

Siltabetonien P-lukumenettely



Siltabetonien P-lukumenettely

Liikenneviraston ohjeita 22/2016

Kannen kuva: Betonien tienvieruskoekenttä / Liikennevirasto

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-317-297-5

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Taitorakenneyksikkö

Vastaanottaja
ELY-keskukset L-alue
Liikennevirasto

Säädösperusta

Korvaa/muuttaa
Siltabetonien P-lukumenettely LO 37/2013

Kohdistuvuus
ELY-keskukset L-alue
Liikennevirasto

Voimassa
1.8.2016 alkaen toistaiseksi

Asiasanat

betoni, pakkasenkestävyys, testaus, laatuvaatimukset, sillanrakennus, hankinta

Siltabetonien P-lukumenettely

Liikenneviraston ohjeita 22/2016

Siltabetonien P-lukumenettely ohje on tekninen asiakirja, jota käytetään siltojen ja vastaavien taitorakenteiden rakentamisessa.

Ohjeessa esitetään pakkasenkestävän siltabetonin (P-lukubetonin) valmistus- ja suhteitusvaatimukset, laadunvalvonta ja kelpoisuuden osoittaminen sekä P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja mitatun ilmamäärän perusteella.

Ohjeen liitteessä esitetään siltarakenteiden ja muiden väyläympäristön betonirakenteiden betonin laatuvaatimukset eri rasisluokkaryhmissä.

Ylijohtaja

Mirja Noukka

Tekninen johtaja

Markku Nummelin

LISÄTIETOJA
Jani Meriläinen
Liikennevirasto
puh. 0295 34 3571

Esipuhe

Ohjeessa esitetään Liikenneviraston käytössä oleva pakkasenkestävyysslukumenettely.

Ohje sisältää laatuvaatimukset, laadunvalvonnan ja kelpoisuuden osoittamisen menettelytavat pakkasenkestävän betonin valmistamiseksi.

P-lukumenettely perustuu useiden vuosikymmenien aikana tehtyjen laboratorio- ja kenttäkokeiden antamiin pakkasenkestävyysskojeiden tuloksiin. Menettelyssä on otettu huomioon betonitekniikan lisätutkimuksien mukanaan tuomat tarkennukset ja eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunut kehitys.

Ohje sisältää myös itsetiivistyvän betonin käytön edellyttämät laadunvalvontamenettelyt. Ohjeen liitteessä on esitetty silta- ja tieympäristön rakenteiden betonin sementtimäärän ja vesi-sementtisuhteen laatuvaatimukset rakenneosittain eri rasi-
tusluokkaryhmissä ja myös em. rakenteiden suunnittelussa eri rasi-
tusluokkaryhmissä käytettävät betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset ja suunnittelukäyttöikävaati-
mukset.

Ohjeen laadintaa on ohjannut Liikenneviraston taitorakenneyksikössä kehittämispäällikkö Ossi Räsänen ja ohjeen on kirjoittanut tekn. toht. Seppo Matala.

Helsingissä kesäkuussa 2016

Liikennevirasto
Väylänpito-toimiala
Tekniikka ja ympäristö -osasto/Taitorakenneyksikkö

Sisällysluettelo

TERMILUETTELO.....	6
1 YLEISTÄ	7
2 LAATUVAATIMUKSET	8
3 VALMISTUS- JA SUHTEITUSVAATIMUKSET	9
4 LAADUNVALVONTA.....	12
4.1 Yleistä	12
4.2 Ennakkokokeet.....	12
4.3 P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja työmaalla mitatun ilmamäärän perusteella	14
4.4 P-luvun määrittäminen suoralla pakkaskokeella	16
5 KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN.....	17
6 DOKUMENTOINTI.....	18
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	19
LIITTEET	
Liite 1 Betonin laatuvaatimukset eri rasisitusluokkaryhmissä	

Termiluettelo

Tässä ohjeessa käytetään seuraavia termejä:

Sideaineella tarkoitetaan sementtiä (SFS-EN 197-1) /2/ ja betoniin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättäviä standardin SFS-EN 206 /5/ mukaisia II-luokan seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa.

Sideaineen kokonaismäärällä tarkoitetaan sementin ja betoniin valmistuksen yhteydessä lisättyjen seosainemäärien yhteismäärää.

Sideaineen kokonaismäärää laskettaessa ei sementin eikä seosaineiden määriä kerrota seosainekertoimilla.

Tehollisella vesimäärällä tarkoitetaan betonimassassa olevan vesimäärän ja kiviainekseen imeytyneen vesimäärän erotusta.

Vesi-sideainesuhde on betonimassan tehollisen vesimäärän ja sideaineen kokonaismäärän suhde.

Sementtimäärällä tarkoitetaan seosainekertoimella kerrotun sementin määrää.

Sementtimäärää laskettaessa betonin valmistuksen yhteydessä lisättävät seosaineet voidaan ottaa huomioon standardin SFS-EN 206 /5/ ja sen kansallisen soveltamisstandardin SFS 7022 /6/ mukaisia seosainekertoimia käyttäen. Tällöin sementtimäärä on sama kuin tehollisen sideaineen kokonaismäärä.

Tehollisella sideaineen kokonaismäärällä tarkoitetaan sementtimäärän ja seosainekertoimilla kerrottujen seosainemäärien yhteismäärää.

Vesi-sementtisuhde

- on betonimassan tehollisen vesimäärän ja sementtimäärän (massamäärien) suhde, kun betonin valmistuksen yhteydessä ei lisätä seosaineita.
- on betonimassan tehollisen vesimäärän ja tehollisen sideaineen kokonaismäärän (massamäärien) suhde, kun betonin valmistuksen yhteydessä lisätään seosaineita.

Vesi-sementtisuhdetta laskettaessa betonin valmistuksen yhteydessä lisättävät seosaineet otetaan huomioon standardin SFS-EN 206 /5/ ja sen kansallisen soveltamisstandardin SFS 7022 /6/ mukaisia aktiivisuuskertoimia käyttäen.

Seosainekertoimella tarkoitetaan seosaineiden aktiivisuutta kuvaavaa standardin SFS 7022 taulukon 2 mukaista kerrointa.

1 Yleistä

Sillan eri osilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty sillan rakennussuunnitelmaan Liikenneviraston ohjeen 25/2014-Eurokoodin soveltamisohje - Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 /1/ mukaisesti. Väyläympäristön muilta betonirakenteilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on esitetty myös em. ohjeessa.

Betonin pakkasenkestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkasenkestävyysluokuna P. Siltarakenteet jaotellaan pakkasenkestävyysluokkiin P20, P30, P50 ja P70. Betonin pakkasenkestävyys on sitä parempi mitä suurempi pakkasenkestävyysluku on.

Betonin pakkasenkestävyyttä säätelevät sen huokosrakenne ja ulkoiset rasitustekijät. Pakkasenkestävyyden kannalta hyvän huokosrakenteen muodostumiseen vaikuttavat eniten vesi-sideainesuhde, sideaineen laatu, ilmahuokosmäärä ja sen jakautuma sekä betonin jälkihoito.

Pakkasenkestävän betonin valmistuksessa käytetään Liikenneviraston asettamat vaatimukset täyttäviä menettelytapoja. Ohjeessa esitetään tuoreen betonin ominaisuuksiin perustuva menetelmä ja sen käytön edellyttämät betonin laatuvaatimukset, ennakkokokeet, betonin laadunvalvonta ja kelpoisuuden osoittaminen ja menettely, kun P-luku määritetään suoralla pakkaskokeella.

Ohjeen liitteessä 1 on esitetty silta- ja väyläympäristön rakenteiden betonin sementtimäärän ja vesi-sementtisuhteen laatuvaatimukset rakenneosittain eri rasitusluokkaryhmissä. Liitteessä 1 on esitetty myös siltojen suunnittelussa eri rasitusluokkaryhmissä käytettävät siltaosakohtaiset betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset betonin lujuuden, P-lukuvaatimuksen, betonipeitteen nimellisarvon ja betonipintojen suojauksen osalta ja suunnittelukäyttöikävaatimukset sekä vastaavasti väyläympäristön betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset.

2 Laatuvaatimukset

Pakkasenkestävän betonin on täytettävä rakennussuunnitelmassa esitetyt puristuslujuus- ja pakkasenkestävyysvaatimukset ja muut tämän ohjeen liitteessä 1 esitetyt rasitusluokkaryhmien edellyttämät betonin laatuvaatimukset.

Pakkasenkestävän betonin ennakkokokeet tulee tehdä tämän ohjeen kohdan 4.2 mukaisesti.

Lisäksi pakkasenkestävä betoni on suhteitettava jäljempänä annettujen vaatimusten mukaisesti sementtilaatujen, sideainemäärien, seosaineiden, lisäaineiden, kiviaineksen hienoainesmäärän ja vähimmäisilmamäärän suhteen.

Betoni tulee jälkihoitaa siten, että jälkihoitomenetelmällä saavutetaan vähintään 7 vuorokauden kosteajälkihoitoa vastaava taso.

3 Valmistus- ja suhteitusvaatimukset

Rakennussuunnitelman ja jäljempänä esitettyjen suhteitusohjeiden sallimissa rajoissa voidaan valita sellainen sideaineen, vesi-sideainesuhteen, ilmamäärän ja jälkihoidon yhdistelmä, että betonin mitattu ilmamäärä ja pakkasenkestävyysluku täyttävät asetetut vaatimukset.

Ilmamäärälle asetetaan kuitenkin minimivaatimus (Taulukko 1). Taulukon 1 arvot ovat 16 mm tai sitä suuremmalle kiviaineksen ylänimellisrajalle. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. Kun kiviaineksen ylänimellisrajat ovat 8 tai 12 mm, betonin vähimmäisilmamäärä saadaan lisäämällä taulukon lukuarvoihin P20-luokassa 1 %, P30-luokassa 2 % ja sekä P50- että P70-luokissa 3 %. Taulukossa 1 on annettu myös ohjeellinen ilmamäärän enimmäisarvo eri pakkasenkestävyysluokissa.

Liikennevirasto hyväksyy sementtien oletetut portlandsementti- ja seosaineosuudet ja antaa ohjeet sideaineiden yhteiskäytölle ja hyväksyy poikkeamisen jäljempänä esitetyistä suhteitusvaatimuksista. Sideaineella tarkoitetaan sementtiä ja betoniin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättäviä standardin SFS-EN 206 mukaisia II-luokan seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa. Sideaineen kokonaismäärä on sementin ja seosaineiden yhteismäärä. Tehollinen sideaineen kokonaismäärä on seosainekertoimilla (Taulukko 5) kerrotun sementin ja tämän ohjeen kohdassa 4.3 annetuilla kertoimilla kerrottujen seosaineiden yhteismäärä.

Sementtien seosainemäärinä ja seosaineiden seosainekertoimina voidaan käyttää Liikenneviraston erillisen hyväksynnän perusteella sementin valmistajan laatuinformaatiosta saatuja arvoja.

Sementtien kalkkikivipitoisuus saa olla enintään 20 %. Erikseen betoniin lisättävää kalkkikivifillieriä pidetään kiviaineksena.

Taulukko 1 Betonimassan vähimmäisilmamäärävaatimukset ja ohjeellinen enimmäisilmamäärä eri pakkasenkestävyysluokissa, kun kiviaineksen ylänimellisraja ≥ 16 mm.

Vesi-sideainesuhde	Ilmamäärän vähimmäisarvo ja ohjeellinen ilmamäärän enimmäisarvo eri pakkasenkestävyysluokissa			
	P20	P30	P50	P70
0,60	5–7 %	5–7 %	-	-
0,50	3–5 %	4–6 %	6–8 %	-
0,40	2–4 %	3–5 %	4–7 %	(7–9 %) ¹⁾
0,32	2–4 %	2–4 %	2–5 %	3–5 %
<0,32	ei vaat.	ei vaat.	ei vaat.	ei vaat.

¹⁾ Vain interpolointia varten

Betoni suhteitetaan siten, että vaadittu pakkasenkestävyysluku ja ilmamäärä saavutetaan. Tämä todetaan ennakkokokein. Suhteituksessa noudatetaan seuraavia ohjeita:

- Betonissa käytetään sideainetta vähintään 300 kg/m³. Sideaineen kokonaismäärän on oltava vähintään 350 kg/m³, jos erillisjauhetun masuunikuonan lisäksi portlandsementtiin ylittää 35 % sideaineen kokonaismäärästä.

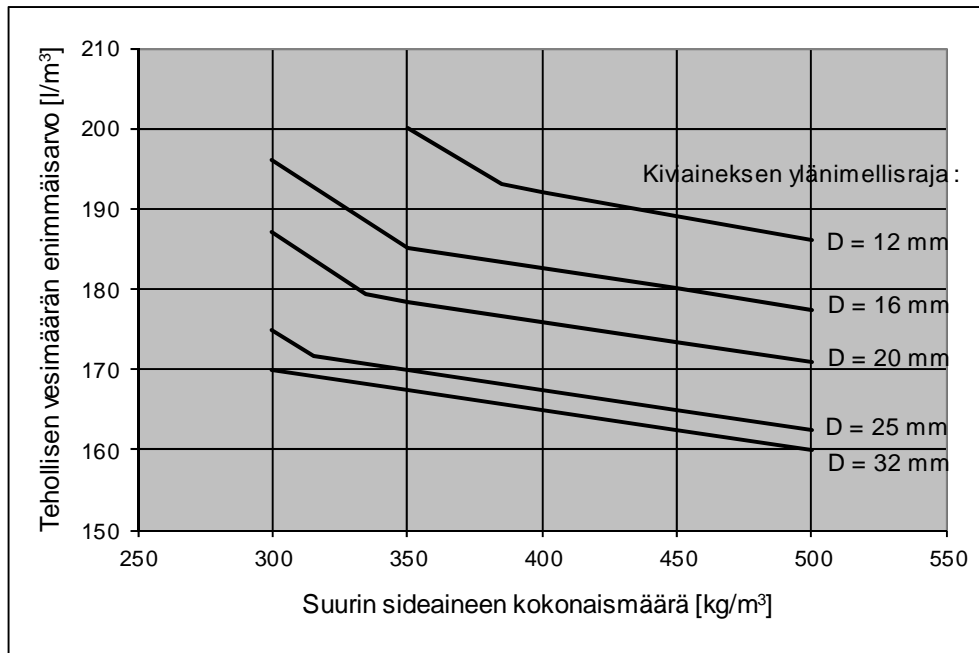
- Jos sulfaatinkestävää portlandsementtiä CEM I SR 0 tai CEM I SR 3 käytetään kloridikorroosiorasitetuissa rakenneosissa kuten meriveden vaihtelualueen ja roiskeiden alaisissa rakenteissa, reunapalkeissa ja risteys- ja alikulkusiltojen pila-reissa, lisätään betonin tiiviyden parantamiseksi betonimassaan silikaa 3...5 % sideaineen määrästä.
- Silikajauheen määrä sideaineen kokonaismäärästä saa olla enintään 5 %. Jos vesi-sideainesuhde alittaa arvon 0,35, saa silikajauheen määrä olla kuitenkin enintään 7 % sideaineen kokonaismäärästä. Mikäli käytetään sementtiä CEM II/A-D, tulee varmistaa, ettei sementti sisällä em. enimmäisarvoja ylittäviä määriä silikaa, tai sitten betoniin on lisättävä tarvittava määrä sementtiä CEM I.
- Erikseen lisättävän lehtotuhkan tai siihen verrattavan muun tuhkalaadun kokonaismäärä sementin sisältämä tuhkamäärä mukaan lukien saa olla enintään 25 % sideaineen kokonaismäärästä.
- Erillisjauhetun masuunikuonan enimmäismäärä ei saa ylittää 50 % sideaineen kokonaismäärästä. Jos sementti sisältää muita seosaineita, masuunikuonan määrää vähennetään muiden seosaineiden määrällä.
- Kokonaishienoainesmäärän tulee täyttää ainakin toinen seuraavista vaatimuksista:
 - A) Kokonaishienoainesmäärä (sideaine + seulan 0,25 mm läpäisevä kiviaines) saa olla korkeintaan 550 kg/m³, kun vesi-sideainesuhde on $\geq 0,45$ ja enintään 600 kg/m³, kun vesi-sideainesuhde on $\leq 0,35$. Väliarvot voidaan interpoloida suoraviivaisesti.
 - B) Kokonaishienoainesmäärän määrittämisessä kiviaineksen osuutta ei tarvitse ottaa huomioon, jos suhteituksen tehollinen vesimäärä ei ylitä taulukon 2 tai kuvan 1 mukaista enimmäisvesimäärää. Väliarvot suurimman raekoon väli-fraktiolle voidaan interpoloida suoraviivaisesti.

Taulukko 2. Tehollisen vesimäärän enimmäisarvo riippuen betonin kiviaineksen ylänimellisrajasta D ja sideaineen kokonaismäärästä.

Sideaineen kokonaismäärä [kg/m ³]	Tehollisen vesimäärän enimmäisarvo [l/m ³]			
	D = 12 mm	D = 16 mm	D = 25 mm	D = 32 mm
300		196	175	170
350	200	185	170	168
400	192	183	168	165
450	189	180	165	163
500	186	178	163	160

- Betoni suhteitetaan esim. hidastetta käyttäen siten, että se voidaan tarvittaessa jälkitäryttää.
- Betonin valmistuksessa on käytettävä huokostinta, jos betonille on asetettu il-mamäärävaatimus.

Muilta osin betonin ja sen osa-aineiden sekä betonimassan valmistuksen tulee täyt-tää Liikenneviraston asettamat laatuvaatimukset.



Kuva 1 Suhteituksen suurimman tehollisen vesimäärän ja sideaineen kokonaismäärän välinen riippuvuus, kun kiviaineuksen ylämellisrajat ovat 32, 25, 20, 16 ja 12 mm.

4 Laadunvalvonta

4.1 Yleistä

Pakkaskestävän betonin valmistuksen laatua valvotaan julkaisun by65 Betoninormit 2016 /3/ kohdan 4 ja standardien SFS-EN 206 /5/ ja SFS 7022 /6/ mukaisesti.

Ennakkokokeet tehdään tämän ohjeen kohdan 4.2 mukaisesti.

Betonimassan vaaditut ominaisuudet selvitetään työn aikana mittaamalla ilmamäärä (ks. taulukko 1) ja laskemalla P-luku suhteitustietojen ja jälkihoitoajan perusteella (kaava 1, kohta 4.3).

P-lukubetonin laadun varmistamisessa ilmamäärä ja ilman pysyvyys ovat oleelliset. Ilmamäärä mitataan standardin SFS-EN 12350-7 mukaisella painemenetelmällä.

Mittauksia tehdään kuormista 1–5 jokaisesta kuormasta ja tämän jälkeen joka kymmenennestä kuormasta. Mittausten kokonaismäärän on oltava vähintään 6. Mittaukset tehdään mahdollisimman myöhäisessä vaiheessa ennen massan sijoittamista muottiin, esim. betonipumpun letkun päästä. Mitattu ilmamäärä ei saa ylittää suhteituksen mukaista ilmamäärää enempää kuin 3 %-yksikköä.

Ilmamäärämittausten tulosten keskiarvon on täytettävä asetettu vaatimus. Keskiarvoon lasketaan kaikki, myös alittavat mittaustulokset. Yksi kolmesta peräkkäisestä mittaustuloksesta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %. Jos jokin mittaustulos alittaa vaatimuksen yli 20 %, mitataan ilmamäärä tämän jälkeen kyseisestä kuormasta vielä kaksi kertaa. Jos molemmat tulokset täyttävät vaatimuksen, katsotaan kyseinen kuorma kelvolliseksi.

Elementtiteollisuudessa valmistettavien P-lukubetonien ilmamäärä mitataan ensimmäisestä annoksesta ja sen jälkeen vähintään joka kolmannesta annoksesta kuitenkin siten, että arvosteluerää kohden tulee vähintään 6 mittaustulosta.

Jos ilmamäärämittausten keskiarvo ylittää suhteituksen mukaisen ilmamäärän yli 2 %-yksikköä, tulee ilmamäärän vaikutus betonin puristuslujuuteen selvittää aina rakenteesta poratuista koekappaleista.

4.2 Ennakkokokeet

Ennakkokokeilla varmistetaan betonimassan vaaditut ominaisuudet ja käytettävien lisäaineiden yhteensopivuus sekä lisäaineiden annostelujärjestys ja annostelutapa.

Ennakkokokeet tehdään aina, kun P-luku määritetään joko kohdan 4.3 mukaisesti suhteitustietojen ja mitatun ilmamäärän avulla tai kohdan 4.4 mukaisesti suoran pakkasluokituksen avulla.

Ennakkokokeilla tutkitaan betonin puristuslujuus, tiheys, ilmamäärä ja ne tekijät, joiden avulla pakkasenkestävyys lasketaan. Kiviaineksen kosteuspitoisuus määritetään ennakkokoemassaan käytetyistä kaikista lajitteista vähintään kahtena erillismäärittäytksenä. Lisäksi kiviaineksen absorptio tulee määrittää tehollisen vesisideainesuhteen laskemiseksi. Ilmamäärä mitataan heti sekoituksen jälkeen ja tunnin kuluttua sekoituksesta. Huokosteen annostus tarkistetaan vielä välittömästi ennen sekoitusta. Tarvittaessa tutkitaan myös ilmamäärän pysyvyyttä betonin kuljetuksen ja betonoinnin aikana.

Itsetiivistyvää betonia käytettäessä tulee ennakkokokein aina selvittää kuljetusmatkan, lämpötilan, valumenetelmän ja rakennuspaikalla tehtävän massan notkeuden korjaamisen vaikutus tuoreen betonin ilmamäärään, ilman pysyvyyteen ja jakaantumiseen valetussa ja jälkihoidetussa betonissa.

Ennakkokokeiden yhteydessä selvitetään hidasteen ja nesteytteen vaikutusaika betonointiolosuhteissa. Tarvittaessa tutkitaan myös lisäaineiden vaikutuksia eri lämpötiloissa.

Huokostuksen laadun varmistamiseksi kovettuneessa betonissa ennakkokokeet tehdään kovettuneesta betonista määrittämällä joko

- optisesti huokosjako tai
- standardin CEN/TS 12390-9 mukainen pakkassuolarapautuma.

Jos ennakkokoe tehdään määrittämällä betonista huokosjako, tulee tuloksen täyttää taulukossa 3 esitetyt vaatimukset. Käytettäessä standardin CEN/TS 12390-9 mukaisista laattakoetta tuloksen tulee täyttää taulukon 4 vaatimukset.

Taulukko 3. Huokosjakovaatimukset eri P-lukutasoilla ja vesi-sementtisuhteen arvoilla.

Vesi-sementtisuhte	Huokosjakovaatimus eri P-lukutasoilla [mm]	
	P < 50	P ≥ 50
> 0,40	≤ 0,25	≤ 0,23
≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,27

Ennakkokoe katsotaan pakkasenkestävyyden osalta hyväksytyksi, jos massan koostumuksen mukaan kohdan 4.3 mukaisesti laskettu P-luku täyttää vaatimuksen ja kun kovettuneen betonin ennakkokokeen tulos täyttää joko edellä esitetyn huokosjakovaatimuksen tai taulukon 4 mukaisen vaatimuksen kerrottuna kohdan 4.3 kaavan 3 mukaisesti lasketulla kertoimella k_{sid} .

Kovettuneen betonin ennakkokokeen tulos ei saa olla vuotta vanhempi.

Taulukko 4. Sallitut rapautumat eri P-luvuilla käytettäessä standardin CEN/TS 12390-9 mukaista laattakoetta.

P-luku	56 kierroksen CEN/TS 12390-9 -kokeessa sallittu rapautuma [g/m ²]				
	CEM I	Sementin kalkkikivipitoisuus %			
		5	10	15	20
P20	900	900	810	700	590
P30	500	500	440	390	330
P50	250	250	210	180	150
P70	150	150	130	110	90

1) Taulukossa rapautumien arvot ovat betoneille, joissa sideaineena käytetään joko portlandsementtiä CEM I tai kalkkikiveä sisältävää sementtiä. Sementtien sisältäessä muita seosaineita taulukon arvot kerrotaan kaavan 3 mukaisella sideainetekijällä k_{sid} .

4.3 P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja työmaalla mitatun ilmamäärän perusteella

P-luku määritetään suhteitustietojen, jälkihoidon ja työmaalla mitattujen ilmamäärien perusteella kaavan 1 avulla.

$$P = \frac{46 \cdot k_{jh} \cdot k_{sid}}{\frac{10 \cdot (WAS)^{1,2}}{\sqrt{a}} - 1} \quad (1)$$

jossa k_{jh} on jälkihoitotekijä (kaava 2)
 t_{jh} on jälkihoitoaika (vrk)
 k_{sid} on sideainetekijä (kaava 3)
 WAS on redusoitu vesi-ilmasideainesuhde (kaava 5)
 a on ilmamäärä (%).

$$k_{jh} = 0,85 + 0,17 \cdot \text{LOG}_{10}(t_{jh}) \quad (2)$$

$$k_{sid} = 1 - \left(\frac{Q_{vesi}}{Q_{sid}} \right)^{1,5} \times (0,05 \times sil + 0,02 \times kuona + 0,01 \times lt) \quad (3)$$

jossa sil on silikan, kuona masuunikuonan ja lt lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä (%)
 Q_{vesi} on tehollinen vesimäärä (kg/m³)
 Q_{sid} on tehollinen sideaineen kokonaismäärä (kg/m³).

Q_{sid} lasketaan kaavasta

$$Q_{sid} = Q_{sem} + 2,0 \cdot Q_{sil} + 0,8 \cdot Q_{kuona} + 0,4 \cdot Q_{lt} \quad (4)$$

jossa Q_{sem} on seosainekertoimella k_A (lasketaan taulukon 5 kertoimilla) kerrottu sementin määrä (kg/m^3). Portlandsementillä (CEM I) k_A on 1.
 Q_{sil} on lisätyn silikajauheen määrä (kg/m^3)
 Q_{kuona} on lisätyn masuunikuonan määrä (kg/m^3)
 Q_{lt} on lisätyn lentotuhkan määrä (kg/m^3)

Redusoitu vesi-ilmasideainesuhde WAS lasketaan kaavasta

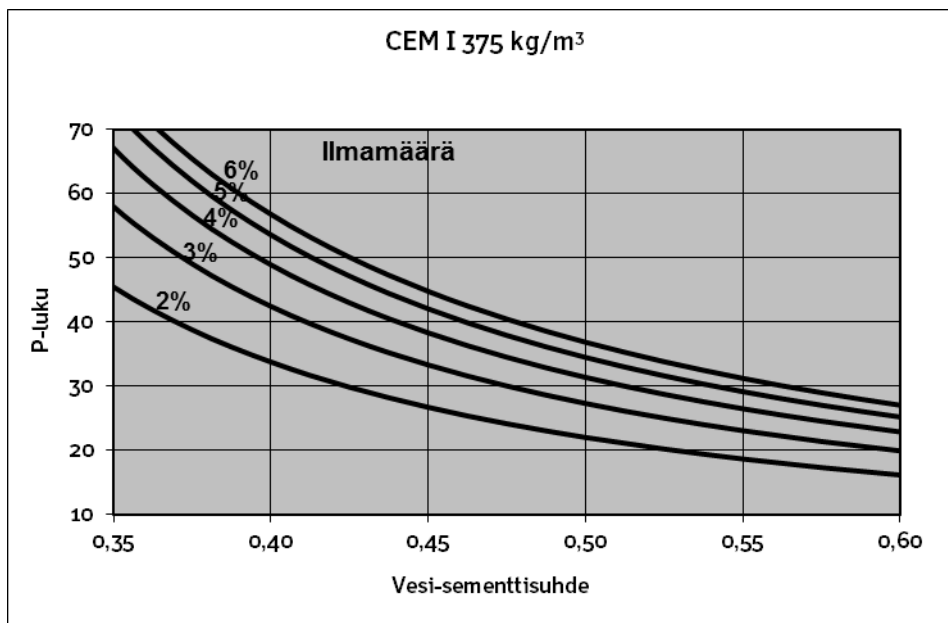
$$WAS = \frac{Q_{vesi} + 10 \cdot (a - 2)}{Q_{sid}} \quad (5)$$

jossa a on ilmamäärä (%).

P-luvun laskennassa käytetään seosaineille taulukon 5 mukaisia aktiivisuuskertoimia.

Taulukko 5. Seosaineiden seosainekertoimet P-lukua laskettaessa.

Seosaine	Seosainekerroin
Masuunikuona (II-luokan seosaine)	0,8 1,0 standardin SFS-EN 206:n mukaisissa XA-rasitusluokissa
Lentotuhka (II-luokan seosaine)	0,4 lentotuhka-sementtisuhte $\leq 0,33$ 0,0 lentotuhka-sementtisuhte $> 0,33$
Silika (II-luokan seosaine)	2,0 vesi-sementtisuhte $\leq 0,45$ 1,0 vesi -sementtisuhte $> 0,45$
(I-luokan seosaine)	0,0



Kuva 2. Esimerkki kaavalla 1 lasketun P-luvun riippuvuudesta vesi-sementtisuhteesta ja ilmamäärästä sementtitaadulla CEM I sementtimäärän ollessa $375 kg/m^3$. Jälkihoitoaika 7 vuorokautta.

Esimerkki seosainekertoimen k_A ja Q_{sem} :n laskemisesta:

Jos portlandseossementin (SFS-EN 197-1) CEM II/A-M(S-LL) seosainepitoisuudet ovat; kalkkikivi 8 % ($k_{A \text{ kalkkikivi}} = 0$) ja kuona 7 % ($k_{A \text{ kuona}} = 0,8$).

Laskelmissa nimittäjäksi tulee klinkkerin osuus (95 %) portlandsementissä kerrottuna klinkkerin aktiivisuuskertoimella 1,0, eli $0,95 \times 1,0 = 0,95$

$$k_A = (0,08 \times k_{A \text{ kalkkikivi}} + 0,07 \times k_{A \text{ kuona}} + 0,85 \times k_{A \text{ klinkkeri}}) / 0,95 = (0,08 \times 0,0 + 0,07 \times 0,8 + 0,85 \times 1,0) / 0,95 = 0,95$$

Jos sementin määrä on 320 kg/m^3 , on $Q_{\text{sem}} = 0,95 \times 320 \text{ kg/m}^3 = 304 \text{ kg/m}^3$.

4.4 P-luvun määrittäminen suoralla pakkas- kokeella

P-luku voidaan määrittää myös standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkasuolakokeen ja suhteitustietojen perusteella kaavan 6 avulla.

$$P = k_{\text{sid}} \cdot \frac{3000}{(m_{56})^{0,74}} \quad (6)$$

jossa k_{sid} on sideainekerroin (kaava 3)
 m_{56} on standardin CEN/TS 12390-9 mukaisen 56 kierroksen pakkasuolakokeen rapautuma [g/m^2].

Koska sideainekertoimessa k_{sid} ei oteta huomioon kalkkifilleriä sementin seosaineena, kalkkikiveä sisältävillä sementeillä sideainekerrointa korjataan laskennallisten P-lukujen lisäkertoimella $P_{\text{red}}/P_{K_{\text{sid}}=1}$. P_{red} lasketaan olettaen, että sementin kalkkikiviosuus ei toimi sementtinä ol- lenkaan ja $P_{K_{\text{sid}}=1}$ lasketaan olettaen myös kalkkikiven toimivan sementtinä täysimääräisenä.

5 Kelpoisuuden osoittaminen

P-luku lasketaan suhteitustietojen, jälkihoitoajan ja ilmamäärän perusteella käyttäen kohdassa 4.3 esitettyä kaavaa (1) tai kohdan 4.4 mukaisesti. P-lukujen keskiarvon on täytettävä suunnitelmassa asetettu vaatimus. Yksi kolmesta peräkkäisestä P-luvusta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %.

Kovettuneen betonin kelpoisuutta pakkasenkestävyyden suhteen ei tarvitse erikseen osoittaa, jos betonimassa on todettu tältä osin kelvolliseksi. Tällöin edellytetään kuitenkin, että puristuslujuus on ennakkokokeiden mukainen, massa on tiivistynyt hyvin ja betoni on suojattu ja jälkihoidettu hyväksyttävällä tavalla.

Elleivät kaikki edellä luetellut ehdot täyty, tilaaja harkitsee tapaus tapaukselta täydentävien tutkimusten tarpeellisuuden. Täydentävät tutkimukset tehdään Liikenneviraston ohjeiden mukaan rakenteesta irrotetuista näytteistä. Täydentävistä tutkimuksista laaditaan hyväksyttävä suunnitelma julkaisun by 65 Betoninormit 2016 kohdan 5.2.4 mukaisesti. Poranäytteiden paikat valitaan siten, että tutkittavan rakenteen osan betonista saadaan mahdollisimman kattava ja oikea kuva.

Täydentävän tutkimuksen perusteella määritettyjen P-lukujen keskiarvon on täytettävä suunnitelmassa asetettu vaatimus. Korkeintaan yksi kolmesta peräkkäisestä tuloksesta saa alittaa vaatimuksen enintään 20 %.

6 Dokumentointi

Betonin valmistuksesta rakennuspaikalla tai valmisbetonilaitoksessa tehdään julkaisun by 65 Betoninormit 2016 kohdan 4.1 mukaiset muistiinpanot.

Työmaalla tehdyt muistiinpanot luovutetaan tilaajalle. Valmisbetonilaitoksella tehdyt muistiinpanot sekä laadunvalvontakokeiden tulokset säilytetään tilaajan mahdollisia tarkastuksia varten vähintään kymmenen vuotta.

Kirjallisuusluettelo

/1/ Eurokoodin soveltamisohje – Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. LO 25/2014.

/2/ Sementtistandardi SFS-EN 197-1 Sementti – Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.

/3/ by65 Betoninormit 2016. Suomen Betoniyhdistys r.y.

/4/ InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat, Rakennustieto Oy, RT 14-10920. Lisäksi edellistä täydentävät tai päivittävät ohjeet: www.rts.fi/infraryl – InfraRYL ylläpito.

/5/ SFS-EN 206. 2014. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

/6/ SFS 7022 Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

1 Betonin laatuvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä

1.1 Rasitusluokkaryhmät

Rasitusluokkaryhmät ovat, ellei taulukoissa 1a ja 1b toisin ilmoiteta:

Rasitusluokkaryhmä R1: Päällysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (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 (talvihoitoluokka Ib, TIb tai II) 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.

1.2 Siltarakenteiden betonin laatuvaatimukset eri rasiusluokkaryhmissä

Taulukko 1a Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasiusluokkaryhmissä, päällysrakenne ja reunapalkit.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasiusluokkaryhmä	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betoniointojen suojaus	
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesti-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nime-lisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)			
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro20	R1	C30/37	P30	300	0,50	40	tr	100		
							50	jr			
		R2	C30/37	P20	300	0,50		40	tr	100	
								50	jr		
		R4	C30/37	P20	300	0,55		40	tr	100	
								50	jr		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro21	R1	C30/37	P30	300	0,50	45	tr	100	3)	
							55	jr			
		R2	C30/37	P20	300	0,50		40	tr	100	3)
								50	jr		
		R3	C30/37	P30	300	0,45		40	tr	100	3)
								50	jr		
Päällysrakenteen ja maatumkien reunapalkit. Suojabetoni; ei 4)	Ro22	R1	C35/45	P50	320	0,45	45	tr	50	4)	
							55	jr			
		R2	C30/37	P50	300	0,50		40	tr	50	4)
								50	jr		
		R3	C35/45	P30	320	0,45		45	tr	50	4)
								55	jr		
R4	C30/37	P30	300	0,55		40	tr	70			
						50	jr				
Siirtymälaatat	Ro23	R1	C30/37	P50	300	0,50	40 (5	tr	50		
							50	jr			
		R3	C30/37	P30	300	0,50		40 (5	tr	50	
								50	jr		
		R4	C30/37	P30	300	0,55		40 (5	tr	70	
								50	jr		

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite, ruostumattomia raudoitteita käytettäessä betonipeitteet sillan rakennussuunnitelman mukaan.
- 2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta. Päällysrakenteella palkkien ja kansilaatan ajosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään C55/67 ja P-luvun ollessa vähintään P50 rakennetta ei tarvitse suojata.
- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret, TIEH 2000016-05, mukaisten reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päällysrakenteenrasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.
- 5) Maata vastaan valetussa siirtymälaatussa betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään 50 mm.

Taulukko 1b. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasiusluokkaryhmissä, alusrakenne.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasiusluokaryhmä	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
			Lujuusluokka 6)	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimelisarvo [mm] 6)	Rauditusrypy 1)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m alas	Ro01	R4	C25/30	-	230	-	40	tr	100	
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m ylös	Ro02	R4	C25/30	P20	300	0,55	40	tr	100	
Peruslaatta yleensä	Ro03	R4	C25/30	-	230	-	50/100 (25) (7)	tr	100	
Peruslaatta vedessä	Ro04	R4	C30/37	-	230	-	50/100 (25) (7)	tr	100	
Peruslaatta meressä	Ro05	R4	C30/37	-	320	0,45	60/100 (40) (7)	tr	100	
Rengaskehän peruslaatta ja pienen peittosyvyyden (< 0,7 m) peruslaatat	Ro06	R1	C30/37	P50	300	0,50	50/100 (35) (7)	tr	100	
		R2	C30/37	P30	300	0,50	50/100 (35) (7)	tr	100	
		R4	C25/30	P20	300	0,55	50/100 (25) (7)	tr	100	
Peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella 2)	Ro07	R1	C30/37	P50	300	0,50	50/100 (35) (7)	tr	100	
		R2	C30/37	P30	300	0,50	50/100 (35) (7)	tr	100	
Peruslaatta (peittosyvyys 0,7-1,5 m) suolasumurasituksen ulottuma-alueella 2) tai kloridipitoisten hulevesien vaikutusalueella	Ro08	R1 R2	C30/37	-	300	0,50	50/100 (35) (7)	tr	100	
Maa- ja välituet yleensä 2)	Ro10	R1	C30/37	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	
		R2 R4	C30/37	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Suolasumurasitetut maa- ja välituet 2)	Ro11	R1	C35/45	P50	320	0,45	45 55	tr jr	100	3)
		R2	C30/37	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	3)
		R3	C30/37	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Maatukien ja päällysrakenteen siipimuurit ja siirtymäläattojen yläpuoliset osat (ulkopinta maatukien mukaan)	Ro12	R1	C30/37	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	4)
		R2	C30/37	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro13	R4	C30/37	-	300	0,50	50 60	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro14	R4	C35/45	P50	320	0,45	50 60	tr jr	100	5)
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro15	R4	C30/37	-	320	0,45	60 70	tr jr	100	
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro16	R4	C35/45	P70	320	0,45	60 70	tr jr	100	5)

- 1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite, ruostumattomia raudoitteita käytettäessä betonipeitteet sillan rakennussuunnitelman mukaan.
- 2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta. Päälysrakenteella palkkien ja kansilaatan ajo-suunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret, TIEH 2000007-03, mukaisia kuorirakenteita. Betonisen kuorirakenteen rasitusluokat Ro11 mukaan.
- 4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää maata vasten olevien kloridirasitettujen pintojen suojausta.
- 5) Suunnittelukäyttöikä edellyttää julkaisun Siltapilareiden kuoret, TIEH 2000007-03, mukaisen tai muun vastaavan suojaverhouksen käyttöä vähintään tasolle HW + 1 m. Meressä tasolle HW + 2 m. Avomerirakenteissa ulottuma arvioitava tapauskohtaisesti. Betonisen kuorirakenteen P-lukuvaatimus P70. Rasitusluokat Ro14/16 mukaan. Käytettäessä sillan osassa Ro14 betonia C40/50, P70, voidaan suojaverhouksesta luopua. Käytettäessä sillan osassa Ro16 betonia C40/50, P50 ja lisäämällä betonipeitettä 50 mm, voidaan suojaverhouksesta luopua
- 6) Betonipeitteen nimellisarvo vedenalaisessa valussa on 150 mm. Vaadittaessa huuhtoutumisen estävän lisäaineen käyttöä betonin suhteituksessa, voidaan teräsputken sisävalussa käyttää 50 mm:ä betonipeitteen nimellisarvona. Betonin lujuusluokaksi valitaan vedenalaisessa valussa vähintään 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.
- 7) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Todellisena betonipeitteenä halkeamalaskennassa ei käytetä suurempaa arvoa kuin 50 mm.

1.3 Väyläympäristön rakenteiden betonin laatuvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä

Taulukko 2. Väyläympäristön betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä. Taulukko ei sisällä valaisinpylväiden, opastustaulujen ja liikennemerkkien jalustojen laatuvaatimuksia.

Rakenneosa	Rakenneosan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] (vähimmäisarvo)	Raudoitustyyppi 1)	
Paaluhatut, paalulaatat ja niihin liittyvät siirtymälaatat yleensä 4)	Ro30	R4	C25/30 7)	-	230	-	50/100 (25) (3)	tr	100
							50/100 (35) (3)	jr	
Suolaveden rasittamat 2) paaluhatut, paalulaatat ja niihin liittyvät siirtymälaatat 4)	Ro31	R1 R2	C30/37	-	300	0,50	50/100 (35) (3)	tr	100
							55/100 (45) (3)	jr	
Suolaveden rasittama paalulaatan yläpinta, johon ei tehdä vedenpoistoa (vaakasuora) 4)	Ro32	R1 R2	C35/45	-	320	0,45	60/100 (40) (3)	tr	100
							65/100 (50) (3)	jr	
Väyläympäristön varusteet 5) yleensä	Ro40	R4	C30/37	P25	300	0,55	35 (6)	tr	50
							45 (6)	jr	
Suolasumurasitetut 2) tieympäristön varusteet 5)	Ro41	R1	C35/45	P40	320	0,45	50 (6)	tr	50
							60 (6)	jr	
		R2	C30/37	P25	300	0,55	45 (6)	tr	50
							55 (6)	jr	
		R3	C30/37	P25	300	0,50	40 (6)	tr	50
							50 (6)	jr	
Väyläympäristön varusteiden peruslaatat 5) yleensä	Ro50	R4	C25/30	-	230	-	30/80 (20) (3)	tr	50
Tieympäristön varusteiden 5) peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella 2)	Ro51	R1	C30/37	P40	300	0,55	40/90 (30) (3)	tr	50
		R2							
Väyläympäristön varusteiden 5) sokkelit ja pilariperustukset yleensä	Ro52	R4	C30/37	P25	300	0,55	35 (3)	tr	50
								45 (6)	
Suolasumurasitetut 2) tieympäristön varusteiden 5) sokkelit ja pilariperustukset	Ro53	R1	C35/45	P40	320	0,45	50 (6)	tr	50
							60 (6)	jr	
		R2	C30/37	P25	300	0,55	40 (6)	tr	50
							50 (6)	jr	
		R3	C35/45	P25	300	0,45	40 (6)	tr	50
							50 (6)	jr	

- 1) j_r = jänneraudoite, t_r = tavanomainen raudoite, ruostumattomia raudoitteita käytettäessä betonipeitteet sillan rakennussuunnitelman mukaan.
- 2) Suolarasituksen oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Se vaikuttaa myös tien sekä pientareen ja sivuluiskien alla oleviin rakenteisiin. Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.
- 3) Muottia vastaan paikalla valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Suluissa on halkeamalaskennassa käytettävä betonipeitteen vähimmäisarvo tavanomaiselle raudoitteelle. Mikäli maata vasten käytetään muovia tai suodatinkangasta voidaan käyttää muottia vasten olevaa nimellisarvoa ja vähimmäisarvoa kasvattamalla niitä 10 mm. Tällöin valualustan tasaisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota.
- 4) Annettuja arvoja voidaan käyttää kun rakenteen päällä olevan penkereen korkeus on vähintään 1,5 m. Sitä pienemmillä pengerkorkeuden arvoilla rakenteet on suunniteltava siltarakenteena.
- 5) Meluesteet, kaiteet, tukimuurit, aidat ym.
- 6) Nimellisarvo vaatimusta voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonipeitteen sallittu mittapoikkeaman arvo, joka on tällöin myös esitettävä suunnitelmassa, on 5 mm.
- 7) Vähintään C30/37 mikäli betonipeitteen nimellisarvo on alle 50 mm.

ISSN-L 1798-663X
ISSN 1798-6648
ISBN 978-952-317-297-5
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

Tämä asiakirja on allekirjoitettu

Lista allekirjoittajista

Allekirjoittaja

Todennus