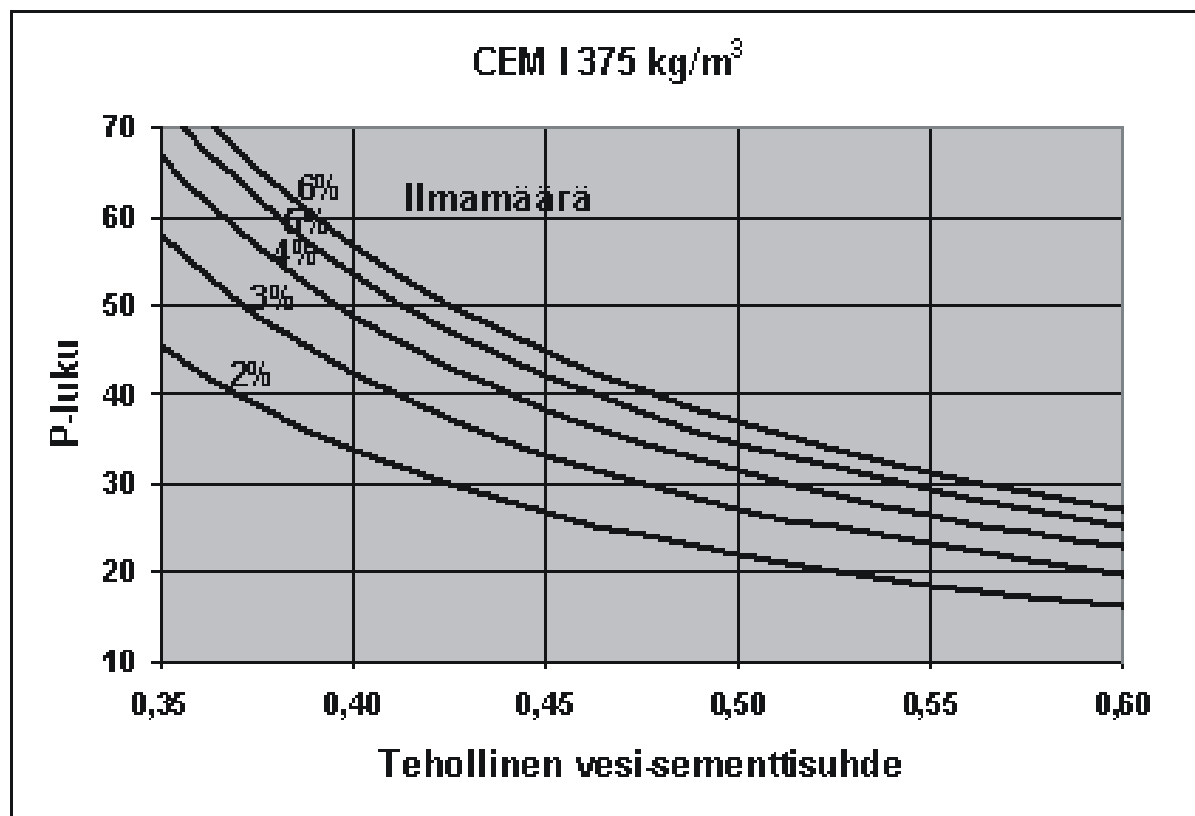


Siltabetonien P-lukumenettely

Tiehallinnon selvityksiä 30/2005



Siltabetonien P-lukumenettely

Tiehallinnon selvityksiä 30/2005

ISBN 951-803-518-0
ISSN 1457-9871
TIEH 3200942

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

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 pakkasenkestävyysskoheen tuloksien välille etsittiin selittävin riippuvuussuhde kaksivaiheisesti regressio- ja korrelaatioanalyysijä 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/m³. Betoneissa oli käytetty eri sementtilaatuja. Silika-, masuunikuona- ja lentotuhkabetoneita sisältyi runsaasti tutkimusaineistoon.

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

Julkaisu sisältää myös itsetiivistyvän betonin käytön edellyttämät laadunvalvontamenettelyt. Julkaisuun on liitetty myös siltojen suunnittelussa eri rasi-
tusluokkaryhmissä käytettävät siltaosakohtaiset betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset ja suunnittelukäyttöikävaatimukset eri rasi-
tusluokissa.

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 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/m³. The research material comprised several cement types, silica fume concretes, blast furnace 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.

The publication includes also the required quality control tasks to be followed in the use of self compacting concrete. Further, there are presented the minimum requirements for different parts of concrete bridges and the requirements of design service life to be used when designing concrete bridges in different exposure classes.

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.

Tämä julkaisu poikkeaa lokakuussa 2005 julkaistusta versiosta siten, että liitteessä 1 esitetyt betonin laatuvaatimukset siltaosittain eri rasitusluokkarhyhmissä on päivitetty koekäytöstä saatujen kommenttien perusteella.

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

Helsingissä lokakuussa 2006

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
KIRJALLISUUSLUETTELO	17
LIITE	18

1 YLEISTÄ

Sillan eri osilta vaadittavat pakkasenkestävyysluokat on määritetty ja merkitty sillan rakennussuunnitelmaan Betonirakenneohjeen /1/ mukaisesti. 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 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-sementtisuuhdetta. 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).

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 sallimis- sa rajoissa voidaan valita sellainen sideaineen, vesi-sideainesuhteen, ilma- määrän ja jälkihoidon yhdistelmä, että betonin mitattu ilmamäärä ja pak- kasenkestävyysluku täyttävät asetetut vaatimukset.

Ilmamäärälle asetetaan kuitenkin minimivaatimus (Taulukko 1). Taulukon 1 arvot ovat 16 mm tai sitä suuremmalle runkoaineen maksimiraekoolle. Vä- liarvot 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 seo- saineosuudet ja antaa ohjeet sideaineiden yhteiskäytölle ja hyväksyy poik- keamisen jäljempänä esitetyistä suhteitusvaatimuksista. Sideaineella tarkoi- tetaan rakennussementtiä ja betoniin valmistuksen yhteydessä mahdollisesti lisättäviä seosaineita kuten lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta ja silikaa. Si- deaineen kokonaismäärä on rakennussementin ja seosaineiden yhteismäärä. Tehollinen sideainemäärä on aktiivisuuskertoimilla (Taulukko 5) kerrotun ra- kennussementin ja tämän julkaisun kohdassa 4.3 annetuilla kertoimilla kerrot- tujen 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 . Kokonaissi- deainemäärän on oltava vähintään 350 kg/m^3 , jos erillisjauhetun ma- suunikuonan lisäys portlandsementtiin ylittää 35 % sideaineen koko- naismäärästä.
- 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.

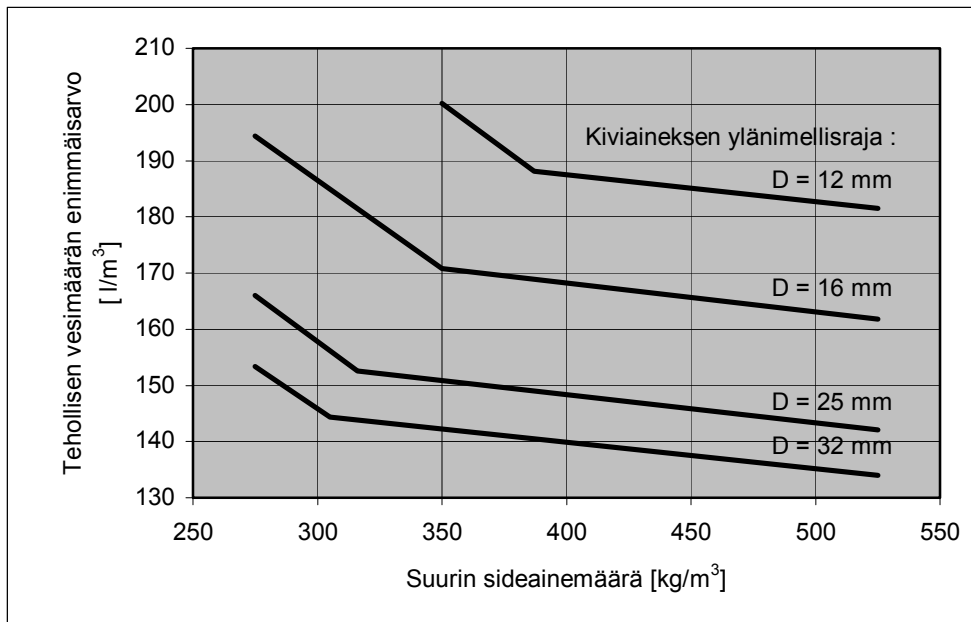
- Erikseen lisättävän lehtotuhkan tai siihen verrattavan muun tuhkaladun määrä saa olla enintään 25 % sideaineen kokonaismäärästä.
- Erillisjauhetun masuunikuonan enimmäismäärä ei saa ylittää 50 % sideaineen määrästä. Jos sementti sisältää muita seosaineita, masuunikuonan määrää vähennetään muiden seosaineiden 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 kelpolliseksi.

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

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 kosteuspi-toisuus 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 vesisementtisuhteen arvoilla

Tehollinen vesisementtisuhte	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.

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

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 sideaineesta (%)
 Q_{vesi} on tehollinen vesimäärä (kg/m³)
 Q_{sid} on sideaineen tehollinen 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 aktiivisuuskertoimella k_A (lasketaan taulukon 5 kertomilla) kerrottu sementin määrä (kg/m³). Portlandsementillä k_A on 1.
 Q_{sil} on lisätyn silikajauheen määrä (kg/m³)

Q_{kuona} on lisätyn masuunikuonan määrä (kg/m^3)
 Q_{lt} on lisätyn lentotuhkan määrä (kg/m^3)

Redusoitu vesi-ilmasideainesuhde WAS lasketaan kaavasta

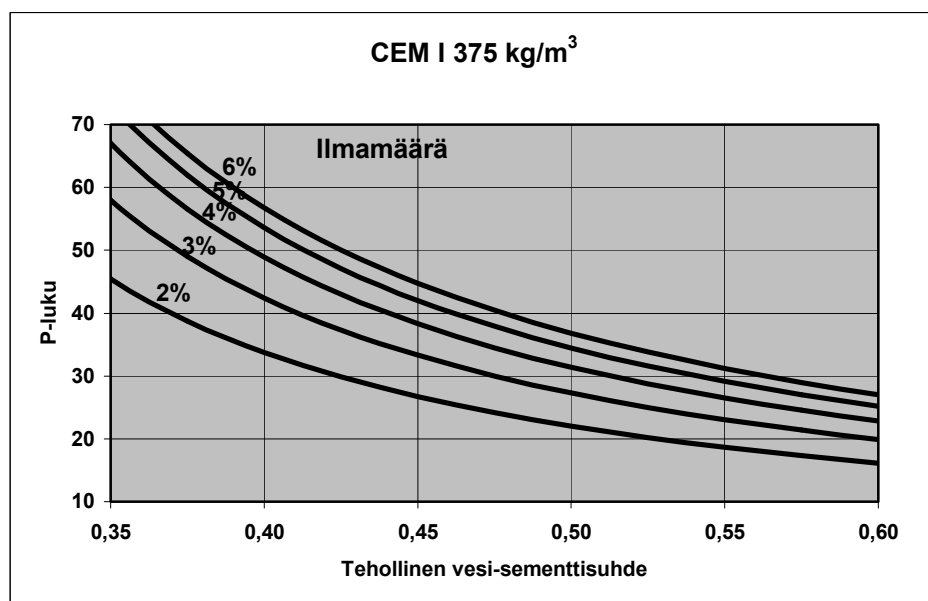
$$WAS = \frac{Q_{\text{vesi}} + 10 \cdot (a - 2)}{Q_{\text{sid}}} \quad (5)$$

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 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 % ($k_{A \text{ kalkkikivi}} = 0$) 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 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 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: Päälysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat valta- tai kantatiellä tai muulla tiellä, jonka talvihoitossa käytetään suolaa säännöllisesti (KVL > 1500, esim. kaupunkien sisääntulotiet, talvihoitoluokka Is tai I) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R2: Päälysrakenteen kansirakenne, maatuet, reunapalkit, siivet ja siirtymälaatat silloissa, jotka sijaitsevat tiellä, jonka talvihoitossa käytetään suolaa (KVL>350, talvihoitoluokka Ib tai TIb) sekä betonirakenteet silloissa, joiden alitse kulkee jokin edellä mainituista teistä ja jotka sijaitsevat kuutta metriä lähempänä tien reunaa.

Rasitusluokkaryhmä R3: Siltarakenteet meren rannalla

Rasitusluokkaryhmä R4: Silta ei kuulu mihinkään muuhun ryhmään

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

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka	P-lukuvaatimus	Vähimmäisementsi-määrä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm]	Raudoitustyyppi 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 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. 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 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 päälysrakenteen rasitusluokkaryhmän R4 mukaisia arvoja. Kuorirakenteen rasitusluokat Ro22 mukaan.

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

Sillan osa	Sillan osan tunnus	Rasitusluokkaryhmä	Rasitusluokat	Vaatimukset						Suunnittelukäyttöikä	Betonipintojen suojaus
				Lujuusluokka 6)	P-lukuvaatimus	Vähimmäisementtimäärä [kg/m ³]	Vesi-sementtisuhteen enimmäisarvo	Betonipeitteen nimellisarvo [mm] 6)	Rauditus tyyppi 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	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 siirtymälaattojen 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 halkeilulaskennassa on 35 mm muutoin, paitsi peruslaatoille meressä se on 45 mm.

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