekohtaiset ennakkokokeet ovat voimassa vain kyseisessä kohteessa, eikä niitä ei voida hyödyntää toisessa kohteessa. (Betoni 2021a.)

Kohdekohtaisissa ennakkokokeissa jäljitellään todellisen rakenteen valua betonilaadun, valun ja tiivistyksen osalta tietyn rakenneosan osalta. Testirakenteesta testataan puristuslujuutta ja tiheyttä, joita verrataan vaatimuksenmukaisuutta vastaaviin arvoihin. Kuvissa 8 ja 9 on esitelty kohdekohtaisista rakenteista porattavien poralieriönäytteiden porauskohdat pysty- ja vaakarakenteesta. Varsinaisen rakenteen valaminen voidaan aloittaa, kun ennakkokokeet on hyväksytty ja mittaustulokset on toimitettu Väylävirastolle. (Betoni 2021a.)



Kuva 8. Havainnekuva poralieriöiden poraamisesta pystyrakenteesta (Väylävirasto 41/20).





Kuva 9. Havainnekuva poralieriön poraamisesta vaakarakenteesta - (Väylävirasto 41/2020).

Infrabetoneilta edellytetään betonitehtaalla kohdekohtaista testausta betonilaaduittain. Koekappaleita tulee valmistaa käytetystä infrabetonilaadusta yksi koekappale 200 m<sup>3</sup> kohden ja vähintään 3 kolme koekappaletta. Mikäli kohteeseen menevän betonin määrä on pieni, koekappaleita otetaan vain 1 kpl/autokuorma. Kohdekohtaiset puristuslujuustulokset ilmoitetaan lieriölujuuksina ja ne raportoidaan betonilaaduittain osana betonitehtaan laadunvalvontaa. (Väylävirasto 41/2020.)

Betonin tiheydelle on asetettu kriteereita kohdekohtaisissa testauksissa kuinka paljon suhteituksen mukainen tiheys saa poiketa tuoreen betonin ja suhteituksen mukaisen tiheyden välillä sekä porakappaleiden ja laboratoriokoekappaleiden välillä. Tulokset kuvastavat kuinka hyvin betoni on saatu tiivistettyä. Laboratoriossa tiivistetyt kappaleet oletetaan tiivistyneen täydellisesti ja porakoekappaleilla saadut tulokset kuvastavat työmaalla tiivistettyä betonia. Tulosten tiheyserot eivät saa poiketa paljoa toisistaan tai voidaan olettaa ilmamäärämuutosta ja puristuslujuuden vaatimuksenvastaisuutta. (Betoniyhdistys 2022b.)

### 5.3 Ohjeen vaikutus betonitehtaan toimintaan

Vuoteen 2021 mennessä betonitehtaiden tulee olla siirtynyt infrabetonien valmistusohjeen mukaiseen menettelyyn, jossa betonitehtaalta edellytetään infrabetoniohjeiden mukaisia sertifikaatteja. Sertifikaatit myönnetään Inspecta Sertifiointi Oy:n alkutarkastusten ja ennakkokokeiden hyväksyttävien tulosten varmistuttua, jolloin betonitehdas voi toimittaa hyväksyttyä P-lukulaatua Väyläviraston infrarakentamiskohteisiin. Betonitehtaat siirtyvät uuden ohjeen käyttöön samanaikaisesti Väyläviraston infrarakentamisen kohteissa. (Betoni 2021a.)

Betonitehtaalta ei vaadita kaikkien suositeltujen infrabetonilaatujen testaamista vaan betonitehdas voi hakea sertifiointin esimerkiksi vain yhdelle P-lukubetonilaadulle. Betonitehdas voi halutessaan tehdä kokeita useammalle P-lukubetonille jälkikäteen, jolloin sertifikaattiin täydennetään uudet hyväksytyt P-lukubetonit. P-lukubetoni ennakkokokeiden tulokset on hyväksyttävä ja vahvistettava Väyläviraston toimesta vähintään kaksi viikkoa ennen P-lukubetonin toimitusta työmaalle. Betonitehtaan tulee laatia betonitehdaskohtaisesti ennakkokokeiden erittelytaulukko (taulukko 3) eri P-lukubetonien sertifiointien ajantasaisuudesta, ja toimittaa se tilaajan tiedoksiannoksi. (Betoni 2021a.)

Betonin lujuusluokasta varmennutaan betonilaadun lujuusluokan merkinnällä esimerkiksi C35/45, sillä betonitehtaat voivat käyttää samanaikaisesti lieriö- ja kuutiolujuuksia. Betonitilauksissa tulee määrittää lujuusluokka, P-luku, notkeus, maksimiraekoko, laadunvarmistusikä sekä mahdollinen XA-rasitusluokka ja rasituksen laatu. (Betoni 2021a.)

Tilaajan hyväksynnällä voidaan korvata infrabetonilaatu, josta ei ole tehty ennakkokokeita lujuudeltaan ja P-luvultaan vastaavalla tai korkeammalla betonilaadulla, joka on varmistettu ennakkokokeilla toimituskelpoiseksi infrabetonilaaduksi. (Betoni 2021a.)

## 6 InfraRYL – muutokset

### 6.1 Yleistä

Sillanrakentamisessa noudatetaan *InfraRYL 2006 osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat* -julkaisua, jossa kuvataan infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia. InfraRYL sisältää kaksi osaa. Toimivuusvaatimuksia jotka koskevat rakenteen ja sen osien elinkaaren aikaista käyttäytymistä ja teknisiä vaatimuksia jotka rakenteen tulee täyttää valmistushetkellä. (BY 201, 2018.)

InfraRYL:n 42020 *Sillan betonin valmistus ja betonityöt (infraRYL 2021/2, 29.12.2021)* -julkaisua on päivitetty uusien *Infrabetonien valmistus (Väyläviraston ohjeita 41/2020)* -ohjeiden vuoksi. InfraRYL:n osiossa 42020 on esitetty siltojen betonointiin, laadunvarmistukseen ja kelpoisuudenosoittamiseen päivitettyt ohjeet. Rakennushanke tai hankkeen osa noudattaa sopimusasiakirjoissa määriteltyä versiohallintaa. (InfraRYL 2021.)

### 6.2 Infrabetonien laadunvalvonta työmaalla

Infrabetonien laadunvalvonta työmaalla käsittää mm.:

- P-luvun laskenta suhteitustietojen perusteella
- Ennakkokokeet
- Betonin ilmamäärän ja puristuslujuuden määrittäminen koekappalein
- Betonin notkeuden mittaus

Betonin laadunvalvonnan osalta työmaamittaukset ovat urakoitsijan vastuulla. Laadunvalvonnan mittaukset voidaan teettää betonin valmistajalla tai kolmannella osapuolella joiden suorittajalla on oltava riittävä dokumentoitu pätevyys ja kokemus mittausten suorittamisesta esimerkiksi betonilaborantin koulutus. (InfraRYL 2021.)

### 6.3 Betonin tiivistys

Betonin tiivistyksessä poistetaan käsittelyvaiheessa sekoittunut ilma, joka heikentää betonin ominaisuuksia kuten lujuutta, säilyvyyttä, pakkasenkestävyyttä, tiiviyyttä sekä pintojen laatua. Tiivistyksessä betonilla täytetään muotit ja ympäröidään raudoitus, jotta rakenteesta saadaan luja ja tiivis, vaatimukset täyttävä rakenne. Tiivistyksen aikana betonissa olevien kiviainesten välit täyttyvät sementtiliimalla ja hydrataation edetessä kovettuneessa betonissa muodostuneella sementtikivellä. Tiivistyksen yhteydessä betonista poistuu haitallista tiivistysilmaa, jonka määrä vaihtelee eri betonimassoilla. Jäykällä betonimassoilla tiiviysilmaa voi poistua jopa 20 tilavuus-% ja notkeilla useita prosentteja betonin tilavuudesta. Ilmamäärä hyvin tiivistetyssä betonissa on alle 2 tilavuus-%. Tiivistyksestä huolimatta betoniin jää aina ilmaa 1–2 %. (Betoniyhdistys 2022e.)

Betonin lujuuden ja tiiveyden lisäksi, tiivistyksellä on merkitystä rakenteen säänkestävyyden sekä betonipintojen ulkonäön kannalta. (Betoniyhdistys 2022e.)

### 6.4 Betonin notkeuden määrittäminen

Betonimassan notkeus vaikuttaa rakenteiden valettavuuteen, työstettävyyteen sekä tiivistettävyyteen. Valettavan rakenteen, betonimassan siirron ja tiivistämismenetelmien perusteella valitaan betonin notkeusluokka. Notkeusluokat jakautuvat painumaluokkiin S1...S5 tai leviämäluokkiin F1...F6. (BY 201, 2018.)

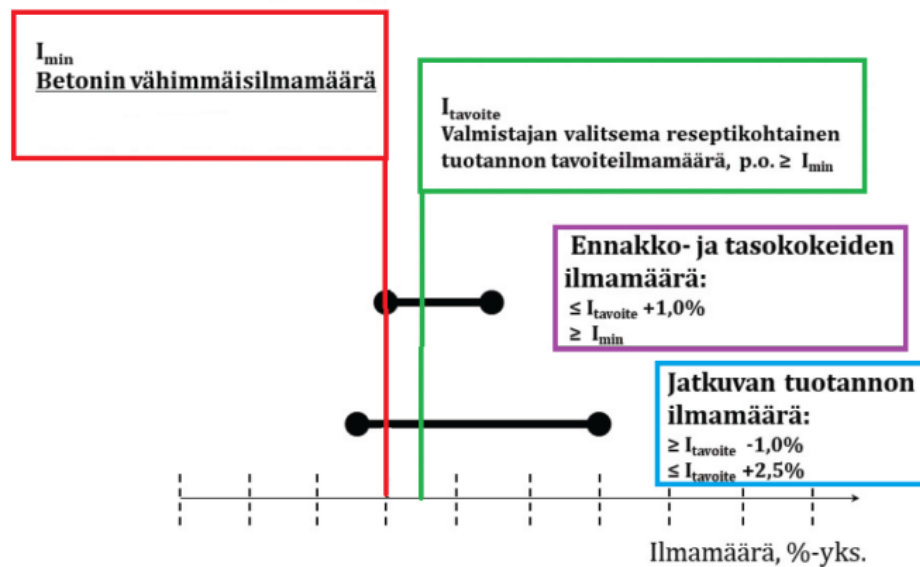
Betonin notkeus mitataan painuma- tai leviämäkokeella aina kun mitataan betonin ilmamäärä tai tehdään koekappaleet tunnistetestausta varten. Betonin tulee täyttää notkeusluokan vaatimukset. Painuma- ja leviämäkokeiden yksittäinen sallittu mittaustulosten poikkeama saa olla  $\pm 20$  mm. Betoni hylätään, mikäli notkeus ylittää notkeusluokan ylärajan sallittuun poikkeamaan verrattuna. Notkistimen lisäys on sallittu betonin valmistajan tai edustajan

toimesta, ja se tulee olla kirjattu kuormakirjaan ennen vastaanottokuittausta. (InfraRYL 2021.)

## 6.5 Ilmamäärän määrittäminen

Betonimassan ilmamäärämittaukset tehdään arvosteluerittäin ja valupäivittäin. Ilmamäärämittaukset tehdään viidestä ensimmäisestä kuormasta ja tämän jälkeen joka kymmenennestä kuormasta. Arvosteluerää kohden on oltava vähintään 3 mittaus ja yhdestä kuormasta otetaan 1 mittaus. Ilmamäärämittauslaitteistona käytetään standardin *SFS-EN 12350-7* mukaista manuaalista painemenetelmää. Kovettuneesta betonista ilmamäärä voidaan tarkistaa huokosjakotestillä. (InfraRYL 2021.)

Työmaalla betonin ilmamäärämittauksessa yksittäiset mittaustulokset saavat alittaa tavoiteilmamäärän enintään 1 %-yksiköllä ja ylittää tavoiteilmamäärän korkeintaan 2,5 %-yksiköllä. Kuviossa 3 on esitelty ilmamäärien sallittua vaihtelua tavoiteilmamäärien perusteella. Tavoiteilmamäärän ylittyessä betonikuormasta tulee määrittää puristuslujuus *SFS-EN 206* liitteen B mukaisella tunnistustestauksella tai betonikuorma täytyy hylätä. Jos betonista otettu tavoiteilmamäärä ylittää 2,5 %-yksikköä, seuraavasta betonikuormasta tulee tehdä ilmamäärämittaus, jotta varmistutaan että kyseessä oli poikkeama tai mittausvirhe. Tavoiteilmamäärän ylitys 5 %-yksiköllä johtaa betonikuorman hylkäämiseen. (BY 65, 2021.)



Kuvio 3. Betonin ilmamäärän sallittu vaihtelu tavoiteilmamäärän perusteella (BY 65, 2021).

Betonin valmistaja määrittää betonilleen oman tavoiteilmamääränsä. Tavoiteilmamäärä tulee tietää, jotta voidaan hyödyntää ohjeissa annettuja kriteerejä. Betonin valmistajan tekemissä taso- ja ennakkokokeissa tavoiteilmamäärän vaihtelulle on asetettu tiukemmat kriteerit kuin työmaalla mitattaville betonikuorman ilmamäärämittauksille. (Betoniyhdistys 2022f.)

## 6.6 P-luvun laskenta ilmamäärämittauksista

P-luku lasketaan ilmamäärämittaustulosten ja suhteitustietojen mukaisista ainemääristä. Kaikista työmaalla mitatuista ilmamääristä lasketaan P-luku. Betoninvalmistaja toimittaa betonin suhteitustiedot urakoitsijalle, joka laskee P-luvun. (Väylävirasto 41/2020) Myös betonin valmistaja tai kolmas osapuoli voi tehdä P-luvun laskennan. Betonin suhteitustiedot kirjataan taitorakennerekisteriin, kun P-luvun laskenta ja työmaamittaukset on suoritettu. (Betoniyhdistys 2022c) Lasketun P-luvun keskiarvon on täytettävä betonin P-luvulle asetetut vaatimukset, josta yksittäinen P-luku saa alittaa vaatimuksen enintään 15 %. (Betoniyhdistys 2022d.)

## 6.7 Olosuhdekoekappaleet

Rakenteen lujuudenkehitystä voidaan selvittää olosuhdekoekappaleilla. Olosuhdekoekappaleella jäljitellään valetun rakenteen lujuudenkehitystä vallitsevassa olosuhteessa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi muotipurkulujuuden tai sillan jännittämiseen vaaditun lujuustason selvittämiseen. Olosuhdekoekappaleet on tarkoitettu massiivisten valujen lämpötilantarkkailuun kohteissa, joissa lämpötilan mittaaminen ei onnistu tavanomaisin mittauskeinoin. (BY 65, 2021.)

Olosuhdekoekappaleiden käyttö betonin laadunvarmistuksessa on kielletty lujuuden vaatimuksia koskevien standardien takia. Olosuhdekoekappale antaa alhaisemman lujuustuloksen verrattuna koko valetun rakenteen lujuuteen. Tulokset eivät ota huomioon mahdollista liiallista lämmön nousua koko rakenteessa eikä suuremman betonimassan nopeampaa lujuudenkehitystä olosuhdekoekappaleeseen verrattuna. Olosuhdekoekappaleiden olosuhteet ja säilytyslämpötilat eivät myöskään vastaa täysin valetun rakenteen olosuhteita. (BY 65, 2021.)

Olosuhdekoekappaleiden käyttö on vaihtoehtoinen menetelmä lämpötilan ja lujuuden seurantaan, jolla ei ole ohjeen tai määräyksen alaisia vaatimuksia. Olosuhdekoekappaleiden käytön lisäksi valettavassa rakenteessa tulisi olla normaali lämpötilanseuranta, jotta saadaan tieto esimerkiksi lämpötilanmuutoksista rakenneosien välillä sekä maksimilämpötilasta. (BY 65, 2021.)

## 6.8 Työmaakoekappaleet

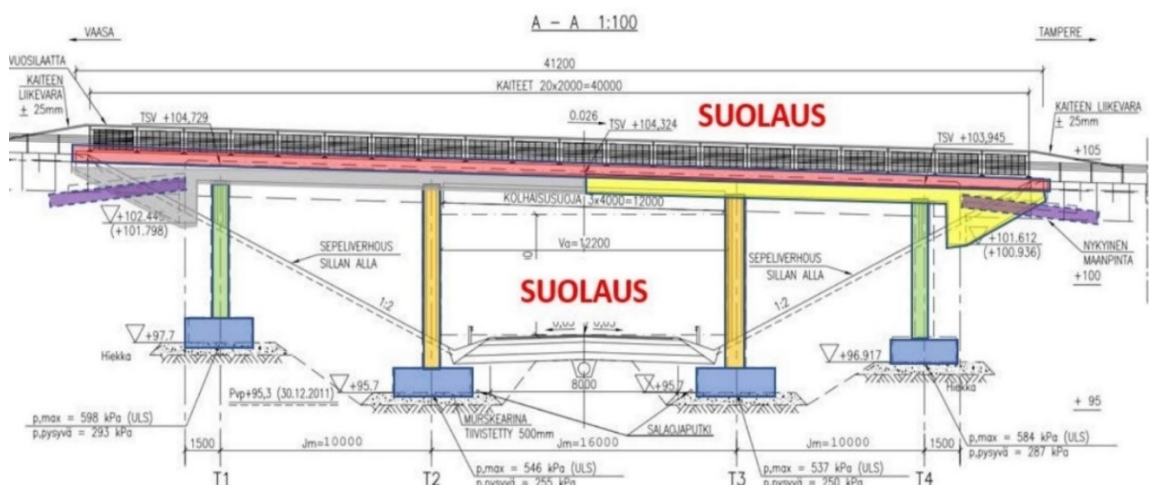
Työmaalla betonin puristuslujuus valmistetaan betoninäytteestä tehdyn lieriökoekappaleen avulla standardin *SFS-EN 12390-2* mukaisesti käyttäen standardin *SFS-EN 12390-1* määrittämiä metallimuotteja. Betonin puristuslujuuden laadunvarmistusikä on 28 vuorokautta, jollei rakennussuunnitelman osalta ole muuta esitetty. Lieriökoekappaleiden

halkaisija on 150 mm, ja korkeus 300 mm. Koekuutioiden käyttöä ei sallita betonin valmistajan eikä työmaan mittauksissa. (InfraRYL 2021.)

Työkoekappaleita säilytetään työmaalla muoteissa, suojattuna kuivumiselta, iskuilta ja tärinältä vähintään 24 tuntia ja enintään 3 vuorokautta, ja niiden säilytystapa ja -aika dokumentoidaan. Betoni testataan arvosteluerittäin, joka on kohde- ja rakennustyyppikohtainen. Kuvassa 10 on esitelty sillan rakenneosakohtaiset arvosteluerät. (InfraRYL 2021.)

Arvosteluerät koostuvat seuraavilla tavoilla (InfraRYL 2021):

- arvosteluerä on betoniasemakohtainen
- arvosteluerä on infrabetonilaatukohtainen
- eri sideainekoostumukset kuuluvat eri arvostelueriin.
- kuivatyö ja vedenalainen valu ovat erillisiä arvostelueriä.
- saman arvosteluerän betonit on valettu noin yhden kuukauden aikana.
  - eri rakenneosien betoneita voidaan sisällyttää samaan arvostelueraan, tällöin lujuus- ja säilyvyysvaatimusten on täytettävä vaativimman rakenneosan vaatimukset.
  - yhdistäminen on mahdollista jos
    - arvosteluerä koostuu samankaltaisista ja samalla tapaa valettavista rakenteista, a, esim. sillan kansi + reunapalkki, korjauskohteessa reunapalkki ja maatuen reunapalkki
    - arvosteluerä valetaan samalla massalla
    - betonitilavuudeltaan suurimpaan rakenneosaan liitettävien yksittäisten rakenneosien tilavuus on alle 50 m<sup>3</sup>.
- arvosteluerän koko on korkeintaan 600 m<sup>3</sup>.





Kuva 10. Esimerkki sillan rakennusosakohtaisista arvosteluerista (Betoniyhdistys 2022c).

Puristuslujuuden tunnistetestauksessa tarkastellaan betonin betonierän vaatimuksenmukaisuutta standardien määrittelemässä puristuslujuusluokassa. Tunnistetestaus suoritetaan esimerkiksi yksittäiselle betoniannokselle tai -kuormalle, jonka laatua epäillään. (InfraRYL 2021.)

Betoninäytteestä valmistetaan vähintään kaksi koekappaletta, joiden tulosten keskiarvo on betoninäytteen lujuustulos. Yhdestä betoninäytteestä otettujen koekappaleiden testitulosten keskihajonta ei saa ylittää 15 % tai kaikki testitulokset hylätään. Yhtä arvosteluerää kohden otetaan 6 betoninäytettä, josta tehdä 12 koelieriötä. Arvosteluerän ollessa alle 12 kuutiota arvosteluerästä otetaan vähintään 3 näytettä. Suurella koekappalemäärällä varmistutaan oikeanlaisesta säilyvyydestä ja mahdollisista virheistä betonin valmistuksessa. (InfraRYL 2021.)

Testaustulosten lukumäärä [kpl] betonierää kohti	Ehto 1	Ehto 2
	Testaustulosten keskiarvo $f_{cm}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Yksittäinen testaustulos $f_{ci}$ [MN/m <sup>2</sup> ]
1	Ei käytetä	$\geq f_{ck} - 4$
2...4	$\geq f_{ck} + 1$	$\geq f_{ck} - 4$
5...6	$\geq f_{ck} + 2$	$\geq f_{ck} - 4$

Taulukko 4. Betonin puristuslujuuden tunnistusehdot (BY 65, 2021).

#### 6.9 Puristuslujuusluokan vaatimuksenmukaisuuden arviointi eri testausmenetelmillä

Betonin puristuslujuuden selvityksessä käytetään kahta arviointimenetelmää riippuen siitä onko rakenne uusi vai vanha. Vanhassa rakenteessa betoni voi olla vahingoittunut, sen lujuudesta ei ole tietoa tai betonista halutaan saada lujuusluokka esimerkiksi korjaussuunnittelua varten. Uudessa rakenteessa toimitetun betonin laatu on saattanut ollut heikko tai betonointi on

epäonnistunut, jolloin voidaan epäillä betonin alhaista lujuutta. Vanhan ja uuden rakenteen lujuuden arviointimenetelmissä käytetään hyväksi standardin *SFS 7508* mukaisia mittausmenetelmiä. (Betoniyhdistys 2022g.)

Eri mittausmenetelmissä on erilaiset varmuustasot. Vanhan rakenteen tutkimiseen sisällytetään enemmän mittausvarmuutta verrattuna uuden rakenteen betonin tutkimiseen, jossa betonin ominaisuudet tiedetään siitä olevien laadunvarmistustietojen perusteella. Uudessa rakenteessa mittausvarmuutta ei tarvitse kasvattaa ajantasaisten tietojen takia. (Betoniyhdistys 2022g.)

#### 6.9.1 Seulontamittaus kimmovasaralla

Kimmovasaralla tehtävässä seulontatestauksessa betonin lujuuden arviointi perustuu kimmoarvon ja betonin puristuslujuuden väliseen yleisesti hyväksyttyyn riippuvuuteen. Seulontatestauksessa kimmovasaramittauksia suoritetaan satunnaisista kohdista testauserän sisällä. Mikäli tulokset täyttävät lujuusluokan kriteerit, voidaan betonin testauserä todeta lujuusluokaltaan vaatimustenmukaiseksi. (BY 65, 2021.)

Kimmovasaratestauksessa betonin lujuutta arvioidaan sen ominaisuuksien perusteella. Mittausmenetelmää ei suositella, mikäli testattavaan alueen betoni on jäässä, rakenne on yli vuoden vanha, betoni on rapautunut tai epäillään betonin puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuutta. Pelkällä kimmovasaran seulontatestauksella ei voida osoittaa vaatimuksenvastaisuutta. (BY 65, 2021.)

#### 6.9.2 Kimmovasamittaus ja porakappale

Testausmenetelmässä paikannetaan seulontamittausten testauserän testauskohtien kimmoarvojen alimman mediaanin sijainti sekä kaksi lähinnä kimmoarvojen mediaanin mediaania sijaitsevaa testauskohtaa. Testauskohdasta otetaan porakappaleet, joista määritetään betonin lujuus.

Testauksella saadaan tieto rakenteessa olevan betonin lujuusvaihteluista. (BY 65, 2021.)

Mikäli kimmovasaran seulontatestauksella ei pystytä osoittamaan betonin vaatimuksenmukaisuutta, käytetään kimmovasaramittauksen ja porakappaleiden yhdistelmää. Seulontamittauksessa saatujen kimmoarvojen mediaanit ja testauskohdat on oltava dokumentoitu ja merkitty, jotta porakappaleita voidaan porata. Porakappaleita porataan kolmesta testauskohdasta per 180 betoni-m<sup>3</sup>. (BY 65, 2021.)

### 6.9.3 Rakennekoekappale

Kovettuneen rakenteessa olevan betonin puristuslujuus voidaan määritellä rakennekoekappaleella. Rakennekoekappaleita tehdään, jos tunnistustestauksen ehdot eivät täyty, arvosteluerää ei ole muodostettu oikein, betonointi on epäonnistunut, jälkihoito tai lämmönhallinta on ollut puutteellista sekä jos on ollut syy epäillä lujuuskatoa betonissa. Betonin kypsyysaste on huomioitava koekappaleiden porauksessa. Tilaaja voi suorittaa ylimääräisen laadunvarmistuksen rakennekoekappaleilla. Rakennekoekappaleiden ottamiseen vaaditaan rakennesuunnittelijan tekemä tutkimussuunnitelma, jolla varmistetaan, etteivät poraukset heikennä rakennetta. Rakennekoekappaleiden suhteen noudatetaan uusia standardeja *SFS-EN 13791:2019* ja *SFS 7508*. (BY 65, 2021.)

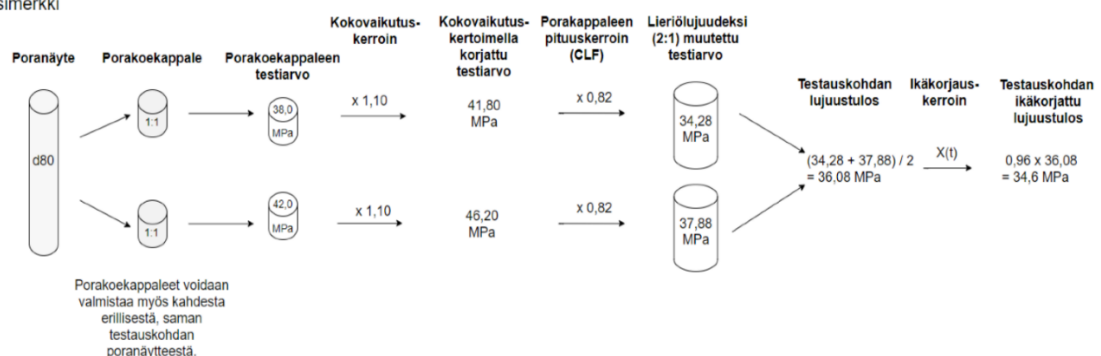
Rakennekoekappaleina betonista porataan nimellishalkaisijaltaan ja -korkeudeltaan vähintään 80 mm:n lieriöitä. Poratun koekappaleen pituus-levyysuhteen tulee olla 1:1 ja halkaisijan vähintään 3 kertaa tutkittavan betonin kiviaineksen maksimiraekoko. Maksimi koekappaleen halkaisija on 100 mm. (BY 65, 2021.)

Porakoekappaleiden koko huomioidaan kertomalla yksittäiset puristustestaustulokset porakoekappaleen nimellishalkaisijasta riippuvalla kokonaisvaikutuskertoimella (InfraRYL 2021):

- porakoe-kappaleen nimellishalkaisija 100–150 mm => kerroin 1,05
- porakoe-kappaleen nimellishalkaisija 80 mm => kerroin 1,10
- porakoe-kappaleen nimellishalkaisijan arvoilla 80 ... 100 mm kerroin interpoloidaan suoraviivaisesti välillä 1,10–1,05.

Tulokseksi saatu kuutiolujuus muutetaan vastaamaan lieriölujuutta kertomalla se porakappaleen pituuskertoimella 0,82. Lujuusvaatimuskäyttöön huomioidaan sallittu 15 % alempi puristuslujuusvaatimus, jolloin kaavoissa käytetään kerrointa 0,85. Laskentakaava esitetty kuviossa 4. (InfraRYL 2021.)

Esimerkki



Kuvio 4. Esimerkki rakennekoekappaleen lujuustuloksen laskentakaavasta (Betoni yhdistys 2022g).

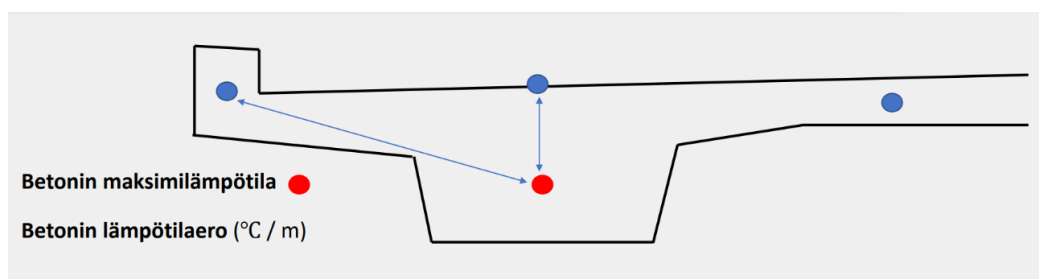
Lujuuden kasvaminen otetaan huomioon porakoe-kappaleiden käytössä. Porakoe-kappaleiden tulee täyttää laadunvarmistusiän mukainen kypsyysaste puristuslujuutta testattaessa. Betonin ylittäessä laadunvarmistusiän, betonin todellista ikää tarkastellaan korjauskertoimien kautta, joka perustuu betonirakenteen lämpötilahistoriaan ja hyväksytyjen menetelmien käyttöön. Laskennassa otetaan huomioon myös rakenteen mitattu todellinen lämpötila tai ympäröivän ilman lämpötila sekä hydrataatiolämmön laskennallinen vaikutus. Taulukossa 5 on esitelty eri puristuslujuuden ikäkorjauskertoimia, jotka riippuvat infrabetonien testaus- ja laadunvarmistusiästä. (InfraRYL 2021.)

	Korjauskerroin $X_{(t)}$	
Testausikä $t$	Laadunvarmistusikä 28 vrk	Laadunvarmistusikä 91 vrk
28 vrk	1,00	-
56 vrk	0,93	-
91 vrk	0,89	1,00
1 v	0,83	0,93
2 v	0,82	0,92
$\geq 5v$	0,80	0,90

Taulukko 5. Testaus- ja laadunvarmistusiästä riippuva puristuslujuuden ikäkorjauskerrointaulukko (InfraRYL 2021).

## 6.10 Lämpötilan hallinta

Korkean lämpötilan betonin hydrataation aikana voi aiheuttaa korkea sementtimäärä, korkea alkulämpötila, rakenteen massiivisuus, ulkoilman korkea lämpötila tai betonin suunniteltu lämmittäminen. Lämmönhallinnalla pyritään estämään hydrataation aikaista lämmönnousua. Lämpötilahallinnassa tulee huomioida lämpötilamuutosten ja -erojen vaikutukset. Korkea betonin lähtölämpötila vaikuttaa betonin maksimilämpötilaan kovettumisen aikana. (BY 65, 2021.)

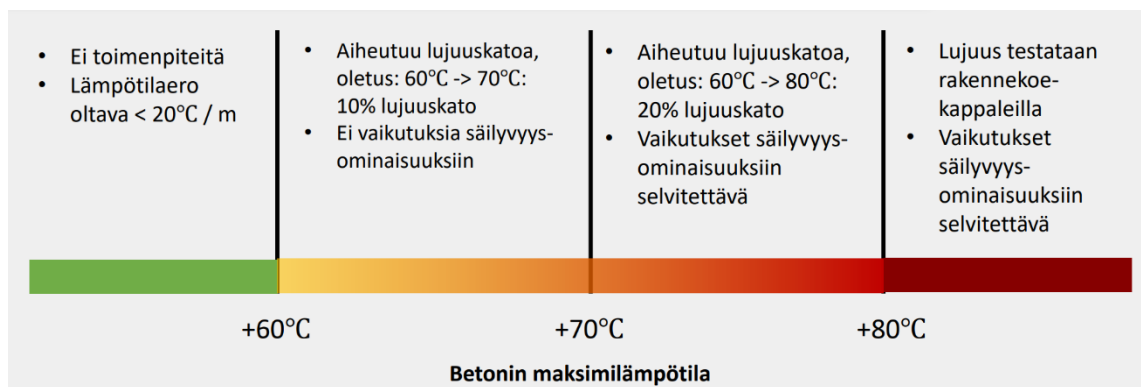


Kuva 11. Esimerkki sillan eri betonisten rakenneosien lämpötilaeroista (Betoniyhdistys 2022d).

Kovettuneen betonin lämpötila tulisi olla enintään 60 astetta ja lämpötilagradientti 1 metrin matkalla maksimissaan 20 astetta. Betonin maksimilämpötilan noustessa yli 60 asteen, betonissa aiheutuu lujuuskatoa eli lujuuden alenemista. Lujuuskato on noin 10 % / 10 astetta. (BY 65, 2021.)

Betonin lämpötilan noustessa yli 70 asteen lujuuskadon ja myöhäisiän ettringiitin riski kasvaa. Betonin korkean lämpötilan säilyvyysominaisuudet on selvitettävä. Säilyvyysominaisuuksien selvitys luo mahdollisia viiveitä ja lisäkustannuksia. (BY 65, 2021.)

Mikäli betonin lämpötila nousee 80 asteeseen, puristuslujuutta ei voida määrittää laskennallisesti vaan rakenteesta joudutaan ottamaan poranäytteitä, joilla varmistutaan lujuudesta ja betonin säilyvyysominaisuuksista. (BY 65, 2021.)



Taulukko 6. Lämpötilojen seurantataulukko (Betoniyhdistys 2022d).

### 6.11 Kypsyysikä ja lujuudenkehitys

Lämpötilalla ja betonin seosaineiden käytöllä on merkittävä vaikutus betonin kypsyysikään sekä lujuudenkehitykseen. Suomen vuosikeskilämpötilat vaihtelevat 0–5 asteen välillä sijainnin mukaan, joka tarkoittaa, että betoni kovettuu melkein poikkeuksetta viileissä olosuhteissa. Labrassa tehtävillä kokeilla betonin lämpötila on n. 20 astetta, joka eroaa suuresti työmaan lämpötilaolosuhteisiin verrattuna. (BY 65, 2021.) Betonin lujuudenkehitystä voidaan seurata laskennallisesti, kun sementin ja betonin lämpötila tunnetaan. Lämpötilat mitataan rakenteen kylmimmästä osasta, jossa hydrataatioreaktiot ovat hitaimmat. Lujuudenkehityksen laskennassa käytetään Sadgroven kaavaa, jolla betonin kypsyysikä lasketaan. (BY 65, 2021.)

Kypsyysiän laskennalla varmistutaan oikeanlaisesta betonin lujuudenkehityksestä jolloin vältetään betonin porakoekappaleiden ottamiselta. Kypsyysikä huomioidaan, kun tiedetään betonin lämpötila joko lämpötilamittauksin tai hyödyntäen ulkolämpötilahistorian tietoja. (Betoniyhdistys 2022g) Betonin valmistajilla on käytössä laskentaohjelmat, joilla saadaan kaavoja tarkempia arvioita betonin lämmön- ja lujuudenkehityksestä. (BY 65, 2021.)

## 7 Johtopäätökset

Rakennus- ja betonialaa ohjaa monet ohjeet ja standardit, joita päivitetään, tasaisin väliajoin. Ohjeiden muutosten taustalla yleisimmin ovat rakentamisessa käytettävien materiaalien kehitys edistyksellisemmiksi ja sitä kautta kustannustehokkaammiksi. Myös uusien työtapojen käyttöönotto ja esimerkiksi laadunvarmistuksen muutokset voi vaatia ohjeistuksen päivittämistä ajantasaiseksi. Uusien markkinoille tulleiden materiaalien ja osa-aineiden vaikutukset esimerkiksi rakenteen kestävyYTEEN voi tulla huomatuksi vasta pitkällä aikavälillä, jos laadunvalvontaa ei hoideta oikein. Uusien ohjeiden suunnittelussa on tärkeätä huomioida ohjetta koskevien eri organisaatioiden mielipiteet ja ajatukset, jotta näistä syntyisi kaikkia osapuolia palveleva ohje. Infrabetonien laadunvarmistus perustuu monista eri vaiheista ja osin pitkistä testauksista. Näillä voidaan varmistua halutusta betonin tasosta ja saada tietoa esimerkiksi betonin lujuudesta sen ollessa tuoretta ja puolestaan kun betoni on saavuttanut laadunvarmistusiän ylittävän ajanjakson.

Viime vuosina rakennus- ja betoniala ovat olleet suuren muutoksen alla rakentamisesta johtuvien päästöjen ja määräysten vuoksi. Hiilineutraaliuuteen on kiinnitetty paljon enemmän huomiota verrattuna vuosikymmenen takaiseen tilanteeseen. Ilmastokriittiset ratkaisut luovat myös painetta tehdä betonirakentamisesta vähäpäästöisempää ja ilmastoystävällisempää. Kehittyneillä ja nykyaikaisilla betonin osa-aineilla saadaan tuotettua standardien ja vaatimuksien täyttävää betonia. Markkinoille tulevat uudet betonin osa-aineet ja näiden vaikutus betonin ominaisuuksiin tulisi selvittää pitkäjaksoisesti, jotta mahdolliset betonia heikentävät ominaisuudet saataisiin huomioitua.

Vuonna 2016 ilmaantuneet betonin ilmamäärien kohoamiset ja betonirakenteiden lujuusalenemat saivat eri organisaatiot epäilemään sen hetkisten *Siltabetonien P-lukumenettely* -ohjeen ja laadunvalvonnan pätevyyttä betonin laadunvarmistuksessa. Tehostetut laadunvarmistustoimenpiteet ja uusi *Infrabetonien valmistusohje* -ohje toivat toivotun muutoksen betonin laadunvarmistukseen ja -valvontaan sekä ohjeiden selkeän jakautumisen



betonin valmistajan ja työmaan ohjeisiin, jotta mahdollisia ohjeiden välisiä ristiriitaisuuksia ja epäselvyyksiä ei enää vastaisuudessa olisi.

Mikäli vuoden 2016 betonialan kriisiltä vältyttäisiin tulisi laadunvalvontaan ja -varmistukseen kiinnittää jatkossakin huomiota järjestämällä esimerkiksi ajankohtaisia koulutuksia ja työpajoja, joissa organisaatiot voivat mahdollisuuksien mukaan kehittää betonia ja sen laadunvalvontametodeja, kun sille nähdään tarvetta. Hyvällä laadunvalvonnalla ja -varmistuksella mahdollistetaan korkea rakentamisen laatu ja vältytään esimerkiksi reklamaatioilta ja betonirakenteiden korjaamiselta.

Ohjeiden ja standardien määräykset tulisi tuoda paremmin myös tavallisten työntekijöiden tietouteen. Laadunvalvonnasta vastaavien ja työmaan toimihenkilöiden toimenkuvaan kuuluu erilaiset laadunvarmistusten vastuutoimet, jonka seurauksena esimerkiksi rakennusmiehen tietous näistä asioista voi olla hyvin vähäistä. Koen tärkeäksi että myös muutkin kuin laadunvarmistamisesta vastaavat henkilöt tiedostaisivat ohjeissa ja standardeissa esitettyjä määräyksiä, jolloin he myös omalla toiminnallaan pystyvät ennaltaehkäisemään mahdollisia laadunalituksia ja virheitä. Betonin lopputuotteen laadun taso on riippuvainen betonitehtaalta tulleesta tuotteesta aina valutyötä tekevien henkilöiden työn laatuun.

## Lähteet

Aalto-yliopisto 2017. Syyt betonin korkeisiin ilmamääriin selviämässä. STT Viestintäpalvelut 15.9.2017. Viitattu: 2.4.2022. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/syyt-betonin-korkeisiin-ilmamaariin-selviamassa?publisherId=37936456&releaseId=63289160>

Betoni 2017b. Punkki, J. & Al-Neshawy, F. 2017. Robust Air – Tutkimus betonin ilmamäärän kohoamiseen vaikuttavista tekijöistä. Betoni 3/2017. Saatavilla [https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/10/BET1703\\_74-79.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/10/BET1703_74-79.pdf)

Betoni 2021a. Vuotari, J.; Punkki, J. & Mantila, A. 2021. Uusi Infrabetonien valmistusohje tuli voimaan 1.1.2021. Betoni 1/2021. Saatavilla [https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101\\_66-71.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/03/BET2101_66-71.pdf)

Betonitieto 2022a. Rasitusluokat. Viitattu 1.3.2022. Saatavilla <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/rasitusluokka.html>

Betonitieto 2022b. Sanastot. Viitattu 1.3.2022. Saatavilla <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto.html>

Betoniyhdistys 2022a. Vuotari, J. 2022. Infrabetoniohjeiden kokonaisuus. Betoniaamut 4.–6.4.2022. Betoniyhdistys. Saatavilla <https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/jussi-vuotari-ma.pdf>

Betoniyhdistys 2022b. Punkki, J. 2022a. Infrabetonien valmistusohje. Työmaan näkökulmaa. Betoniaamut 4.–6.4.2022. Betoniyhdistys. Saatavilla [https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut\\_jp\\_ma\\_1.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut_jp_ma_1.pdf)

Betoniyhdistys 2022c. InfraRYL – Merkittävimmät muutokset. Betoniaamut 4.–6.4.2022. Saatavilla [https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut\\_jv\\_ma\\_2.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut_jv_ma_2.pdf)

Betoniyhdistys 2022d. Punkki, J. 2022b. InfraRYL. Laadunvalvonta työmaalla. Betoniaamut 4.–6.4.2022. Betoniyhdistys. Saatavilla [https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut\\_jp\\_ma\\_2.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/betoniaamut_jp_ma_2.pdf)

Betoniyhdistys 2022e. Betonin tiivistys. Viitattu 7.4.2022. Saatavilla <https://www.betoniyhdistys.fi/media/max-vuorio.pdf>

Betoniyhdistys 2022f. by 65 työmaalla. Viitattu 7.4.2022. Saatavilla <https://www.betoniyhdistys.fi/media/betoniaamut-by65-johanna-ti-aamu.pdf>

Betoniyhdistys 2022g. Betonirakenteiden lujuudentestaus. Viitattu 7.4.2022. Saatavilla [https://www.betoniyhdistys.fi/media/betoniaamut\\_jp\\_ti.pdf](https://www.betoniyhdistys.fi/media/betoniaamut_jp_ti.pdf)

BY 201, 2018. by 201 Betonitekniikan oppikirja. Helsinki 2018. Suomen Betoniyhdistys ry.

BY 65, 2021. by 65 Betoninormit 2021. Helsinki 2021. Suomen Betoniyhdistys ry.

InfraRYL 2021. 42020 – Sillan betonin valmistus ja betonityöt. Viitattu 12.1.2022. Saatavilla <https://ryl.rakennustieto.fi/>

Kiwa 2019. Infrabetonien valmistusohje – Kommentointiversio. Viitattu 17.2.2022. Saatavilla <https://www.kiwa.com/contentassets/3bf702e24c944c99bcc4d161810454af/jouni-punkki.pdf>

Liikennevirasto 2016. Taitorakenteiden tehostetut laadunvarmistustoimenpiteet. Viitattu 2.1.2022. Saatavilla [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/paatos\\_2016\\_taitorakenteiden\\_tehostetut\\_betonin\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/paatos_2016_taitorakenteiden_tehostetut_betonin_web.pdf)

Liikennevirasto 2018. Artikkelit. Viitattu 26.3.2022. Saatavilla <https://vayla.fi/-/liikennevirasto-laajentaa-siltatutkimuksia-lahes-sataan-siltaan>

Liikennevirasto 30/2014. Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohje. Viitattu 24.2.2022. Saatavilla [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2014-30\\_taitorakenteiden\\_rakennussuunnitelmien\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-30_taitorakenteiden_rakennussuunnitelmien_web.pdf)

Rakennuslehti 2016. Tehostettu laadunvalvonta. Viitattu 2.1.2022. Saatavilla <https://www.rakennuslehti.fi/2016/11/kemijarven-sillan-valuvian-syyt-selvisivat-turkua-tutkitaan/>

RIL 179-2018. Sillat – Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki 2018. Suomen rakennusinsinöörienliitto RIL ry.

SILKO 1.201. 2007. Betonirakenteet. Betoni sillankorjausmateriaalina. Yleiset laatuvaatimukset. Helsinki: Tiehallinto. Saatavilla

[https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1201\\_2007.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1201_2007.pdf)

Tielaitos 2000. Siltabetonien P-lukumenettely. Siltayksikkö. Tielaitoksen selvityksiä 46/2000. Helsinki: Tiehallinto. Saatavilla

<https://www.tieh.fi/sillat/julkaisut/pluku2000netti.pdf>

Vsshp 2016. Tiedote. Viitattu: 23.2.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://www.vsshp.fi/fi/sairaanhoitopiiri/media-tiedotteet-viestinta/tiedotteet/PublishingImages/Sivut/sairaalabetoni/Tyks%20T3%20betoniongelma%20Timo%20Sepp%C3%A4l%C3%A4n%20esitys.pdf>

Väylävirasto 2022. Väylävirasto 2022. Eurokoodin soveltamisohje.

Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Väyläviraston ohjeita 5/2022.

Saatavilla [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2022-5\\_NCCI\\_2\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-5_NCCI_2_web.pdf)

Väylävirasto 41/2020. Infrabetonien valmistus. Viitattu: 1.2.2022. Saatavilla

[https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-41_infrabetonien_valmistus_web.pdf)

[41\\_infrabetonien\\_valmistus\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-41_infrabetonien_valmistus_web.pdf)

## Liite 1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset

Suunnitelmissa esitettävät asiat								
Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Vaatimukset			Suunnittelukäyttöikä	Rasitusluokat	
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Raudoituksen betoni- peitteen nimellisarvo, $C_{nom}$ [mm]			
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat	Ro20	R1 R2 R4	C30/37	P30	40	100	XC3, XC4, XF2	
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat	Ro21	R1	C30/37	P30	45	100 <b>(1)</b>	XC3, XC4, XF2, XD1	
		R2			40		XC3, XC4, XS1, XD1, XF2	
		R3						
Päällysrakenteen ja maatukien reunapalkit	Ro22	R1 R2	C35/45	P50	45	50 <b>(2)</b>	XC4, XD3, XF4	
		R3		P30			XC4, XS1, XD3, XF2	
		R4	C30/37		50	XC4, XF2		
Siirtymälaatat	Ro23	R1 R2	C35/45	P50	40 <b>(3)</b>	50	XC2, XD1, XF4	
		R3	C30/37	P30			XC2, XD1, XF2	
		R4					XC2, XF2	

- 1) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 2) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään Ro20 rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.
- 3) Mikäli sillan siirtymälaatta valetaan maata vasten, on betonipeitteen nimellisarvon ( $C_{nom}$ ) oltava vähintään 50 mm.

Suunnitelmissa esitettävät asiat							
Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Vaatimukset			Suunnittelukäyttöikä	Rasitusluokat
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Raudituksen betonipeitteen nimellisarvo, $c_{min}$ [mm] (vähimmäisarvo)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m alas	Ro01	R4	C30/37	P0	40	100	XC2
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m ylös	Ro02	R4	C30/37	P30	40	100	XC2, XF2
Peruslaatta yleensä	Ro03	R4	C30/37	P0	50/100 (25) <b>(6)</b>	100	XC2
Peruslaatta vedessä	Ro04				60/100 (40) <b>(6)</b>		XC2, XS2
Peruslaatta meressä	Ro05						
Rengaskehän peruslaatta	Ro06	R1	C35/45	P50	50/100 (35) <b>(6)</b>	100	XC2, XD1, XF4
		R2	C30/37	P30	50/100 (25) <b>(6)</b>		XC2, XF2
		R4					
Peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella (peittosyvyys < 0,7 m)	Ro07	R1	C35/45	P50	50/100 (35) <b>(6)</b>	100	XC2, XD1, XF4
		R2	C30/37	P30			XC2, XD1, XF2
Peruslaatta (peittosyvyys 0,7 – 1,5 m) suolasumurasituksen ulottuma-alueella tai kloridipitoisten hulevesien vaikutusalueella	Ro08	R1 R2	C30/37	P0	50/100 (35) <b>(6)</b>	100	XC2, XD1
Maa- ja välituet yleensä	Ro10	R1	C30/37	P30	45	100	XC3, XC4, XF2
		R2 R4			40		
Suolasumurasitetut ja kloridipitoisten hulevesien vaikutusalueella olevat maa- ja välituet	Ro11	R1	C35/45	P50	45	100	XC3, XC4, XD3, XF4
		R2	C30/37	P30	40	<b>(4)</b>	XC3, XC4, XD1, XF2
		R3				100	XC3, XC4, XS1, XF2
Maatukien ja päällysrakenteen siipimuurit ja siirtymälaattojen yläpuoliset osat (ulkopinta maatukien mukaan)	Ro12	R1	C30/37	P30	45	100	XC3, XC4, XD2, XF2
		R2			40	<b>(5)</b>	XC3, XC4, XD1, XF2
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alapäin	Ro13	R4	C30/37	P0	50	100	XC2
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro14		C35/45	P50	100	100	XC3, XC4, XF4
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alapäin	Ro15		C30/37	P0	60	100	XC2, XS2
Tukirakenteet meressä NW - 1 m ylöspäin	Ro16		C45/55	P50	110	100	XC4, XS3, XF4

- 1) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 ei rakennetta tarvitse suojata.
- 2) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret [12] mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään Ro20 rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.
- 3) Mikäli sillan siirtymälaatta valetaan maata vasten, on betonipeitteen nimellisarvon ( $c_{nom}$ ) oltava vähintään 50 mm.
- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltilareiden kuoret [13] mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.
- 5) Suunnittelukäyttöikä edellyttää maata vasten olevien kloridirasitettujen pintojen suojausta.
- 6) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta/maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalakennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo ( $c_{min,dur}$ ) tavanomaiselle raudotteelle.
- 7) Pienemmän nimellisen suojabetonipeitteen ( $c_{nom}$  kuitenkin vähintään 60 mm) käyttö edellyttää julkaisun Siltilareiden kuoret [13] mukaisen tai muun vastaavan suojaverhouksen käyttöä vähintään tasolle HW + 1 m ja meressä tasolle HW + 2 m, jotta esitetty suunnittelukäyttöikä saavutetaan. Avomerirakenteissa ulottuma arvioitava tapauskohtaisesti. Betonisen kuorirakenteen P-lukuvaatimus on P70. Rasitusluokat Ro14/16 mukaan.