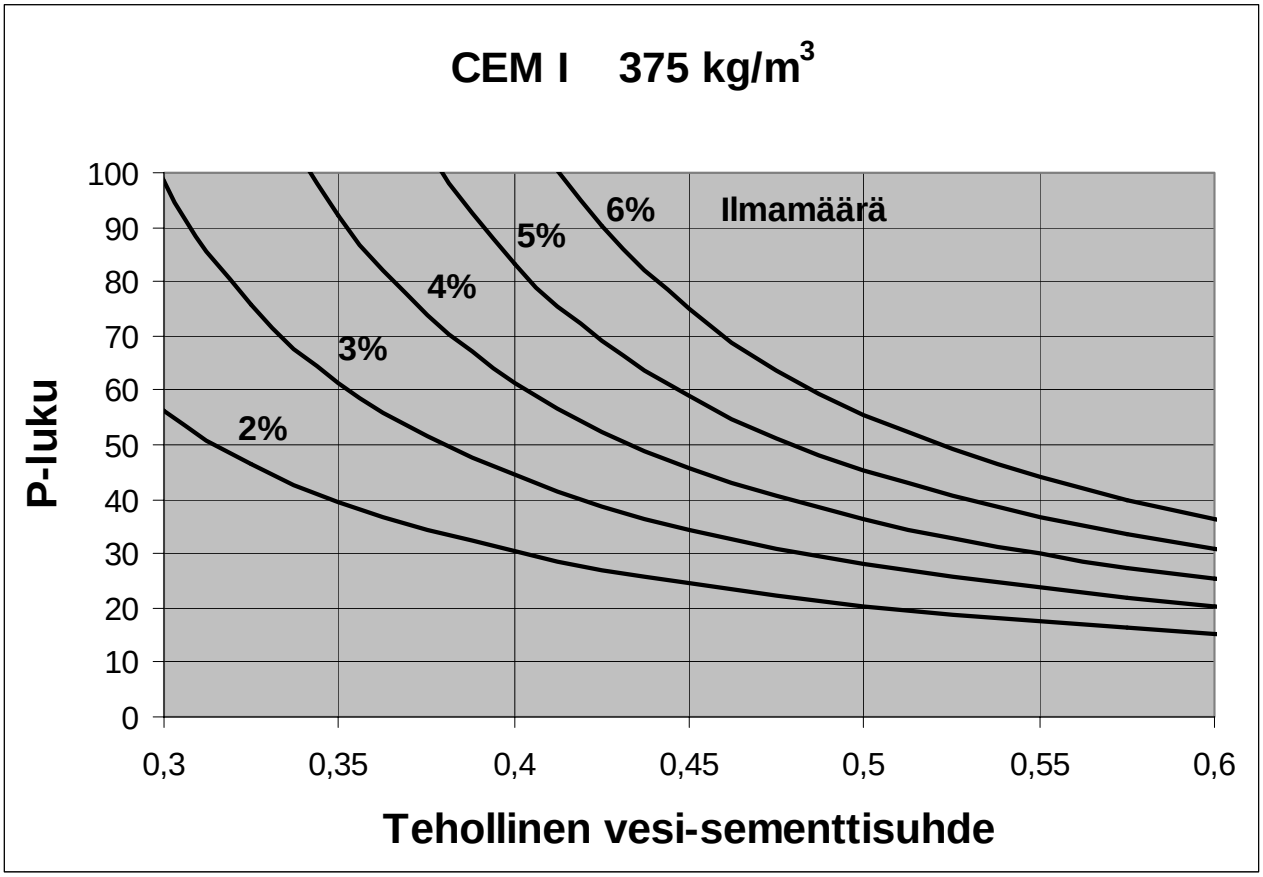
TIEHALLINTO

Siltabetonien P-lukumenettely

Tiehallinnon selvityksiä 30/2005



Siltabetonien P-lukumenettely

Tiehallinnon selvityksiä 30/2005

TIEHALLINTO
Helsinki 2005

Verkkoversio http://www.tiehallinto.fi/sillat
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-519-9
TIEH 3200942-v

Tiehallinto
KESKUSHALLINTO
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihde 0204 2211

Siltabetonien P-lukumenettely. Helsinki 2005. Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 30/2005, 19 s., ISSN 1459-1553, ISBN 951-803-519-9, TIEH 3200942-v

Asiasanat betoni, sillat, testaus, säänkestävyys, pakkasenkestävyys

TIIVISTELMÄ

Pakkasenkestävän siltabetonin valmistuksessa ja vaatimustenmukaisuuden toteamisessa käytetään P-lukumenettelyä Tiehallinnon sillanrakennustöissä.

Julkaisussa esitetään vaatimukset pakkasenkestävän siltabetonien valmistamiseksi, laadun varmistamiseksi ja vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi käytettäessä P-lukumenettelyä, joka perustuu tuoreen betonin ominaisuuksiin. Menettely mahdollistaa P-lukubetonin pakkasenkestävyyden määrittämisen betonin suhteitustietojen, jälkihoidon ja työaikaisten laadunvalvontakokeiden tulosten perusteella.

P-lukumenettely perustuu tutkimuksiin, joissa betonin suhteitusparametrien ja pakkasenkestävyyskokeen tuloksien välille etsittiin selittävin riippuvuussuhde kaksivaiheisesti regressio- ja korrelaatioanalyysejä käyttäen. Kokonaisuudessaan tilastollinen aineisto sisälsi 282 koetta, kun otetaan huomioon eri jälkihoitoajat ja vanhennuskäsittelyt. Betoneiden lujuustaso vaihteli välillä 20-100 MPa, ilmamäärä 1-8 % ja sideainemäärä 200-600 kg/m^3. Betoneissa oli käytetty eri sementtilaatuja. Silika-, masuunikuona- ja lentotuhkabetoneita sisältyi runsaasti tutkimusaineistoon.

Tämän jälkeen P-lukumenettelyä on tarkennettu 7 vuoden kenttäkokeiden tulosten perusteella.

The P-rate method for concrete bridges. Helsinki 2005. Finnish National Road Administration. Report 30/2005, 19 p., ISSN 1459-1553, ISBN 951-803-519-9, TIEH 3200942-v

Key words concrete, bridges, testing, durability, frost resistance

ABSTRACT

The so called P-rate method is followed in the production and in the acceptability of the frost resistant concrete in bridge construction works of the Finnish National Road Administration.

The requirements to be followed in production, in quality assurance, and in acceptability of the frost resistant concrete are presented. The P-rate method is based on the properties of fresh concrete, and the method enables to determine the frost resistance of concrete by calculation using the mix design parameters and the results of quality control and curing time.

The P-rate method was developed by statistical analysis of the results of the frost resistance tests done for 179 different concrete mixes. A total number of concretes was 282 when different curing and aging procedures were considered. The compressive strength of concretes varied from 20 MPa to 100 MPa, the air-content up to 8 %, and the binder content from 200 to 600 kg/m^3. The research material comprised several cement types, silica fume concretes, blastfurnace slag concretes and fly ash concretes.

The strongest correlation between the results of the frost resistance test and the mix design parameters of concretes was searched using correlation analysis. Then the function was developed between the most determinant mix design parameters and the results of frost resistance tests by non-linear regression analysis. After this the obtained average function was modified to increase the reliability of the method and the specific coefficients were attached into the final function of P-rate concrete in order to describe the effects of ageing and curing time.

The P-rate method has been adjusted also on the basis of 7 years field test results.

ALKUSANAT

Julkaisussa esitetään Tiehallinnon käytössä oleva pakkasenkestävyyslukumenettely.

Julkaisu sisältää laatuvaatimukset, laadunvalvonnan ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisen menettelytavat pakkasenkestävän betonin valmistamiseksi, kun käytetään tuoreen betonin P-lukukaavaa.

Aikaisemmin vuonna 2000 julkaistuun P-lukumenettelyyn verrattuna uudessa julkaisussa on otettu huomioon lisätutkimuksien mukanaan tuomat tarkennukset ja eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunut kehitys. Julkaisun merkinnöissä on pyritty noudattamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 merkintöjä, johon on liitetty myös tässä julkaisussa esitetyn P-lukumenettelyn pääkohdat. Täydellisempänä P-lukumenettely on esitetty Suomen Betoniyhdistys r.y.:n julkaisussa Betoninormit 2004 by 50.

Raportin laadintaa on ohjannut DI Ossi Räsänen (Tiehallinto) ja raportin on kirjoittanut TkT Seppo Matala (Kymenlaakson AMK).

Helsingissä lokakuussa 2005

Tiehallinto
Tekniset palvelut

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

KIRJALLISUUSLUETTELO 17

LIITE 18

1 YLEISTÄ

Sillan eri osilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty sillan rakennussuunnitelmaan Betonirakenneohjeen /1/ mukaisesti. Betonin pakkasenkestävyysvaatimus esitetään suunnitelmassa pakkasenkestävyyslukuna 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 käyttöönsä hyväksymiä menettelytapoja. Julkaisussa esitetään tuoreen betonin ominaisuuksiin perustuva menetelmä ja sen käytön edellyttämät betonin laatuvaatimukset, ennakkokokeet, betonin laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden osoittaminen.

Aikaisemmin vuonna 2000 julkaistuun P-lukumenettelyyn verrattuna uudessa julkaisussa on otettu huomioon lisätutkimuksien, lähinnä Ruotsissa tehtyjen suomalaisilla sideaineilla toteutettujen käytännön kenttäkokeiden tulokset. Lisäksi julkaisun kaavoja on muutettu vastaamaan eurooppalaisessa ja kansallisessa betoninormiuudistuksessa tapahtunut kehitys, jonka seurauksena mm. kiviaineksen absorptio tulee ottaa huomioon betonin vesimäärää laskettaessa ja siten on siirrytty käyttämään tehollista vesi-sementtisuhdetta. Julkaisun merkinnöissä on pyritty noudattamaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B4 merkintöjä.

Tähän julkaisuun on sisällytetty myös itsetiivistyvän betonin käytön edellyttämät laadunvalvontamenettelyt.

Julkaisuun on liitetty myös siltojen suunnittelussa eri rasitusluokkaryhmissä käytettävät siltaosakohtaiset betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset betonin lujuuden, P-lukuvaatimuksen, betonipeitteen nimellisarvon, sementtimäärän ja vesi-sementtisuhteen osalta ja esitetty suunnittelukäyttöikä eri rasitusluokissa (liite 1). Liite 1 on koekäytössä.

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, sementtimäärien, 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 runkoaineen maksimiraekoolle. Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti. Raekoon 8 mm vähimmäisilmamäärä saadaan lisäämällä taulukon lukuarvoihin P20-luokassa 1 %, P30-luokassa 2 % ja sekä P50- että P70-luokissa 3 %.

Tiehallinto hyväksyy rakennussementtien oletetut portlandsementti- ja seosaineosuudet ja antaa ohjeet sideaineiden yhteiskäytölle ja hyväksyy poikkeamisen jäljempänä esitetyistä suhteitusvaatimuksista. Sideaineella tarkoitetaan rakennussementtiä ja betoniin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättäviä seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa. Sideaineen kokonaismäärä on rakennussementin ja seosaineiden yhteismäärä. Tehollinen sideainemäärä on aktiivisuuskertoimilla (Taulukko 5) kerrotun rakennussementin ja tämän julkaisun kohdassa 4.3 annetuilla kertoimilla kerrottujen seosaineiden yhteismäärä.

Rakennussementtien seosainemäärinä ja aktiivisuuskertoimina voidaan käyttää Tiehallinnon erillisen hyväksynnän perusteella rakennussementin valmistajan laatuinformaatiosta saatuja arvoja.

Taulukko 1: Betonimassan vähimmäisilmamäärävaatimukset, kun kiviaineksen maksimiraekoko ≥ 16 mm.

Vesisideaine-suhde	Ilmamäärän vähimmäisarvo eri pakkasenkestävyysluokissa			
	P20	P30	P50	P70
0,60	5 %	5 %	-	-
0,50	3 %	4 %	6 %	-
0,40	2 %	3 %	4 %	(7 %) [1)]
0,32	2 %	2 %	2 %	3 %
<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/m^3. Kokonaissideainemäärän on oltava vähintään 350 kg/m^3, jos erillisjauhetun masuunikuonan 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 määrästä. Jos sementti sisältää muita seosaineita, masuunikuonan määrää vähennetään muiden seosaineiden määrällä.

- Kokonaishienoainesmäärän tulee täyttää ainakin toinen seuraavista vaatimuksista:

  A) Kokonaishienoainesmäärä (sideaine + alle 0,25 mm kiviaines) saa olla korkeintaan 500 kg/m^3, kun vesi-sideainesuhde on $\geq$ 0,45 ja enintään 550 kg/m^3, kun vesisideainesuhde 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.

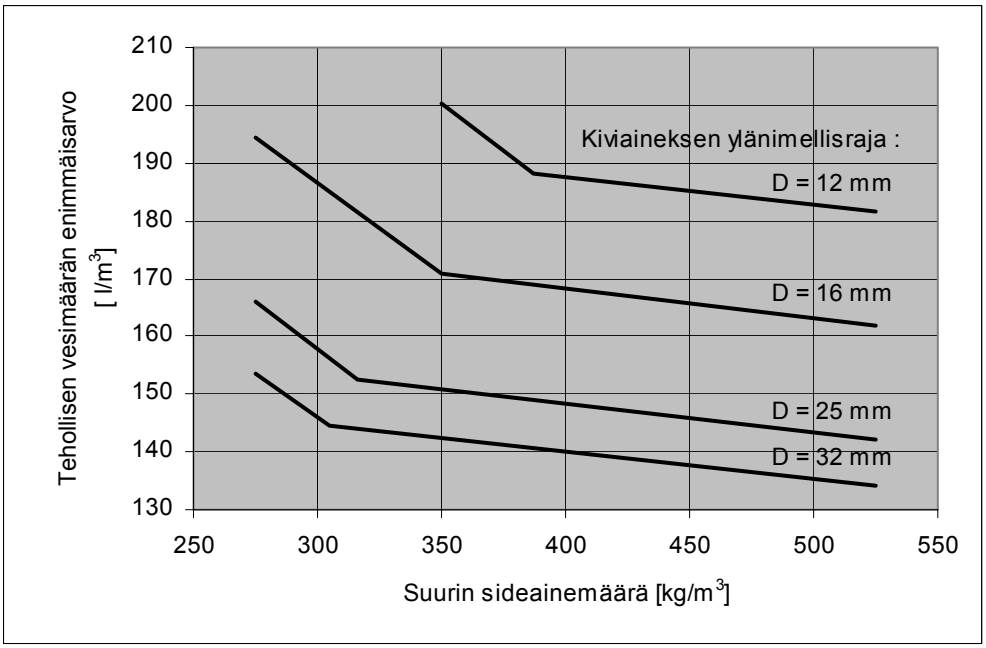
Taulukko 2: Tehollisen vesimäärän enimmäisarvo riippuen betonin kiviaineksen ylänimellisrajasta D ja sideainemäärästä.

Sideainemäärä [kg/m^3]	Tehollisen vesimäärän enimmäisarvo [l/m^3]			
	D = 12 mm	D = 16 mm	D = 25 mm	D = 32 mm
300		186	158	145
350	200	171	151	143
400	187	168	148	140
450	184	166	145	137
500	182	163	143	135

- 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 sideainemäärän välinen riippuvuus, kun kiviaineksen ylänimellisrajat ovat 32, 25, 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 SYL 3:n /4/ testausmenetelmäliitteessä 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.

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.

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 erillismäärityksenä. 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.

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}.

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

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

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}.

Kovettuneen betonin ennakkokokeen tulos ei saa olla vuotta vanhempi.

4.3 P-luvun määrittäminen suhteitustietojen ja mitatun ilmamäärän perusteella

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

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

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 (%).

$$k_{jh} = 0{,}85 + 0{,}17 \cdot LOG_{10}(t_{jh}) \qquad (2)$$

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

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

Q_{sid} lasketaan kaavasta

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

jossa Q_{sem} on aktiivisuuskertoimella k_A (lasketaan taulukon 5 kertoimilla) kerrottu sementin määrä (kg/m^3). Portlandsementillä 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

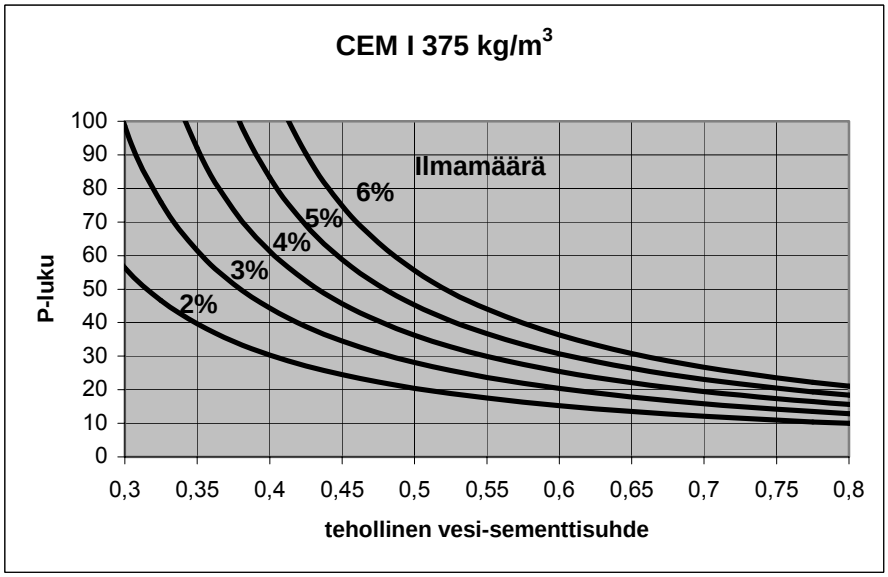
$$WAS = \frac{Q_{vesi} + 10 \cdot (a - 2)}{Q_{sid}} \tag{5}$$

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 ≤ 0,33 0,0 lentotuhka-sementtisuhde > 0,33
Silika (II-luokan seosaine)	2,0 vesi-sementtisuhde ≤ 0,45 1,0 vesi -sementtisuhde > 0,45
(I-luokan seosaine)	0,0



Kuva 2. Esimerkki kaavalla 1 lasketun P-luvun riippuvuudesta tehollisesta vesi-sementtisuhteesta 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) CEM II/A-M(S-LL) seosainepitoisuudet ovat; kalkkikivi 8 % ($k_{A\ kalkkikivi}$ = 0) ja kuona 7 % ($k_{A\ kuona}$ = 0,8).

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

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

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

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

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 rakenneosan 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.

KIRJALLISUUSLUETTELO

/1/ Betonirakenneohjeet. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut, Tekniset palvelut, TIEH 2100037-06. 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/ Sillanrakennuksen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet SYL-3. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut, Tekniset palvelut, TIEH 2200034-05. Helsinki 2005.

LIITE

Liite 1: Betonin laatuvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä

BETONIN LAATUVAATIMUKSET SILTAOSITTAIN ERI RASITUSLUOKKARYHMISSÄ

Rasitusluokkaryhmät ellei taulukoissa 1a ja 1b toisin ilmoiteta:

Rasitusluokkaryhmä R1: Päällysrakenteen kansirakenne, 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) ja betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R2: Päällysrakenteen kansirakenne, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoidossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) ja betonirakenteet silloissa, jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä edellä mainittua tietä.

Rasitusluokkaryhmä R3: Siltarakenteet meren rannalla

Rasitusluokkaryhmä R4: Silta ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään

Taulukko 1a. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkaryhmissä, päällysrakenne.

Sillan osa	Sillan rasitusluokka-ryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
			Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementti-määrä [kg/m^3]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 1)		
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen vedeneristeen alla olevat pinnat sekä muut ei suolasumurasitetut pinnat 2)	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	
Päällysrakenteen palkkien ja kansilaattojen suolasumurasitetut pinnat 2)	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)
Päällysrakenteen ja maatukien reunapalkit	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	R1 R2	XC2,XD1,XF4	K35	P50	300	0,50	40 50	tr jr	50	
	R3	XC2, XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	40 55	tr jr	50	
	R4	XC2,XF2	K35	P30	300	0,55	40 50	tr jr	70	

1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta päällysrakenteen palkkien ja kansilaatan ulkokylkien pysty- ja vinopintoihin (kaltevuus > 1:3). Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin näkyviin pintoihin.
3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Betonin lujuusluokan ollessa vähintään K70 ja P-luvun ollessa vähintään P50 rakennetta ei tarvitse suojata.
4) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Julkaisun Siltojen reunapalkkien kuoret, TIEH 2000016-05, mukaisien reunapalkkien pintoja ei tarvitse suojata. Tällöin sisäosalle käytetään ei suolasumurasitetun päällysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja.

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

Sillan osa	Sillan rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
			Lujuusluokka 4)	P-lukuvaatimus	Vähimmäissementtimäärä [kg/m^3]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 4)	Raudoitustyyppi 1)		
Teräsputken tai muun tiiviin kiinnivaletun kuoren sisävalu routarajan alapuolella		XC2	K30	-	230	-	40	tr	100	
Peruslaatta yleensä		XC2	K30	-	230	-	50/100 5)	tr	100	
Peruslaatta vedessä		XC2	K35	-	230	-	50/100 5)	tr	100	
Peruslaatta meressä	R2	XC2,XS2	K40	-	320	0,45	60/100 5)	tr	100	
Rengaskehän peruslaatta	R1	XC2,XD1,XF4	K35	P50	300	0,50	50/100 5)	tr	100	
	R2	XC2,XF4	K30	P30	300	0,50	50/100 5)	tr	100	
	R4	XC2,XF2	K30	P20	300	0,55	50/100 5)	tr	100	
Ajokaistojen välinen peruslaatta, jonka maapeitesyvyys on alle 500 mm	R1	XC2,XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	50/100 5)	tr	100	
	R2	XC2,XF2	K30	P20	300	0,55	50/100 5)	tr	100	
Ei suolasumurasitetut maa- ja välituet 2)	R1	XC3,XC4,XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	45	tr	100	3)
							55	jr		
	R2	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,50	40	tr	100	
							50	jr		
	R4	XC3,XC4,XF2	K35	P20	300	0,55	40	tr	100	
							50	jr		
Suolasumurasitetut maa- ja välituet 2)	R1	XC3,XC4,XD3,XF4	K40	P50	320	0,45	45	tr	100	3)
							55	jr		
	R2	XC3,XC4,XD1,XF2	K35	P30	300	0,50	40	tr	100	
							50	jr		
	R3	XC3,XC4,XS1,XF2	K35	P30	300	0,50	40	tr	100	
							50	jr		
Maatukien ja päällysrakenteen siipimuurit (kun siipimuurien sisäpinnan betoni on määräävä)	R1	XC3,XC4,XD2,XF2	K35	P30	300	0,50	45	tr	100	3)
							55	jr		
	R2	XC3,XC4,XD1,XF2	K35	P20	300	0,50	40	tr	100	
							50	jr		
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m alaspäin		XC2	K35	-	300	0,50	50	tr	100	
							60	jr		
Tukirakenteet vedessä tasolta NW - 1 m ylöspäin		XC3,XC4,XF4	K40	P50	320	0,45	50	tr	70	
							60	jr		
Tukirakenteet meressä tasolta NW - 1 m alaspäin		XC2,XS2	K40	-	320	0,45	60	tr	100	
							70	jr		
Tukirakenteet meressä ilman suojaverhousta tasolta NW - 1 m ylöspäin		XC4,XS3,XF4	K45	P70	320	0,45	60	tr	100	3)
							70	jr		

1) jr = jänneraudoite, tr = tavanomainen raudoite
2) Suolasumun oletetaan vaikuttavan kuuden metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien reunasta. Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin näkyviin pintoihin.
3) Suunnittelukäyttöikä edellyttää kloridirasitettujen pintojen suojausta. Suojauksena voidaan käyttää myös julkaisun Siltapilareiden kuoret, TIEH 2000007-03, mukaisia kuorirakenteita.
4) Betonipeitteen nimellisarvo vedenalaisessa valussa on 150 mm. Vaadittaessa huuhtoutumisen estävän lisäaineen käyttöä betonin suhteituksessa, voidaan teräsputken sisäpuolisessa valussa käyttää betonipeitteen nimellisarvona 50 mm. Betonin lujuusluokaksi valitaan vedenalaisessa valussa 5 MPa suunnittelulujuutta suurempi arvo.
5) Muottia vastaan valettu tai laatan yläpinta / maata tai kalliota vastaan valettu. Peruslaatan betonipeitteen vähimmäisarvo halkeilulaskennassa on 35 mm muutoin, paitsi peruslaatoille meressä se on 45 mm.

ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-519-9
TIEH 3200942-v