

## **Sulfaatinkestävän sementin valinta siltojen suunnittelussa ja rakentamisessa**

15.6.2007



SISÄLTÖ	sivu
1. YLEISTÄ	3
2. SULFAATTIRASITUS SUOMESSA	3
3. RASITUSLUOKAN VALINTA SULFAATTIPITOISUUDEN RAJA-ARVOJEN MUKAAN (SUUNNITTELIJA)	3
4. SEMENTIN JA BETONIN VALINTA RASITUSLUOKAN MUKAAN (BETONIN VALMISTAJA)	4
5. SEMENTIN VALINNAN VAIKUTUKSIA BETONIN OMINAISUUKSIIN	6
6. KIRJALLISUUS	6

LIITE 1. Pohjavesien sulfaattipitoisuus Suomessa

## 1. YLEISTÄ

Julkaisussa käsitellään periaatteet sulfaatinkestävän sementin valitsemiseksi betonin sideaineeksi.

Julkaisu perustuu asiakirjoissa SYL 3 – Betonirakenteet /1/ esitettyihin ja asiakirjoja RakMK B4 /2/, SFS-EN 206-1 ja sen kansallinen liite /3/ ja by 50 Betoninormit 2004 /4/ ja Betonirakenneohjetta /5/ täydentäviin tai tarkentaviin vaatimuksiin.

Julkaisua käytetään siltojen suunnittelussa ja rakentamisessa.

Julkaisun on kirjoittanut Seppo Matala, Matala Consulting. Kommentit tästä asiakirjasta Ossi Räsäselle, puhelin 0204 22 2636 ja sähköposti [ossi.rasanen@tiehallinto.fi](mailto:ossi.rasanen@tiehallinto.fi).

## 2. SULFAATTIRASITUS SUOMESSA

Siltarakenteiden sulfaattirasitus on lähtöisin maaperästä, pohjavedestä tai merivedestä.

Liitteen 1 kuvassa 1 on esitetty suuntaa antavia pohjavesien keskimääräisiä sulfaattipitoisuuksia Suomessa. Keskimääräinen sulfaattipitoisuus on noin 10 mg/l, mutta se voi vaihdella voimakkaasti myös paikallisesti. Suomen avomerialueilla sulfaattipitoisuus on enimmillään noin 500 mg/l, mutta rannikkoalueella selvästi pienempi.

Suomessa sulfaattirasitus on yleisesti tasolla, jota ei luokitella kemiallisesti aggressiiviseksi pitoisuudeksi, joka vedessä on 200 mg/l ja maaperässä 2000 mg/kg (taulukko 1). Meriveden sulfaattipitoisuus yltää yleensä rasisitusluokkaan XA 1.

Paikallisesti Länsi- ja Etelä-Suomen rannikkoseudulla voi esiintyä maaperässä ja pohjavesissä aggressiiviseksi luokiteltavia pitoisuuksia, jotka saattavat edellyttää sulfaattirasituksen huomioon ottamista sementin valinnassa. Paikallisesti myös sadevesien sisältämä sulfaatti voi nostaa maaperän sulfaattipitoisuutta.

## 3. RASITUSLUOKAN VALINTA SULFAATTIPITOISUUDEN RAJA-ARVOJEN MUKAAN (SUUNNITTELIJA)

Taulukossa 1 on esitetty raja-arvot veden ja maaperän sulfaattipitoisuudelle, joka määrittelee mihin aggressiivisen kemiallisen ympäristön rasisitusluokkaryhmään betonirakenne asettuu.

Mikäli siltapaikan maaperän tai veden sulfaattipitoisuudesta ei ole käytettävissä tietoa, tutkitaan sulfaattipitoisuudet sillan rakennuspaikalta otettavista maa- tai vesinäytteistä.

Näytteet testataan käyttämällä joko standardissa SFS-EN 196-2 /7/ kuvattua menetelmää (vesi tai maanäyte) tai standardin SFS-EN ISO 10304-1 /8/ mukaista ionikromatografiaan perustuvaa menetelmää (vesinäyte). Standardin SFS-EN 196-2 mukaisessa määrityksessä vesinäytettä käsitellään kuten standardin kohdassa 8.2 saatua suodosta ja tulos ilmoitetaan  $SO_4^{2-}$  -pitoisuutena vedestä. Standardin SFS-EN ISO 10304-1 mukaisessa menetelmässä, kun näytteen sulfaattipitoisuus on kor-

kea (yli 100 mg/l), voidaan näytettä laimentaa analyysiä varten ja tulos ilmoitetaan laimennussuhde huomioon ottaen  $\text{SO}_4^{2-}$ -pitoisuutena laimentamattomasta vedestä.

Taulukko 1. Luonnon pohjaveden ja maaperän aiheuttaman sulfaattirasituksen ympäristöluokkien raja-arvot /3/.

Sulfaattilähde	Sulfaattipitoisuuden raja-arvot ympäristöluokissa <sup>1)</sup>		
	XA1	XA2	XA3
Pohjaveden $\text{SO}_4^{2-}$ -pitoisuus [mg/l]	$\geq 200$ ja $\leq 600$	$> 600$ ja $\leq 3000$	$> 3000$ ja $\leq 6000$
Maaperän $\text{SO}_4^{2-}$ -kokonaispitoisuus [mg/kg] <sup>a)</sup>	$\geq 2000$ ja $\leq 3000^b)$	$> 3000^b)$ ja $\leq 12000$	$> 12000$ ja $\leq 24000$
<sup>a)</sup> Savimaat joiden läpäisevyys on pienempi kuin $10^{-5}$ m/s voidaan luokitella alempaan luokkaan. <sup>b)</sup> Raja-arvo 3 000 mg/kg lasketaan arvoon 2 000 mg/kg, jos betonin toistuva kuivuminen ja kastuminen tai kapillaarinen kastuminen saattavat aiheuttaa betonin sulfaatti-ionien kasaantumisriskin. <sup>1)</sup> Luokittelu kemiallisesti aggressiivisiin ympäristöihin perustuu luonnollisiin ympäristöihin maassa ja vedessä 5 °C ja 25 °C lämpötilavälillä ja riittävän hitaalla veden virtausnopeudella, minkä voidaan katsoa vastaavan staattista tilannetta.			

Jos siltapaikalla tehtyjen tutkimuksien tai aikaisempien selvitysten perusteella osoitetaan, että ympäristönsä sulfaattipitoisuuden perusteella sillan rakenneosa sijoittuu aggressiiviseen ympäristöön, merkitsee suunnittelija sillan rakennussuunnitelmaan sillan osan rasitusluokkaryhmän lisäksi kemiallista rasitusta osoittavan XA-rasitusluokan taulukon 1 raja-arvojen mukaisesti joko XA 1, XA 2 tai XA 3 /4/. Suunnitelma-asiakirjoihin ei merkitä käytettävää sementtilaata kuin erikoistapauksissa.

Suunnittelija tarkastaa lisäksi, että betonin lujuusluokkavaatimus täyttää taulukon 2 mukaisen vähimmäislujuusluokkavaatimuksen kemiallisesti aggressiivisessa ympäristössä. Vähimmäislujuusluokkavaatimus XA-rasitusluokissa on yleensä suurempi kuin Betonirakenneohjeen /5/ kohdan 4.1.1 taulukoiden 3 ja 4 asettama lujuusluokan rakenneosakohtainen vähimmäisvaatimus.

#### 4. SEMENTIN JA BETONIN VALINTA RASITUSLUOKAN MUKAAN (BETONIN VALMISTAJA)

Sillan rakennussuunnitelmassa esitetyn kemiallisen ympäristön rasitusluokkaryhmän joko XA 1, XA 2 tai XA 3 perusteella betonin valmistaja määrittelee betonin koostumuksen, jonka tulee täyttää SYL3:n /1/ kohdan 3.3.1.3 ja julkaisun Siltabetonien P-lukumenettely /6/ perusteella määräytyvät sillan rakenneosakohtaisen rasitusluokkaryhmän asettamat vähimmäisvaatimukset ja taulukossa 2 esitetyt aggressiivisen kemiallisen ympäristön edellyttämät betonin koostumusta koskevat vähimmäisvaatimukset.

Rakennesosan sijoittuminen kemiallisesti aggressiiviseen ympäristöön ei johda välttämättä sulfaatinkestävän sementin käyttöön.

XA 1-rasitusluokassa voidaan käyttää taulukon 3 mukaisia sementtilaatuja, joten kaikkia Suomessa valmistettavia sementtejä voidaan käyttää rasitusluokan XA 1 vaatimukset täyttävään betoniin.

Jos sillan rakenneosa kuuluu ympäristöluokkiin XA 2 tai XA 3 ympäristön sulfaattipitoisuuden perusteella, sulfaatinkestävää sementtiä on käytettävä. Sulfaatinkestäviä sementtilaaduista Suomessa valmistetaan sulfaatinkestävää portlandsementtiä

CEM I 42,5 N (SR). Sulfaatinkestävyysvaatimuksen täyttää myös sideainekoostumus, jonka masuunikuonapitoisuus on vähintään 70 %. Jos rakenteelle on asetettu sulfaatinkestävyys- ja P-lukuvaatimus, käytetään sulfaatinkestävää portlandsementtiä CEM I (SR).

Taulukko 2. Betonin koostumuksen ja ominaisuuksien raja-arvot aggressiivisissa kemiallisissa ympäristöissä /3/.

Betonin koostumus ja ominaisuudet	Rasitusluokat aggressiivisissa kemiallisissa ympäristöissä		
	XA 1	XA 2	XA 3
Suurin v/s-suhde	0,50	0,45	0,40
Vähimmäis-lujuusluokka	K40	K45	K50
Vähimmäissementtimäärä (kg/m <sup>3</sup> )	300	320	330
Muut vaatimukset	Sulfaatinkestävä sementti <sup>1)</sup>		

<sup>1)</sup> Jos taulukon 1 mukainen SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-pitoisuus johtaa ympäristöluokkiin XA 2 tai XA 3, käytetään sulfaatinkestävää sementtiä.

SYL 3:n /1/ kohdassa 3.3.1.3.3 edellytetään, että jos sulfaatinkestävää portlandsementtiä käytetään kloridikorroosiorasitetuissa rakenneosissa kuten meriveden vaihtelualueen ja roiskeiden alaisissa rakenteissa, reunapalkeissa ja risteys- ja alikulkuiltojen pilareissa, lisätään betonin tiiviyden parantamiseksi betonimassaan silikaa 3 – 5 % sideaineen määrästä.

Taulukko 3. Sallitut sementit XA-rasitusluokissa /4/.

Betonin sideainevaatimukset		Rasitusluokat aggressiivisissa kemiallisissa ympäristöissä		
		XA 1	XA 2	XA 3
Sallitut sementtilaadut		I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V II/A-LL II/A-M II/B-M III/A III/B	1)	1)* 2)
Suurimmat sallitut seosaine-lisäykset (% sementistä), kun käytetty sementti on CEM I	silika lentotuhka kuona	11 45 375	1)	1)* 2)

<sup>1)</sup> Sulfaattipitoisessa ympäristössä käytetään sulfaatinkestävää sementtiä

<sup>2)</sup> Vaatimukset arvioidaan tapauskohtaisesti

\*) Lisätty lähteestä 4 poiketen rasitusluokkasarakkeeseen XA 3 merkintä <sup>1)</sup>

## 5. SEMENTIN VALINNAN VAIKUTUKSIA BETONIN OMINAISUUKSIIN

Sulfaatinkestävän portlandsementin CEM I (SR) käyttö on viime vuosina yleistynyt sillanrakennuksessa sellaisissakin kohteissa, joissa sen käyttö ei ole tarpeellista ympäristön sulfaattirasituksen vuoksi.

Yksi syy käytön yleistymiseen on betoniteknologinen. Betonin vedentarve on CEM I (SR) sementtiä käytettäessä pienempi kuin muita Suomessa valmistettavia sementtilaatuja käytettäessä, jolloin voimakkaasti vesi-sementtisuhteesta riippuva P-luku on ollut helpompi saavuttaa.

CEM I (SR) sementillä valmistettu betoni on värisävyltään tummempaa kuin markkinoilla olevilla muilla sementeillä valmistettu betoni. Kohteissa, joissa käytetään muottikangasta, pinnasta tulee tummempi kuin ilman muottikangasta ja tällöin betonin tummuus korostuu entisestään CEM I (SR) sementtiä käytettäessä. Väriä tummentaa edelleen CEM I (SR) sementin yhteydessä käytettävä silika.

Kloridirasituksen alaisissa sillan osissa kuten reunapalkit ja pilarit edellytetään CEM I (SR) sementin yhteydessä silikan käyttämistä betonin tiivyyden parantamiseksi. Silikan saatavuudessa on kuitenkin viime vuosina esiintynyt ongelmia. Tämän johdosta, kun sillan rakennussuunnitelmassa on edellytetty CEM I (SR) sementin käyttämistä vaikka ympäristön sulfaattirasitus ei olisi sitä edellyttänyt, on siltojen rakennusvaiheessa jouduttu suunnitelmia muuttamaan.

## 6. KIRJALLISUUS

Tiehallinnon julkaisut ovat osoitteessa [www.tiehallinto.fi/sillat](http://www.tiehallinto.fi/sillat) kohdissa Suunniteluohjeet ja Rakentamisohjeet.

- /1/ Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Betonirakenteet – SYL 3. Tiehallinto 2005. 79 s. TIEH 2200034-05. + päivityssivu [www.tiehallinto.fi/sillat](http://www.tiehallinto.fi/sillat)
- /2/ Ympäristöministeriö 2004. B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Betonirakenteet, OHJEET 2005.
- /3/ SFS-EN 206-1. 2001. Betoni. Osa 1: Määrittely, Ominaisuudet, Valmistus ja Vaatimustenmukaisuus, Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 72 s.
- /4/ by 50 Betoninormit 2004. Suomen Betoniyhdistys r. y. Helsinki 2004. ISBN 952-5075-60-5, ISSN 0358-5239 + korjaukset [www.betoniyhdistys.fi](http://www.betoniyhdistys.fi)
- /5/ Betonirakenneohjeet 2006. Tiehallinto. 33 s. TIEH 2100037-v-06.
- /6/ Siltabetonien P-lukumenettely. Tiehallinnon selvityksiä 30/2005. Lokakuu 2006. TIEH 3200942-v.
- /7/ SFS- EN 196-2. Sementin testausmenetelmät. Osa 2: Kemialliset analyysimenetelmät
- /8/ SFS-EN ISO 10304-1. Veden laatu. Liuenneiden fluoridi-, kloridi-, nitriitti-, ortofosfaatti-, bromidi-, nitraatti- ja sulfaatti-ionien määrittely ionikromatografialla. Osa 1: Menetelmä vähän likaantuneelle vedelle.

**Pohjavesien keskimääräinen sulfaattipitoisuus Suomessa**



Kuva 1. Pohjavesien keskimääräinen sulfaattipitoisuus mg/l Suomessa /4/.