

TUTKIMUSSELOSTUS A-6565M1

EI-METALLISTEN TANKOJEN PÄÄPÄÄKKÄS-SUOLAKESTÄVYYS



CONTESTA

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

Jakelu:

Ossi Räsänen

Tiehallinto

Asiantuntijapalvelut, siltatekniikka

PL 33

00521 Helsinki

Tarkastaja, pvm

Hyväksyjä, pvm

EI-METALLISTEN TANKOJEN PAKKAS-SUOLAKESTÄVYYS. ALUSTAVAT KOKEET

1 TILAAJA

20.6.2005/Tiehallinto, asiantuntijapalvelut, siltatekniikka.

2 TEHTÄVÄ

Tavoitteena oli laboratoriokokeiden avulla alustavasti osoittaa lasikuitutankojen ja niistä tehtyjen betonirakenteiden säilyvyys pakkas-suolarasituksessa. Hiilikuitutankojen osalta tehtiin tässä vaiheessa kokeita rajoitetummin.

3 TAUSTA

Ei-metalliset tangot on esitutkimuksessa ”Siltojen raudoitteiden korvaaminen ei-metallisilla tangoilla ja punoksilla” /1/ todettu 100 vuoden suunnittelukäyttöään puitteissa elinkaarikustannuksiltaan edullisiksi betonisilloissa. Samassa esitutkimuksessa on todettu myös tarve testata ei-metallisten tankojen ja niiden avulla tehtyjen betonirakenteiden säilyvyys pakkas-suolarasituksessa suomalaisissa olosuhteissa. Ei-metalliset tangot eivät ruostu pakkas-suolarasituksessakaan, mutta esimerkiksi niiden vetolujuus todennäköisesti pienenee. Tätä asiaa voidaan tutkia kokeilla laboratoriossa ja pitkäaikaisilla kenttäkokeilla. Tässä tutkimuksessa tehtiin vain lyhytaikaiset laboratoriokokeet erityisesti lasikuitutankojen osalta. Tässä tutkimuksessa ei vielä tutkittu ko. tankojen ja rakenteiden kaikkien ominaisuuksien kuten esimerkiksi kimmokertoimen ja murtovenymän muutoksia tangoissa vaan keskityttiin vain muutamaan keskeiseen ominaisuuteen suppeiden koesarjojen, alustavien kokeiden avulla.

4 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimustulokset on esitetty yksityiskohtaisesti liitteessä 1.

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tuloksia tarkastellaan tässä kohdassa yhteenvetona. Yksittäiset tutkimustulokset on esitetty liitteessä 1.

5.1 Yleistä

Tulosten tarkastelussa on otettava huomioon, että kokeissa saaduista tankojen vetolujuuksista voidaan todeta vain erilaisten pitkäaikaisrasitusten vaikutus niihin. Johtopäätösten teossa on otettava huomioon myös koekappaleiden pieni määrä erityisesti hiilikuitutankojen osalta. Tulokset ovat siis vain suuntaa ja suuruusluokan antavia.

5.2 Tartuntavoima

Lasikuitutankojen tartuntavoima oli pienentynyt noin 10 % 100:n pakkas-suolasyklin jälkeen. Hiilikuitutangolla (vain yksi näyte) ei merkittävää muutosta tapahtunut.

5.3 Palkkien taivutuslujuus

Palkin, jossa oli lasikuitutanko, taivutuslujuus oli pienentynyt 50:n pakkas-suolasyklin jälkeen noin 18 %, mutta oli vain 3 % pienempi 100:n syklin jälkeen.

Palkin (vain yksi näyte), jossa oli hiilikuitutanko, taivutuslujuus oli suurentunut noin 15 % 100:n syklin jälkeen.

5.4 Tankojen suolankestävyys

Lasikuitutankojen vetolujuus ei muuttunut oleellisesti 3 kk:n suolaliuosrasituksen (kylläinen liuos) jälkeen, mutta 6 kk:n jälkeen se oli pienentynyt noin 14 %.

Hiilikuitutankojen vetolujuus oli pienentynyt 3 kk:n suolaliuosrasituksen jälkeen noin 28 % ja 6 kk:n jälkeen noin 39 %.

5.5 Tankojen pakkas-suolakestävyys

Lasikuitutankojen vetolujuus oli pienentynyt noin 13 % 50:n pakkas-suolasyklin jälkeen ja 100:n syklin jälkeen se oli pienentynyt noin 24 %.

Hiilikuitutankojen vetolujuus oli pienentynyt noin 33 % 50:n pakkas-suolasyklin jälkeen ja 100:n syklin jälkeen se oli pienentynyt noin 58 %.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suola- ja pakkas-suolarasitus pienentävät sekä lasikuitu- että hiilikuitutankojen (eivät betonin sisällä) vetolujuutta merkittävästi. Hiilikuitutangoilla tämä vaikutus on merkittävämpi kuin lasikuitutangoilla.

Jos nämä tangot ovat huononkin betonin sisällä, pakkas-suolarasituksen vaikutukset jäävät oleellisesti pienemmiksi. Hyvä betoni, joka estää kloridien tunkeutumisen betoniin, suojaaa lasi- ja hiilikuitutankoja lujuuden muutoksilta pakkas-suolaolosuhteissa. Jos lasi- ja hiilikuitutankoja suojaava betoni läpäisee hyvin klorideja, on pitkällä ajankänteellä kloridirasituksen tuloksena tankojen vetolujuuden pienenemisen vaara. Huononkin betoni ja pienikin betonipeite estivät lasi- ja hiilikuitutankojen oleelliset vetolujuuden muutokset 100:n syklin pakkas-suolarasituksessa.

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

- LIITE
1. Tutkimustulokset, 7 s.
 2. Tiivistelmä ja Abstract, 1 s.

LÄHTEET:

1. Siltojen raudotteiden korvaaminen ei-metallisilla tangoilla ja punoksilla. Contesta Oy, tutkimusselostus A-5552, v. 2005.

TUTKIMUSTULOKSET

1 KOEBETONI JA EI-METALLISET TANGOT

Koebetonina käytettiin suolan imeytymisen nopeuttamiseksi huokostettua (ilmapitoisuus 4,5 %) betonia, jonka vesisideainesuhte oli 0,75. Contesta Oy hankki betonikoostumuksen edellyttämät osamateriaalit ja valmisti kokeissa tarvittavat koekappaleet. Sementtilaji oli ”yleissementti” CEM II/A-M(S-LL)42.5N ja sementin määrä oli 292 kg/m³.

Betonista testattiin tuoreen betonin perusominaisuudet (notkeus, tiheys ja ilmamäärä) sekä betonin 1, 7 ja 28d puristuslujuus, taulukot 1 ja 2.

Taulukko 1. Betonin puristuslujuus.

Ikä d	Puristuslujuus MN/m²
1	3,8
7	18,0
28	21,5

Taulukko 2. Tuoreen betonin perusominaisuudet.

Notkeus, leviämä mm	Tiheys kg/m³	Ilmamäärä l/m³
605	2170	76

Pakkas-suolarasitusten jälkeen betonin sementtiliima oli kaikkien koekappaleiden pinnassa syöpynyt 1-2 mm.

Lasikuitu- ja hiilikuitutangot (halkaisija 6 mm, pituudet 50 ja 90 cm, kvartsihiekkapinnoite) tilattiin kanadalaiselta valmistajalta Pultrallilta. Näitä tuotteita on käytetty jo useissa betonisilloissa Kanadassa ja USA:ssa.

Tankojen alustavissa vetokokeissa murtui ensin tankojen hiekkapinnoite. Tankojen päihin liimattiin ensin metallivahvikkeet hiekkapintaan (pinnoite irtosi vedossa). Sen jälkeen irrotettiin ensin tangon hiekkapinnoite, ja liimattiin metallivahvike ”puhtaan” tangon ympärille. Tällöin liimaliitos murtui tangon vedossa. Tämän jälkeen tangot vedettiin ilman vahvikkeita ja ne murtuivat tangon puolesta välistä ”repeytymällä” epoksisideaineen murtuessa (ei puhdas suora veto). Tankojen olisi em. syistä johtuen pitänyt olla oleellisesti pidempiä, jotta ne olisi voitu vetää poikki tangon päihin kiinnitettävien metallivahvikkeiden (kanadalainen ohje) avulla. Nyt käytetylläkin vetotavalla saatiin riittävän luotettavasti selvitettyä eri rasitusolosuhteiden vaikutus tangon vetolujuuteen.

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

2 ULOSJETOKOE

Lasikuitutangoille ($\varnothing 6$ mm, $L = 500$ mm) tehtiin pakkas-suolarasituksen (100 sykliä vanhaa standardia SFS 5449 soveltaen) jälkeen ulosvetokoe. Tangot valettiin keskeisesti betonikuutioihin $100 \times 100 \times 100$ mm³. Tanko sijoitettiin keskelle muottia valusuuntaan nähden pystyyn, kuva 1. Tangon yläpää suojattiin teipillä. Tangon ja betonin välinen tartunta poistettiin betonikuution ylä- ja alapinnasta 30 mm:n matkalta kahdella muovisella suojaputkella. Muoviputken ja tangon välinen liitos tiivistettiin teipillä. Tartuntapituudeksi jäi 5×8 mm = 40 mm ($5 \times \varnothing$). Ulosvetokokeessa mitattiin vain murtovoima, kuva 2. Ulosvetokoetta varten tehtiin betonikuutiota varten metallinen ulosvetokotelo, kuva 2. Pakkas-suolarasitukseen laitettiin 3 koekappaleita ja normaalisäilytykseen vertailukoekappaleet 3 kpl. Hiilikuitutangoille tehtiin vastaavat kokeet (koekappaleita oli kuitenkin vain 1 + 1 kpl).



Kuva 1. Ulosvetokoekappaleiden valun muottivaihe.



Kuva 2. Tartuntavetokoe. Koekappale pakkas-suolakokeen jälkeen.

Tartuntavetokokeiden tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Tartuntavetokokeiden tulokset vertailukoekappaleille ja 100 syklin jälkeen. Ka on keskiarvo.

Koekappale	Tartuntavoima kN
N15 _{verlasi}	6,6
N16 _{verlasi}	6,8
N17 _{verlasi}	4,0
	Ka 5,8
N _{verhiili}	5,5
N12 _{lasi}	5,2
N13 _{lasi}	4,6
N14 _{lasi}	5,7
	Ka 5,2
N10 _{hiili}	5,4

3 BETONIPALKKIEN TAIVUTUSLUJUUS

Em. koebetonista valmistettiin betonipalkit 3 + 3 + 3 kpl (100 x 70 x 820 mm³), joissa alapinnan raudoitteena oli lasikuitutanko, kuva 3. Betonipeite oli 5 mm. Kuusi näistä

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

betonipalkeista laitettiin pakkas-suolatestiin em. vanhaa standardia SFS 5449 soveltaen (100 sykliä). Tämän jälkeen kolmelle pakkas-suolarasituksessa olleelle ja kolmelle vertailupalkille tehtiin taivutuslujuuskoe, kuva 4. Kolmelle pakkas-suolarasituksessa olleelle palkille tehtiin taivutuslujuuskoe jo 50:n syklin jälkeen. Kokeen jälkeen koekappaleet halkaistiin ja tutkittiin silmämääräisesti mahdolliset vauriot betonissa ja tangoissa. Pakkas-suolarasituksen jälkeen palkit olivat pinnaltaan 1-2 mm syöpyneitä ja yhdessä palkissa oli halkeama alapinnassa sadan syklin jälkeen. Muita merkittäviä vaurioita ei havaittu. Hiilikuitutankopalkille tehtiin vastaavat kokeet (koekappaleita kuitenkin vain 1 + 1 kpl). Palkit murtuivat taivutusmurtona.

Betonipalkkien taivutuslujuuskokeiden tulokset on esitetty taulukossa 4. Tulokset on laskettu betonipalkin kaavoilla eli niistä nähdään vain pakkas-suolarasituksen aiheuttamat muutokset. Viivakuormitus oli palkin jännevälin kolmasosapisteissä.

Taulukko 4. Betonipalkkien taivutuslujuudet 50:n ja 100:n syklin jälkeen. Ka on keskiarvo.

Koekappale	Taivutusvetolujuus MN/m²
N26 _{verlasi} N27 _{verlasi} N28 _{verlasi}	10,2 9,5 9,9 Ka 9,9
N19 _{verhiili}	13,5
N23 _{50lasi} N24 _{50lasi} N25 _{50lasi}	8,1 7,9 8,2 Ka 8,1
N20 _{100lasi} N21 _{100lasi} N22 _{100lasi}	8,8 10,2 9,9 Ka 9,6
N18 _{100hiili}	15,6

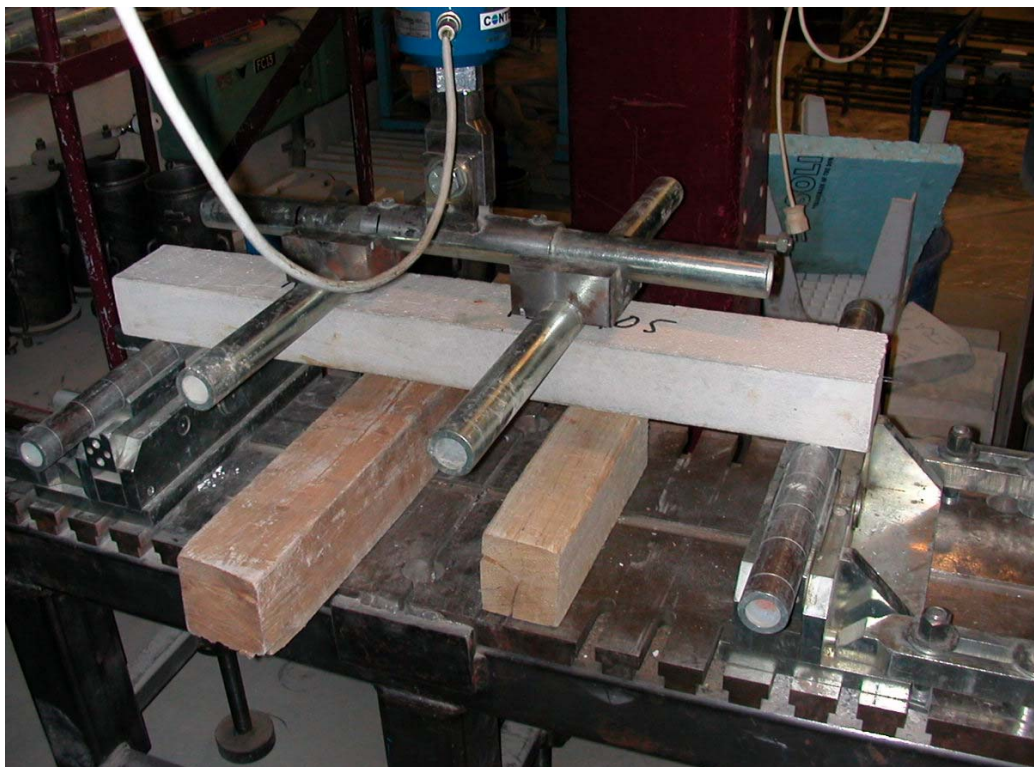
Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1



Kuva 3. Koepalkkien valun muottivaihe.



Kuva 4. Vertailupalkin taivutuslujuuskoe.

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

4 EI-METALLISTEN TANKOJEN SUOLAN- JA PAKKASENKESTÄVYYS

3 + 3 lasi- ja hiilikuitutankoa säilytettiin kylläisessä suolaliuoksessa 6 kk:n ajan. Tämän jälkeen kolmelle suolaliuoksessa säilytetylle lasi- ja hiilikuitutangolle ja kolmelle lasi- ja hiilikuituvertailutangolle tehtiin vetolujuuskokeet. Kolmelle lasi- ja hiilikuitutangolle tehtiin vetokoe jo 3 kk:n suolaliuosrasituksen jälkeen.

3 + 3 lasi- ja hiilikuitutankoa laitettiin pakkas-suolakokeeseen (100 sykliä) standardia SFS 5449 soveltaen. Tämän jälkeen näille ja vertailutangoille tehtiin vetolujuuskokeet. Kolmelle jäädytys-sulatusrasituksessa olleelle lasi- ja hiilikuitutangolle tehtiin vetokoe jo 50:n syklin jälkeen.

Tankojen vetokokeessa mitattiin vain murtovoima. Suola- ja pakkasrasitettujen tankojen pintarakennetta tarkasteltiin ennen vetokoetta. Merkittäviä ulkoisia muutoksia ei ollut nähtävissä.

Tankojen suolankestävyyskokeen tulokset on esitetty taulukossa 5. Tankojen pakkas-suolakokeen tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 5. Ei-metallisten tankojen vetolujuus 3 kk:n ja 6 kk:n suolarasituksen jälkeen. Ka on keskiarvo.

Koekappale	Vetolujuus N/mm ²
N1 _{verlasi} N2 _{verlasi} N3 _{verlasi}	954 830 883 Ka 889
N1 _{verhiili} N2 _{verhiili} N3 _{verhiili}	1060 1131 989 Ka 1060
N38 _{3lasi} N39 _{3lasi} N40 _{3lasi}	1004 866 841 Ka 904
N32 _{3hiili} N33 _{3hiili} N34 _{3hiili}	707 784 813 Ka 768
N35 _{6lasi} N36 _{6lasi} N37 _{6lasi}	799 749 756 Ka 768
N29 _{6hiili} N30 _{6hiili} N31 _{6hiili}	700 636 608 Ka 648

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

Taulukko 6. Ei-metallisten tankojen vetolujuus 50:n ja 100:n pakkas-suolasyklin jälkeen. Ka on keskiarvo.

Koekappale	Vetolujuus N/mm²
N50 ₅₀ lasi	724
N51 ₅₀ lasi	830
N52 ₅₀ lasi	777
	Ka 777
N44 ₅₀ hiili	724
N45 ₅₀ hiili	707
N46 ₅₀ hiili	696
	Ka 709
N47 ₁₀₀ lasi	714
N48 ₁₀₀ lasi	678
N49 ₁₀₀ lasi	636
	Ka 676
N41 ₁₀₀ hiili	580
N42 ₁₀₀ hiili	353
N43 ₁₀₀ hiili	410
	Ka 448

Juha Ratvio

5.5.2006

A-6565M1

TIIVISTELMÄ

Ei-metalliset tangot on todettu 100 vuoden suunnittelukäyttöiän puitteissa elinkaari-kustannuksiltaan edullisiksi betonisilloissa. Samoin on todettu myös tarve testata ei-metallisten tankojen ja niiden avulla tehtyjen betonirakenteiden säilyvyys pakkas-suolarasituksessa suomalaisissa olosuhteissa. Ei-metalliset tangot eivät ruostu pakkas-suolarasituksessakaan, mutta esimerkiksi niiden vetolujuus todennäköisesti pienenee. Tätä asiaa voidaan tutkia kokeilla laboratoriossa ja pitkäaikaisilla kenttäkokeilla. Tässä tutkimuksessa tehtiin vain lyhytaikaiset laboratoriokokeet erityisesti lasikuitutankojen osalta ja keskityttiin vain muutamaa keskeiseen ominaisuuteen suppeiden koesarjojen, alustavien kokeiden avulla.

Suola- ja pakkas-suolarasitus pienentävät sekä lasikuitu- että hiilikuitutankojen (eivät betonin sisällä) vetolujuutta merkittävästi. Hiilikuitutangoilla tämä vaikutus on merkittävämpi kuin lasikuitutangoilla.

Jos nämä tangot ovat huononkin betonin sisällä, pakkas-suolarasituksen vaikutukset jäävät oleellisesti pienemmiksi. Hyvä betoni, joka estää kloridien tunkeutumisen betoniin, suojaa lasi- ja hiilikuitutankoja vetolujuuden muutoksilta pakkas-suolaolosuhteissa. Jos lasi- ja hiilikuitutankoja suojaava betoni läpäisee hyvin klorideja, on pitkällä aikajänteellä kloridirasituksen tuloksena tankojen vetolujuuden pienenemisen vaara. Huonokin betoni ja pienikin betonipeite estivät lasi- ja hiilikuitutankojen oleelliset vetolujuuden muutokset 100:n syklin pakkas-suolarasituksessa.

ABSTRACT

The lifetime costs of non-metallic bars in concrete bridges have indicated to be advantageous during a 100 years design service life. However, it has also found to be necessary to test the durability of non-metallic bars and constructions in frost-salt conditions in Finnish conditions.

Obviously, the non-metallic bars do not rust even in frost-salt conditions, although there might be some decrease e.g. in their tensile strengths. This hypothesis can be investigated either with accelerated laboratory tests or with long-term field tests. In this research, only some preliminary short time laboratory tests were made, the focus of the test programme being only in some key properties of the non-metallic bars and concretes.

In salt and frost-salt conditions, the tensile strengths of the glass and carbon fibre bars (not cast in concrete) were significantly decreased. This effect was more pronounced in the carbon fibre bars than in the glass fibre bars.

If these bars were cast even in a poor-quality concrete, the effect of frost-salt conditions seemed to stay essentially smaller. A good-quality concrete preventing effectively the penetration of chlorides into concrete, protects glass and carbon fibre bars against changes of tensile strength in frost-salt conditions. However, if the concrete protecting the glass and carbon fibre bars has a high chloride penetration, there is a danger of decrease of tensile strength of the bars during a long-term chloride conditions. Even a poor-quality concrete and a thin concrete cover prevented essentially the changes of tensile strength of glass and carbon fibre bars in a 100 cycles frost-salt conditions.