

Siltabetonien P-lukumenettely

Siltabetonien P-lukumenettely

Toteuttamisvaiheen ohjaus

Tiehallinto

Helsinki 2008

Verkkójulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/sillat)

ISBN	978-952-221-024-1
TIEH	TIEH 2200054-v-08

TIEHALLINTO
Keskushallinto
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0204 22 11

Vastaanottaja
Tiepiirit

Säädösperusta
Maantielaki 109 §

Kohdistuvuus
Tiehallinto

Korvaa/muuttaa
Siltabetonien P-lukumenettely.
Versio 12/2007. TIEH 3200942-v
Voimassa
10.6.2008 - toistaiseksi

Asiasanat
betoni, pakkasenkestävyys, testaus, laatuvaatimukset, sillanrakennus, hankinta

Siltabetonien P-lukumenettely, TIEH 2200054-v-08

Siltabetonien P-lukumenettely julkaisu on tekninen asiakirja, jota käytetään siltojen ja vastaavien rakenteiden rakentamisessa.

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

Julkaisun liitteissä esitetään siltarakenteiden ja muiden tieympäristön betoni-rakenteiden betonin laatuvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä.

Yksikön päällikkö
Tekniset palvelut


Matti Piispanen

Kehittämispäällikkö


Jouko Lämsä

LISÄTIETOJA

Ossi Räsänen
Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut
Puh. 0204 22 2636

ESIPUHE

Julkaisussa esitetään Tiehallinnon käytössä oleva pakkasenkestävyyslukumenettely.

Julkaisu sisältää laatuvaatimukset, laadunvalvonnan ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisen menettelytavat pakkasenkestävän betonin valmistamiseksi.

P-lukumenettely perustuu kahden vuosikymmenen aikana tehtyjen laboratorio- ja kenttäkokeiden antamiin pakkasenkestävyyskokeiden tuloksiin. Menettelyssä on otettu huomioon betonitekniikan lisätutkimuksien mukanaan tuomat tarkennukset ja eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunut kehitys. Julkaisun merkinnöissä on pyritty noudattamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 merkintöjä.

Julkaisu sisältää myös itsetiivistyvän betonin käytön edellyttämät laadunvalvontamenettelyt. Julkaisun liitteissä on esitetty silta- ja tieympäristön rakenteiden betonin sementtimäärän ja vesi-sementtisuhteen laatuvaatimukset rakenneosittain eri rasitusluokkaryhmissä ja myös em. rakenteiden suunnittelussa eri rasitusluokkaryhmissä käytettävät betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset ja suunnittelukäyttöikävaatimukset.

Julkaisun laadintaa on ohjannut DI Ossi Räsänen (Tiehallinto) ja julkaisun on kirjoittanut TkT Seppo Matala (Matala Consulting).

Helsingissä kesäkuussa 2008

Tiehallinto
Asiantuntijapalvelut

Sisältö

1	YLEISTÄ	9
2	LAATUVAATIMUKSET	9
3	VALMISTUS- JA SUHTEITUSVAATIMUKSET	10
4	LAADUNVALVONTA	12
4.1	Yleistä	12
4.2	Ennakkokokeet	13
4.3	P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja mitatun ilmamäärän perusteella	14
4.4	P-luvun määrittäminen suoralla pakkaskokeella	16
5	VAATIMUSTENMUKAISUUDEN OSOITTAMINEN	16
6	DOKUMENTOINTI	17
7	KIRJALLISUUSLUETTELO	17
8	LIITTEET	17

Termiluettelo

Tässä julkaisussa käytetään seuraavia termejä:

Sideaineella tarkoitetaan sementtiä (SFS-EN 197-1+A1) ja betoniin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättäviä seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa.

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

Sideaineen kokonaismäärää laskettaessa ei sementin eikä seosainemääriä kerrota aktiivisuuskertoimilla.

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

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

Sementtimäärällä tarkoitetaan aktiivisuuskertoimella kerrotun sementin määrää.

Sementtimäärää laskettaessa betonin valmistuksen yhteydessä lisättävät seosaineet voidaan ottaa huomioon standardin SFS-EN 206-1:n /6/ ja sen kansallisen liitteen (esitetty RakMK B4:n liitteessä 3) mukaisia aktiivisuuskertoimia käyttäen. Tällöin sementtimäärä on sama kuin tehollisen sideaineen kokonaismäärä.

Tehollisella sideaineen kokonaismäärällä tarkoitetaan sementtimäärän ja aktiivisuuskertoimilla 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 206-1:n /6/ ja sen kansallisen liitteen (esitetty RakMK B4:n liitteessä 3) mukaisia aktiivisuuskertoimia käyttäen.

1 YLEISTÄ

Sillan eri osilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty sillan rakennussuunnitelmaan Betonirakenneohjeen /1/ mukaisesti. Tieympäristön muilta betonirakenteilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty Sillansuunnittelun täydentävissä ohjeissa /5/. Betonin pakkasenkestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkasenkestävyysluokana 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 Tiehallinnon käyttöönissä hyväksymiä menettelytapoja. Julkaisussa esitetään tuoreen betonin ominaisuuksiin perustuva menetelmä ja sen käytön edellyttämät betonin laatuvaatimukset, ennakkokokeet, betonin laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden osoittaminen ja menettely, kun P-luku määritetään suoralla pakkas-kokeella.

Julkaisun kaavat on tehty vastaamaan eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunutta kehitystä, jonka seurauksena mm. kiviaineksen absorptio tulee ottaa huomioon betonin vesimäärää laskettaessa ja siten käytetään tehollista vesimäärää. Julkaisun merkinnöissä on pyritty noudattamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 merkintöjä.

Tähän julkaisuun on sisällytetty myös itsetiivistyvän betonin käytön edellyttämät laadunvalvontamenettelyt.

Julkaisun liitteissä on esitetty silta- ja tieympäristön rakenteiden betonin sementtimäärän ja vesi-sementtisuhteen laatuvaatimukset rakenneosittain eri rasitusluokkaryhmissä. Liitteissä on esitetty myös siltojen suunnittelussa eri rasitusluokkaryhmissä käytettävät siltaosakohtaiset betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset betonin lujuuden, P-lukuvaatimuksen, betonipeitteen nimellisarvon ja betonipintojen suojauksen osalta ja suunnittelukäyttöikävaatimukset (Liite 1) sekä vastaavasti tieympäristön betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset (Liite 2).

2 LAATUVAATIMUKSET

Pakkasenkestävän betonin on täytettävä rakennussuunnitelmassa esitetyt puristuslujuus- ja pakkasenkestävyysvaatimukset ja muut tämän julkaisun liitteessä 1 esitetyt rasitusluokkaryhmien edellyttämät betonin laatuvaatimukset. Pakkasenkestävän betonin ennakkokokeet tulee tehdä tämän julkaisun kohdan 4.2 mukaisesti. Lisäksi pakkasenkestävä betoni on suhteitettava jäljempänä annettujen vaatimusten mukaisesti sementtilaatujen, sideainemäärien, seosaineiden, lisäaineiden, kiviaineksen hienoainemäärän

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 sallimisrajoissa 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 maksimiraekoolle. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. Maksimiraekoon 8 mm 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.

Tiehallinto 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 seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa. Sideaineen kokonaismäärä on sementin ja seosaineiden yhteismäärä. Tehollinen sideaineen kokonaismäärä on aktiivisuuskertoimilla (Taulukko 5) kerrotun sementin ja tämän julkaisun kohdassa 4.3 annetuilla kertoimilla kerrottujen seosaineiden yhteismäärä.

Sementtien seosainemäärinä ja aktiivisuuskertoimina voidaan käyttää Tiehallinnon erillisen hyväksynnän perusteella sementin valmistajan laatuinformaatiosta saatuja arvoja.

Taulukko 1 Betonimassan vähimmäisilmamäärävaatimukset ja ohjeellinen enimmäisilmamäärä eri pakkasenkestävyysluokissa, kun kiviaineksen maksimiraekoko ≥ 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 ma-

suunikuonan lisäys portlandsementtiin ylittää 35 % sideaineen kokonaismäärästä.

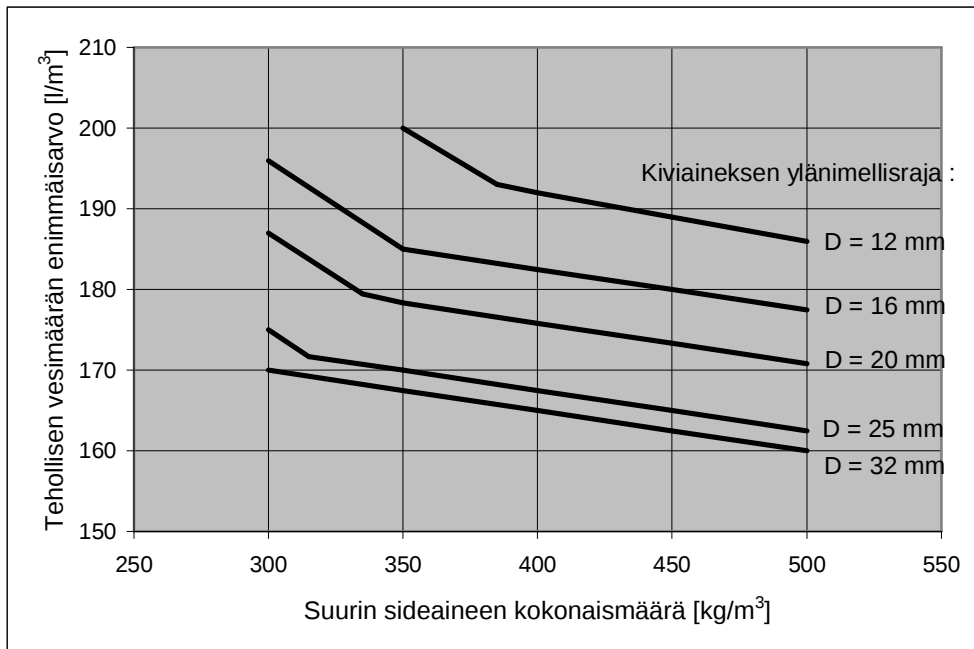
- Silikajauheen määrä sideaineen kokonaismäärästä saa olla enintään 5 %. Jos vesi-sideainesuhde alittaa arvon 0,35, saa silikajauheen määrä olla kuitenkin enintään 7 % sideaineen kokonaismäärästä. Mikäli käytetään sementtiä CEM II/A-D, tulee varmistaa, ettei sementti sisällä em. enimmäisarvoja ylittäviä määriä silikaa, tai sitten betoniin on lisättävä tarvittava määrä sementtiä CEM I.
- Erikseen lisättävän lehtotuhkan tai siihen verrattavan muun tuhkalaadun määrä 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/m^3 , kun vesi-sideainesuhde on $\geq 0,45$ ja enintään 600 kg/m^3 , 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 välifraktiolle 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 ilmamäärävaatimus.

Muilta osin noudatetaan Tiehallinnon betonille ja sen osa-aineille sekä betonimassan valmistamiselle asettamia vaatimuksia.



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

4 LAADUNVALVONTA

4.1 Yleistä

Pakkasenkestävän betonin valmistuksen laatua valvotaan RakMK B4:n /3/ kohdan 5 mukaisesti.

Ennakkokokeet tehdään tämän julkaisun 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. Itsetiivistyvän betonin ilman mittauksessa noudatetaan InfraRYL:n Osan 3 /4/ testausmenetelmäliitteessä (42020:liite 4) esitettyä menetelmää.

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 4 %-yksikköä standardin SFS-EN 206-1 kohdan 5.4.3 mukaisesti.

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 kelpolliseksi.

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

4.2 Ennakkokokeet

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

Ennakkokokeilla tutkitaan betonin puristuslujuus, tiheys, ilmamäärä ja ne tekijät, joiden avulla pakkasenkestävyys lasketaan. Kiviaineksen kosteuspitoisuus määritetään ennakkokoemassaan käytetyistä kaikista lajitteista vähintään kahtena erillismäärittämisinä. Lisäksi kiviaineksen absorptio tulee määrittää tehollisen vesi-sideainesuhteen 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 SS-137244 mukainen pakkassuolarapautuma.

Jos ennakkokoe tehdään määrittämällä betonista huokosjako, tulee tuloksen täyttää taulukossa 3 esitetyt vaatimukset. Käytettäessä standardin SS-137244 mukaista laattakoetta tuloksen tulee täyttää taulukon 4 vaatimukset.

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

Vesi-sementtisuhde	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 SS-137244 mukaista laattakoetta.

P-luku	56 kierroksen SS-137244 (menetelmä A) -kokeessa sallittu rapautuma [g/m^2] ¹⁾
P20	700
P30	350
P50	150
P70	110

¹⁾ Taulukossa rapautumien arvot ovat betoneille, joissa sideaineena käytetään portlandsementtiä CEM I. Muita sideaineita käytettäessä taulukon arvot kerrotaan sideainetekijällä k_{sid} .

4.3 P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja 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 (%).

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

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

jossa sil on silikan, kuona masuunikuonan ja lt lentotuhkan osuus sideaineen kokonaismäärästä (%)
 Q_{vesi} on tehollinen vesimäärä (kg/m^3)
 Q_{sid} on tehollinen sideaineen kokonaismäärä (kg/m^3)

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 aktiivisuuskertoimella k_A (lasketaan taulukon 5 kertomilla) 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-ilmasideainesuhte WAS lasketaan kaavasta

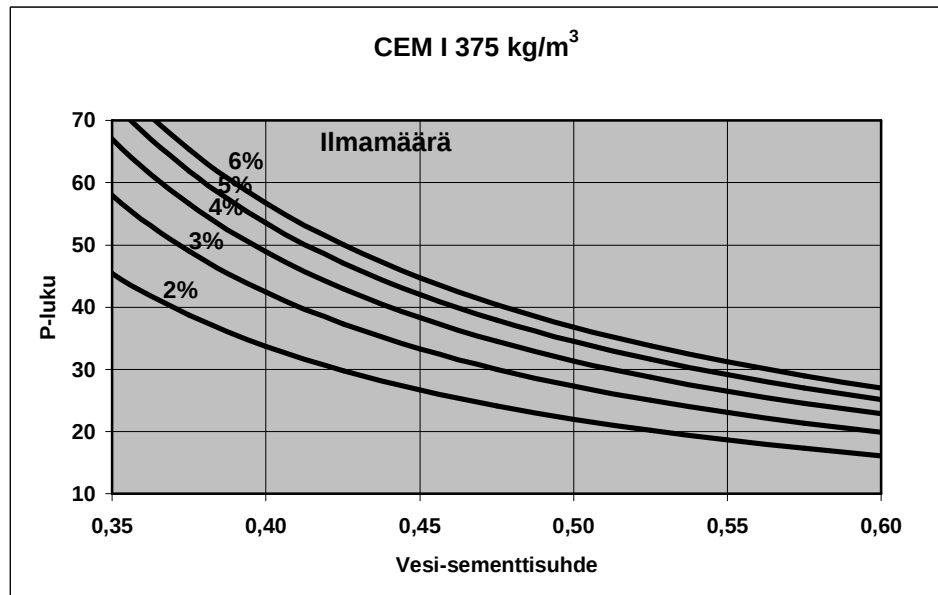
$$WAS = \frac{Q_{vesi} + 10 \cdot (a - 2)}{Q_{sid}} \quad (5)$$

jossa a on ilmamäärä (%).

P-luvun laskennassa käytetään seosaineille taulukon 5 mukaisia aktiivisuuskertoimia.

Taulukko 5 Seosaineiden aktiivisuuskertoimet P-lukua laskettaessa.

Seosaine	Aktiivisuuskerroin
Masuunikuona (II-luokan seosaine)	0,8 1,0 RakMK B4:n mukaisissa XA-rasitusluokissa
Lentotuhka (II-luokan seosaine)	0,4 lentotuhka-sementtisuhde $\leq 0,33$ 0,0 lentotuhka-sementtisuhde $> 0,33$
Silika (II-luokan seosaine)	2,0 vesi-sementtisuhde $\leq 0,45$ 1,0 vesi -sementtisuhde $> 0,45$
(I-luokan seosaine)	0,0



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

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

Jos portlandseossementin (SFS-EN 197-1+A1) 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 pakkaskokeella

P-luku voidaan määrittää myös standardin SS 137244 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen ja suhteitustietojen perusteella kaavan 6 avulla.

$$P = k_{\text{sid}} \cdot \frac{2000}{(m_{56})^{0,73}} \quad (6)$$

jossa k_{sid} on sideainekerroin (kaava 3)
 m_{56} on standardin SS 137244 mukaisen 56 kierroksen pakkassuolakokeen rapautuma [g/m^2].

5 VAATIMUSTENMUKAISUUDEN 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 vaatimustenmukaisuutta 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 Tiehallinnon ohjeiden mukaan rakenteesta irrotetuista näytteistä. Täydentävistä tutkimuksista laaditaan hyväksyttävä suunnitelma RakMK B4:n kohdan 6.3.4 mukaisesti. Poranäytteiden paikat valitaan siten, että tutkittavan rakenteosan 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 RakMK B4:n kohdan 5.1 mukaiset muistiinpanot.

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

7 KIRJALLISUUSLUETTELO

- /1/ Betonirakenneohjeet 2006. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut, Tekniset palvelut, TIEH 2100037-v-06. Helsinki 2006.
- /2/ Sementtistandardi SFS-EN 197-1+A1. Sementti – Osa 1: Tavallisten sementtien koostumus, laatuvaatimukset ja vaatimustenmukaisuus.
- /3/ Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. B4 Betonirakenteet. Ohjeet 2004.
- /4/ InfraRYL 2006 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2006. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. RT 14-10920. Rakennustieto Oy. Helsinki 2008.
- /5/ Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet 2008. Tiehallinto, asiantuntijapalvelut. TIEH 2100003-v-08. Helsinki 2008.
- /6/ SFS-EN 206-1. 2001. Betoni. Osa 1: Määrittely, Ominaisuudet, Valmistus ja Vaatimustenmukaisuus, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

8 LIITTEET

- Liite 1 Betonin laatuvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä
- Liite 2 Tieympäristön rakenteiden betonin laatuvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä

BETONIN LAATUVAATIMUKSET SILTAOSITTAIN ERI RASITUSLUOKKARYHMISSÄ

Rasitusluokkaryhmät ellei taulukoissa 1a ja 1b toisin ilmoiteta:

Rasitusluokkaryhmä R1: Päälysrakenteen kansirakenne, maatuot, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisään tulotiet, 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, maatuot, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai Tlb) 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

Taulukko 1a Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä, päälysrakenne ja reunapalkit.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäis-sementti-määrä [kg/m ³]	Vesi-sementti-suhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudotustyyppi 1)		
Päälysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro20	R1	XC3,XC4,XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	
		R2	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
		R4	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,55	40 50	tr jr	100	
Päälysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat 2)	Ro21	R1	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	3)
		R2	XC3,XC4,XF2,XD1	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	3)
		R3	XC3,XC4,XS1,XD1, XF2	K40	P30	300	0,45	40 50	tr jr	100	3)
Päälysrakenteen ja maatukien reunapalkit	Ro22	R1	XC4,XD3,XF4	K45	P50	320	0,45	45 55	tr jr	50	4)
		R2	XC4,XD2,XF4	K40	P50	300	0,50	40 50	tr jr	50	4)
		R3	XC4,XS1,XD3,XF2	K45	P30	320	0,45	45 55	tr jr	50	4)
		R4	XC4,XF2	K35	P30	300	0,55	40 50	tr jr	70	
Siirtymälaatat	Ro23	R1 R2	XC2,XD1,XF4	K35	P50	300	0,50	40 5) 50	tr jr	50	
		R3	XC2, XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	40 5) 50	tr jr	50	
		R4	XC2,XF2	K35	P30	300	0,55	40 5) 50	tr jr	70	

1) r = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite

2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta. Päälysrakenteella palkkien ja kansilaatan ajosuunnan puoleisen ulkokyljen pysty- ja vinopinnat (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin ulkoilman kanssa kosketuksissa oleviin pintoihin.

3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää klordirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään K70 ja P-luvun ollessa vähintään P50 rakennetta ei tarvitse suojata.

4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää klordirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret, TIEH 2000016-05, mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päälysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.

5) Maata vastaan valetussa siirtymälaatatassa betonipeitteen nimellisarvon on oltava vähintään 50 mm.

Siltabetonien P-lukumenettely
BETONIN LAATUVAATIMUKSET SILTAOSITTAIN ERI
RASITUSLUOKKARYHMISSÄ

Taulukko 1b Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasisitusluokkaryhmissä, alusrakenne.

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka 6)	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 6)	Raudoitustyyppi 1)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m alas	Ro01	R4	XC2	K30	-	230	-	40	tr	100	
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu tasolta maanpinta – 1 m ylös	Ro02	R4	XC2, XF2	K30	P20	300	0,55	40	tr	100	
Peruslaatta yleensä	Ro03	R4	XC2	K30	-	230	-	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta vedessä	Ro04	R4	XC2	K35	-	230	-	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta meressä	Ro05	R4	XC2, XS2	K40	-	320	0,45	60/100 7)	tr	100	
Rengaskehän peruslaatta ja pienen peittosyvyyden (< 0,7 m) peruslaatat	Ro06	R1	XC2, XD1, XF4	K35	P50	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF4	K35	P30	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R4	XC2, XF2	K30	P20	300	0,55	50/100 7)	tr	100	
Peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella 2)	Ro07	R1	XC2, XD1, XF4	K35	P50	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
		R2	XC2, XD1, XF2	K35	P30	300	0,50	50/100 7)	tr	100	
Maa- ja välituet yleensä 2)	Ro10	R1	XC3, XC4, XF2	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	
		R2 R4	XC3, XC4, XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Suolasumurasitetut maa- ja välituet 2)	Ro11	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	K40	P50	320	0,45	45 55	tr jr	100	3)
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	3)
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	K35	P30	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Maatukien ja päällysrakenteen siipimuurit ja siirtymälaittojen yläpuoliset osat (ulkopinta maatukien mukaan)	Ro12	R1	XC3, XC4, XD2, XF2	K35	P30	300	0,50	45 55	tr jr	100	4)
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	K35	P20	300	0,50	40 50	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro13	R4	XC2	K35	-	300	0,50	50 60	tr jr	100	
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro14	R4	XC3, XC4, XF4	K40	P50	320	0,45	50 60	tr jr	100	5)
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alaspäin	Ro15	R4	XC2, XS2	K40	-	320	0,45	60 70	tr jr	100	
Tukirakenteet meressä ilman suojaverhousta tasolta NW - 1 m ylöspäin	Ro16	R4	XC4, XS3, XF4	K45	P70	320	0,45	60 70	tr jr	100	5)

1-2) Ks. taulukko 1a.

- 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 K45, P70, 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 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.
- 7) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Peruslaatan betonipeitteen vähimmäisarvo julkaisun Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet mukaan.

TIEYMPÄRISTÖN RAKENTEIDEN BETONIN LAATUVAATIMUKSET ERI
RASITUSLUOKKARYHMISSÄ

Taulukko 2 Tieympäristön betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset eri rasitusluokkaryhmissä. Taulukko ei sisällä valaisinpylväiden, opastustaulujen ja liikennemerkkien jalustojen laatuvaatimuksia. Rasitusluokkaryhmät ovat liitteen 1 mukaiset.

Rakenneosa	Rakenneosan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäis-sementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)	
Paalulaatat ja niihin liittyvät siirtymälaatat yleensä (4)	Ro30	R4	XC2	K30 (7)	-	230	-	50/100 (30) (3) 50/100 (40) (3)	tr jr	100
Suolasumurasitetut paalulaatat ja niihin liittyvät siirtymälaatat (2) (4)	Ro31	R1 R2	XC2, XD1	K35	-	300	0,50	50/100 (40) (3) 55/100 (50) (3)	tr jr	100
Tieympäristön varusteet yleensä (5)	Ro40	R4	XC3, XC4, XF2	K35	P25	300	0,55	35 (6) 45 (6)	tr jr	50
Suolasumurasitetut tieympäristön varusteet (2) (5)	Ro41	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	K45	P40	320	0,45	50 (6) 60 (6)	tr jr	50
		R2	XC3, XC4, XD2, XF2	K35	P25	300	0,55	45 (6) 55 (6)	tr jr	50
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	K40	P25	300	0,50	40 (6) 50 (6)	tr jr	50
Tieympäristön varusteiden peruslaatat yleensä (5)	Ro50	R4	XC2	K30	-	230	-	30/80 (25) (3)	tr	50
Tieympäristön varusteiden peruslaatta ajokaistojen välillä ja suolasumurasituksen ulottuma-alueella (5) (2)	Ro51	R1	XC2, XD1, XF4	K35	P40	300	0,55	40/90 (35) (3)	tr	50
		R2	XC2, XD1, XF2	K35	P25	300	0,55	40/90 (35) (3)	tr	50
Tieympäristön varusteiden sokkelit ja pilariperustukset yleensä (5)	Ro52	R4	XC3, XC4, XF2	K35	P25	300	0,55	35 (6) 45 (6)	tr jr	50
Suolasumurasitetut tieympäristön varusteiden sokkelit ja pilariperustukset (2) (5)	Ro53	R1	XC3, XC4, XD3, XF4	K45	P40	320	0,45	50 (6) 60 (6)	tr jr	50
		R2	XC3, XC4, XD1, XF2	K35	P25	300	0,55	40 (6) 50 (6)	tr jr	50
		R3	XC3, XC4, XS1, XF2	K40	P25	300	0,45	40 (6) 50 (6)	tr jr	50

1) r = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite

2) Suolasumurasituksen oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle suolattavan tien reunasta. Suola kulkeutuu myös 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 annettu 5 mm:n betonipeitteen sallittua mittapoikkeamaa vastaava betonipeitteen nimellisarvo, jota voidaan käyttää ohjeen B4 kohdan 2.5.1.1 mukaisesti. Betonipeitteen vähimmäisarvo halkeilulaskennassa on tavanomaiselle raudoitteelle suluissa annettu arvo vähennettynä 5 mm:n mittapoikkeamalla.

4) Annettua arvoja voidaan käyttää kun rakenteen päällä olevan penkereen korkeus on vähintään 1,5 m. Sitä pienemmillä pengerkorkeuden arvoilla rakenteet on suunniteltava siltarakenteena.

5) Melusteet, kaiteet, tukimuurit, aidat ym.

6) Nimellisarvovaatimusta voidaan pienentää 5 mm, mikäli betonipeitteen sallittu mittapoikkeaman arvo, joka on tällöin myös esitettävä suunnitelmassa, on 5 mm ohjeen B4 kohdan 2.5.1.1 mukaisesti.

7) Vähintään K35 mikäli betonipeitteen nimellisarvo on alle 50 mm.

