






Betonin alkaliviainesreaktioseminaari AKR workshop, 24.1.2012

Kirjoittajat: Erika Holt, Hannu Pyy ja Miguel Ferreira (toim.)

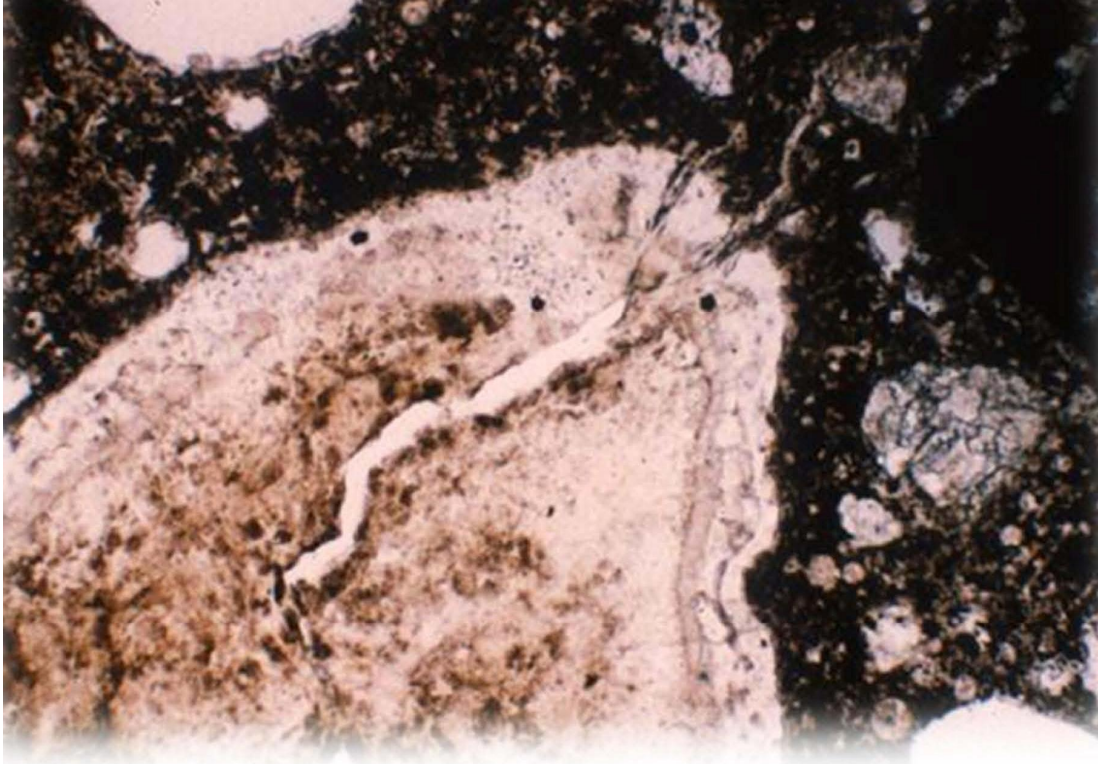
Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Betonin alkalikiviainesreaktioseminaari, AKR Workshop, 24.1.2012	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot	Asiakkaan viite
Projektin nimi Betonitekniset taitorakennetutkimukset 2011	Projektin numero/lyhytnimi 74817 / BTS2011
Raportin laatija(t) Erika Holt, Hannu Pyy ja Miguel Ferreira (toim.)	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 48 s.
Avainsanat betoni, alkali, kiviaines, reaktio	Raportin numero VTT-R-00763-12
Tiivistelmä Tämä raportti on tiivistelmä Betonin alkalikiviainesreaktioseminaarista, joka pidettiin VTT:llä 24.1.2012. Seminaarissa luotiin yleiskatsaus AKR:ään ja esitettiin suomenkielisen kyselyn tulokset AKR:n esiintymisestä. VTT:n raportti (VTT-CR-00554-12) Liikennevirastolle samasta aiheesta on julkisesti saatavissa sekä suomeksi että englanniksi helmikuussa 2012.	
Luottamuksellisuus	julkinen
Espoo, 31.1.2012	
Laatija  Erika Holt Erikoistutkija	Tarkastaja  Markku Leivo Johtava tutkija
	Hyväksyjä  Eila Lehmus Teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot Teknologian tutkimuskeskus VTT, PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111 (vaihe), sähköposti: etunimi.sukunimi@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>	

Sisällysluettelo

1	Seminaariesite.....	3
2	Ohjelma	4
3	Esityskalvot.....	5
4	Esimerkkikysely	46
5	Osallistajat	48

1 Seminaariesite



BETONIN ALKALIKIVIAINESREAKTIO SEMINAARI

VTT:LLÄ ESPOOSSA 24.1.2012 – VTT & SUOMEN BETONIIYHDISTYS

Alkalikiviainesreaktio on betonissa todettu kemiallinen reaktio, joka pahimmillaan voi johtaa vakaviin vaurioihin rakenteissa. Kyse on useimmiten ulkorakenteista, mutta myös sisätiloissa, kuten hyvin kosteat tai märät ja lämpimät tilat, reaktiota tavataan.

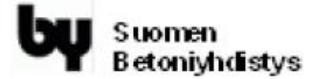
Seminaari sisältää aihetta käsitteleviä esityksiä, joissa paneudutaan mm. nykyiseen tietämykseen alkali-reaktion mekanismeista, sekä ulkomailla tehtyihin tutkimuksiin ja ohjeistuksiin. Lisäksi tilaisuudessa esitellään VTT:llä loppuvuodesta 2011 tehdyn alkalireaktiota käsittelevän kansallisen esitutkimuksen tuloksia.

Tilaisuus on tarkoitettu kaikille, joita alkalireaktioon ja sen mahdollisuuteen liittyvät asiat kiinnostavat, kuten suunnittelijat, teollisuuden ja tutkimuksen parissa työskentelevät, rakennetun ympäristön käytöstä ja säilyvyydestä vastaavat jne.

Ajankohta: tiistai 24.1.2012 klo 9.00 – 12.00
Paikka: VTT; Vuorimiehentie 3, Otaniemi, Espoo
Tilaisuus on maksuton

Ilmoittautumiset viimeistään 23.1.2012 sähköpostilla tai puhelimella:
Hannu Pyy (hannu.pyy@vtt.fi tai 040 507 2071) tai Erika Holt (erika.holt@vtt.fi tai 040 593 1986)
Ilmoittauduttaessa mainitkaa yrityksen, henkilön nimen, sähköpostiosoite ja puhelinnumero..

2 Ohjelma



BETONIN ALKALIKIVIAINESREAKTIO SEMINAARI

24.01 2012, klo. 9-12

VTT, Vuorimiehentie 3 (Digitalo), Espoo

ESITYSLISTA

- 9.05 Tervetuloa (Erika Holt)
- 9.10 Esittäytyminen
- 9.20 Taustaa AKR:ään ja tutkimukseen (Hannu Pyy)
- 9.45 Kokemuksia AKR:stä Suomessa (Jouni Huura, Huura Oy)
- 10.15 Kansainvälisiä näkökulmia (Miguel Ferreira)
- 10.30 *Kahvitauko*
- 11.00 Tulokset vuoden 2011 AKR-tutkimuksesta (Hannu Pyy)
- 11.30 Tutkimustarpeet Suomessa (Markku Leivo)
- 11.50 Keskustelu ja yhteenveto

Yhteystiedot:

erika.holt@vtt.fi tai hannu.pyy@vahanen.com (1.2.2012 alkaen)

3 Esityskalvot

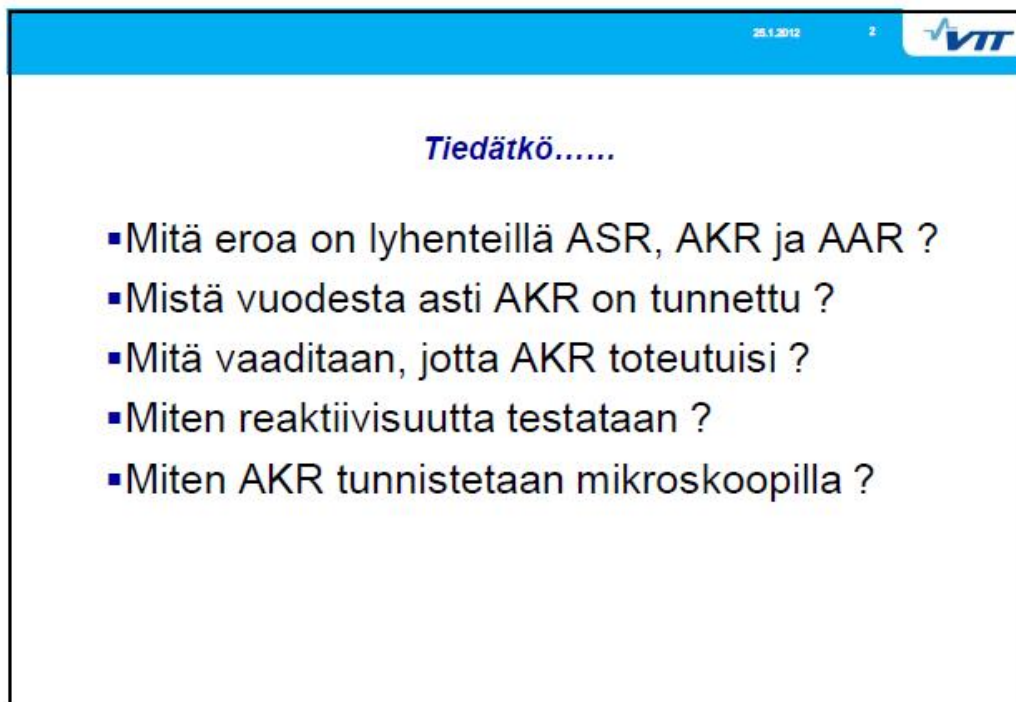



Teknologiasta liiketoimintaa

Betoin Alkalikiviainesreaktio Seminaari

24.1.2012, klo 9-12
Vuorimiehentie 3, Espoo
Hannu Pyy, Erika Holt, Miguel Ferreira

by Suomen
Betoniyhdistys



25.1.2012 2 

Tiedätkö.....

- Mitä eroa on lyhenteillä ASR, AKR ja AAR ?
- Mistä vuodesta asti AKR on tunnettu ?
- Mitä vaaditaan, jotta AKR toteutuisi ?
- Miten reaktiivisuutta testataan ?
- Miten AKR tunnistetaan mikroskoopilla ?

28.1.2012 3 




Esityslista

9.05 Tervetuloa (Erika Holt)
9.10 Esittäytyminen
9.20 Taustaa AKR:ään ja tutkimukseen (Hannu Pyy)
9.45 Kokemuksia AKR:stä Suomessa (Jouni Huura, Huura Oy)
10.15 Kansainvälisiä näkökulmia (Miguel Ferreira)

10.30 Kahvitauko

11.00 Tulokset vuoden 2011 AKR-tutkimuksesta (Hannu Pyy)
11.30 Tutkimustarpeet Suomessa (Markku Leivo)
11.50 Keskustelu ja yhteenveto

28.1.2012 4 

Tillsvidare har alkalikiselreaktioner inte rapporterats i Finland. Detta är, det vågar jag säga, ett under om man tänker på den geologiska sammansättningen av Finlands berggrund och det faktum, att alkalikiselreaktioner har rapporterats från länder omkring oss. Hur kunde det finnas en vit fläck på kartan.

Jag hoppas, så önskat som det är, att också vi kunde rapportera om alkalikiselreaktioner.

***Hannu Pyy, May 1992. "Finska potentiellt raktiva borgarter."
Proceedings Nordic mini-seminar: Alkalikiselsyrareaktioner.
Cement och Betong Institutet, Stockholm.***

28.1.2012 5 

Taustaa alkalireaktioon ja sen tutkimiseen (Hannu Pyy)

28.1.2012 6 

Sisältö

- Mistä alkalireaktiossa on kyse ??
- AKR:ään vaikuttavat tekijät ?
- Tutkimushavaintoja
- AKR-testit

.... mutta ensin

“...the hypothesis of alkali-silica reaction has *no basis except foggy language, unsupported assertions, and trivial circumstances...* and there is *no evidence* to show that high alkali cement contributed in any way to the cracking, expansion, or failure of the dam...”

Duff A. Abrams, ASCE, 1946

Nyt, lähes 70 vuotta myöhemmin tiedämme, että Duff A. Abramsin kaltaiset reaktiot on pystytty tieteellisesti torjumaan, mutta betonirakenteissa todettujen alkalireaktioiden torjunnassa on vielä työsarkaa ja ratkaisemattomia asioita.....

Käsitteitä

- Alkalikiviainesreaktio (AKR) yleisnimitys betonissa todetuille kiviaineksen ja alkalisten ainesten välisille reaktioille. *Englanniksi alkali-aggregate reaction (AAR)*
- Alkalipiihapporeaktio (ASR). *Englanniksi alkali-silica reaction (ASR)*. (Tällä hetkellä SFS-EN 16260:ssa käännetty alkalipiiyhdistereaktioksi) Silica = piihappo = SiO₂
- Alkalisilikaattireaktio. *Englanniksi alkali-silicate reaction.*
- Alkalikarbonaattireaktio. *Englanniksi alkali-carbonate reaction (ACR).*
- Kiviainesreaktioiden lisäksi reaktioita seosaineiden kanssa

Mikä on AKR?

- Kyse on kiviaineksen tiettyjen mineraalien ja sementtikiven huokosveden sisältämien alkaliain (Na⁺ and K⁺) ja hydroksyyli (-OH) ionien välisestä kemiallisesta reaktiosta
- Reagoivana aineksena kiviaineksessa ovat yleensä tietyt, lähinnä amorfiset, heikosti kiteytyneet tai epätasapainossa olevat kiteisemmät piihapon muodot
- Reaktiossa syntyy alkaligeeliä, joka voi olla hyvin hygroskooppista ja johtaa voimakkaasti paisuvan geelin muodostumiseen


Vauriot betonissa

- Voimakkaasti paisuvan geelinmuodostuksen seurauksena:
 - Betoniin syntyy jännityksiä
 - Halkeamia kiviainesrakeisiin, pastaan ja tartuntoihin
 - Betonin mekaaniset ominaisuudet heikkenevät
 - Pinnalle yltävän halkeilun synty mahdollistaa veden pääsyn rakenteeseen >> pakkasvaurion riski kasvaa
 - Suolojen pääsy helpottuu >> teräskorroosion riski kasvaa
 - Betonin karbonatisoituminen nopeutuu halkeiluverkkoa pitkin

28.1.2012 11 

Mikä on AKR?

- **Alkalipiihapporeaktio (ASR)**
 - ylivoimaisesti yleisin
 - Ei yksiselittäistä käsitystä mekanismista ja syntyvistä voimista
 - Reagoivana aineksena kiviaineksessa ovat lähinnä amorfiset, heikosti kiteytyneet tai epätasapainossa olevat kiteisemmät piihapon muodot: (opal, chalcedony, chert, flint, stressed/deformed/strained forms of quartz)
 - Reaktionopeus on riippuvainen monista tekijöistä, kuten sementin alkalimäärästä, lämpötilasta, reaktiivisen aineksen määrästä (jos reaktiivista ainesta liian vähän tai liiaan paljon > ei reaktiota), kosteudesta jne.
 - Samat tekijät ovat vaikuttamassa siihen, mikä on syntyvän geelin paisumisominaisuus
 - Reaktiossa syntyvä alkali-piigeeli on kirkasta ja lasimaista

28.1.2012 12 


Mikä on AKR?

- **Alkalisilikaattireaktio:**
 - Hitaasti paisuvaa geliä tuottava reaktio
 - Mekanismitaan hyvin ASR:n kaltainen
 - Joidenkin tutkijoiden mukaan ei oma reaktiotyyppinsä, vaan alamuoto ASR:stä >> reagoivana aineena piihappo

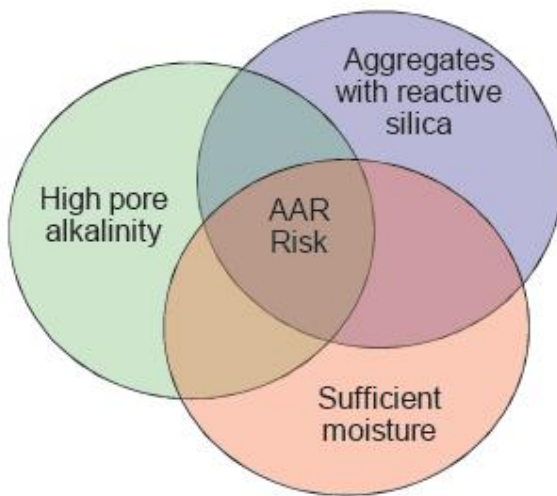
25.1.2012 13 

Mikä on AKR?

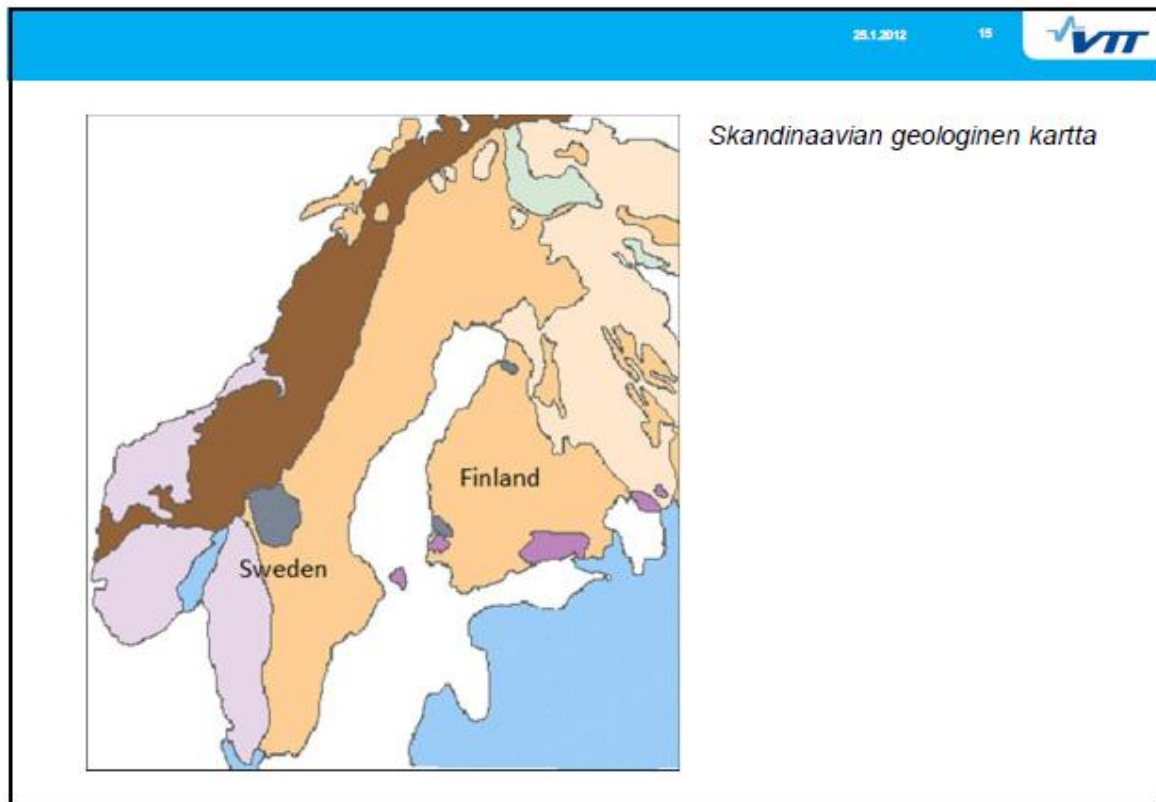
- **Alkalikarbonaattireaktio:**
 - Alakli-hydroksyylihydroksyylireaktio savipitoisissa, hienorakeisissa dolomiittikivissä
 - Hyvin nopeaa paisuminen ja voimakas halkeilun muodostuminen, joka ei kuitenkaan johdu paisuvan geelin muodostumisesta vaan saven paisumisesta.
 - Erittäin harvinainen (yleisempi mm. Kanadassa ja Kiinassa)

25.1.2012 14 

Mitä tarvitaan AKR:n syntyyn



The diagram is a Venn diagram with three overlapping circles. The top-left circle is green and labeled 'High pore alkalinity'. The top-right circle is purple and labeled 'Aggregates with reactive silica'. The bottom circle is orange and labeled 'Sufficient moisture'. The central area where all three circles overlap is shaded brown and labeled 'AAR Risk'.



25.1.2012 16 

Mitä tarvitaan AKR:n syntyyn

- **Reaktiiviset kiviainekset:**
 - Kivet, joissa reaktion kannalta kriittinen määrä reaktiivista piidioksidia, kuten:
 - chert and flint containing chalcedony;
 - acidic and intermediate volcanic rocks, such as rhyolite, dacite, latite, and andesite,
 - porphyries and tuffs;
 - shale and slate;
 - quartz sandstone, siltstone, and quartzite;
 - siliceous carbonate rocks;
 - graywackes; argillites;
 - phyllites;
 - certain granites and granodiorites;
 - deformed gneisses ...

Mitä tarvitaan AKR:n syntyyn

- **Korkea alkalipitoisuus:**
 - Kaikki alkalilähteet tulee huomioida
 - Useimmiten vain sementin alkalit huomioidaan
 - Tyypillisesti alhaisalkalisementiksi määritetään sementti, jonka alkalipitoisuus ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) < 0.60%
 - Kun AKR:n riski kasvaa, on joissain maissa alkalipitoisuuden rajaksi määritetty 3 kg of $\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}/\text{m}^3$ betonia
 - Kun reaktiivisuus kasvaa, geelin muodostus voi tapahtua pienemmälläkin alkalimäärällä, jolloin AKR:n torjumiseen ei sementtivalinnalla yksin päästä
 - Yleisiä ulkopuolisia alkalilähteitä ovat liukkauden torjunnassa käytetyt suolat, merivesi, pohjavesi ja teollisuusprosessien vedet

Cement type/ Composition	CEM II/B-S 42,5 N Perus cement	CEM I 42,5 N - SR SR-cement	CEM II/A- M(S-LL) 42,5 N Yleis cement	CEM I 52,5 N White cement	CEM II/A-LL 42,5 R Rapid cement	CEM I 52,5 R Pika cement	Blast furnace slag - KJ400
CaO	64	63	65	69	65	64	40
SiO ₂	21	21	21	25	21	21	34
Al ₂ O ₃	4.3	3.3	5.2	2.1	5.2	4.3	9.3
Fe ₂ O ₃	3.0	4.0	3.1	0.3	3.1	3.0	-
MgO	2.9	2.9	2.6	0.7	2.6	2.9	11
SO ₃	3.0	3.1	3.1	2.2	3.7	3.5	-
K ₂ O	?	0.43	1.2	0.04	1.2	0.53	0.47
Na ₂ O	?	0.52	0.31	0.19	0.56	0.6	0.47
Free Lime	2.0	2.5	1.8	?	1.8	2.0	-
LOI	-	2.2	-	0.44	-	1.7	-
C ₃ A	6.5	2.0	8.5	5.0	8.5	6.5	-
Na ₂ O _{EQ}	?	0.80	1.10	0.22	1.35	0.95	0.78

ESIMERKKI suomalaisten sementtien ja kuonan kemiallisesta koostumuksesta (2007, Finnsementti Oy).


80% Suomessa käytetystä sementistä tulee Finnsementiltä (45% Yleis, 35% Rapid).

($\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$ recommendation <0.60% to avoid AAR)

25.1.2012 19 

Mitä tarvitaan AKR:n syntyyn

- **Kosteus:**
 - Kosteus mahdollistaa alkalien ja hydroksyylin kulkeutumisen reaktiivisiin kiviaineksiin
 - Syntyvä geeli imee kosteutta ja paisuu
 - Raja < 80%
- **Lämpötila:**
 - Korkea lämpötila yleensä kiihdyttää reaktiota
 - >> lämpimissä olosuhteissa (esim. Etelä-Eurooppa) AKR:n riski on huomattavasti suurempi kuin kylmissä olosuhteissa (Esim. Suomi)
 - Päinvastaisia reaktioesimerkkejäkin löytyy

25.1.2012 20 

Rakenteissa

- AKR:n aiheuttama paisunta ja vaurioituminen voi vaihdella elementistä toiseen
- Alkujaan luultiin, että veden merkitys on niin suuri, että riski koskee vain pato-, silta- ja laiturirakenteita, jotka välittömässä kosketuksessa veteen >> virheellinen käsitys
- AKR:n aiheuttama vaurioituminen voidaan sekoittaa pakkasvaurioon

28.1.2012 21

Rakenteissa

- Halkeilu muistuttaa usein aluksi kolmisakaraista tähteä ja muuttuu voimistuessaan epäsäännölliseksi verkkohalkeiluksi
- Halkeamat ulkopinnalla usein tummia tai vaaleita





28.1.2012 22

Rakenteissa

- Ampumat
- Paisuminen, elementtien kaareutumisen,
- Lohkeamat






25.1.2012 23 

AKR:n tutkiminen laboratoriossa

- Kiviaineksen petrograafinen tutkiminen
- Vaurioituneista rakenteista reaktiivisten kiviainesten, halkeilun ja geelin tutkiminen ohuthienäytteistä




AKR siltakohteessa (vasemmalla) ja paperitehtaassa (oikealla)

25.1.2012 24 

AKR:n tutkiminen laboratoriossa




AKR:n tutkinen Siltakohteessa Suomessa




25.1.2012 25 

AKR:n tutkiminen laboratoriossa

AKR graniittirakeessa
piipusta otetussa
näytteessä



25.1.2012 26 

AKR:n tutkiminen laboratoriossa





AKR hienorakeisessa liuskeessa siltakohteessa

25.1.2012
27


AKR:n tutkiminen laboratoriossa

- Accelerated expansion test of mortar bars (RILEM AAR-2 or ASTM C1260)
 - Acceleration performed with temperature (80°C in oven in NaOH solution)
 - Specimen: 25 x 25 x 285 mm³

- One year expansion test of concrete prisms (RILEM AAR-3 or ASTM C1293)
 - Stored in warm humid conditions for 12 months (wrapped and sealed at 38°C)
 - Specimen: 75 x 75 x 250 mm³




25.1.2012
28


Kokemuksia alkalireaktiosta Suomessa (Jouni Huura, Huura Oy)



ALKALI-KIVIAINESREAKTIO SEMINAARI
24.1.2012

Jouni Huura



AKR-seminaari
HÄMEENSILTA
- Rakennusvuosi 1929 -> tarkastus 1980-luku

HUURA OY

30

AKR-seminaari CASE TURKU



AKR-seminaari CASE TURKU - Reunapalkin uusiminen



AKR-seminaari



CASE TURKU

- Kansilaatan yläpinnan vesipiikkaus + muotoiluvalu



AKR-seminaari



CASE ORIVESI

- Törmäysvaurion korjaaminen



AKR-seminaari



CASE ORIVESI

- Laatan suhteellinen kosteus 97 – 99 %



HUURA OY

35

AKR-seminaari



CASE OULUJOKI



HUURA OY

36

AKR-seminaari CASE JOENSUU



HUURA OY

37

AKR-seminaari



ERIKOISTARKASTUKSEN ONGELMAT

- Alkalikiviainesreaktion tunnistaminen
- Vaurion laajuuden määrittäminen
- Vaurioasteen määrittäminen



HUURA OY

38

AKR-seminaari



KORJAUSSUUNNITTELUN PERIAATTEET

1. KOSTEUSRASITUKSEN PIENENTÄMINEN
 - pinnoitus
 - vedeneristys
2. VAURIOITUNEEN RAKENTEEN POISTAMINEN
 - valukorjaus
 - rakenteen uusiminen



HUURA OY

39

AKR-seminaari



CASE OUNASJOKI



HUURA OY

40


AKR-seminaari

CASE OUNASJOKI

- Alusrakenteen manttelointi




**Kansainvälisiä näkökulmia alkalireaktioon
(Miguel Ferreira)**

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25/01/2012 43 


Esityksen sisältö

- Maantieteellinen katsaus AKR:ään Euroopassa
- Eurooppalaiset suositukset ja standardit
- AKR Tanskassa
- AKR Portugalissa
- Yhteenveto

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25/01/2012 44 

AKR Euroopassa

- Maat, joissa AKR on tuntematon, tai joista ei tietoa ole saatavissa
- Maat, joissa raportoituja AKR-tapauksia
- Maat, joissa AKR:ään liittyvät ohjeet tai standardit



VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25012012 45

Yleiskatsaus AKR-ohjeisiin ja standardeihin

Maa	AT	BE	DK	FR	DE	GR	IS	IR	IT	NL	NO	PL	PT	SE	UK
Sementin alkalirajoitus		X	X	X	X		X	X		X		X		X	X
Betonin alkalirajoitus		X	X	X				X	X	X	X	X	X		
Kiviaineksen luokitus			X			X	X			X	X		X		X
Käyttöpaikka-luokitus	X		X	X	X					X			X		
Paisuntatestit	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X
Vuokaavio tutkimukseen	X			X	X			X	X				X		

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25012012 46

Yleiskatsaus AKR-ohjeisiin ja standardeihin

- Aiheen käsittely hyvin samanlainen kaikissa maissa
- Lähes kaikissa maissa on rajoitus alkali-ekvivalentille (joko koskien sementtiä, betonia tai molempia)
- Lähes kaikissa maissa on paisuntatestit joko laasti- tai betonikappaleille

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPEENNE
EUROPAISCHE NORM

EN 12620

September 2002

ICS 91.100.10, 91.100.20

Revised version
Aggregates for concrete

Structural concrete Construction for bridges

The European Standard was approved by CEN on 11 August 2002.
CEN members are bound to comply with the CEN/ISO/IEC Central Regulations which stipulate the conditions for giving the European Standard the status of a national standard and any national, non-standardized, non-proprietary standard covering substantially identical requirements may be drawn up or approved in the Member States or in any CEN country.
The European Standard applies to fine and coarse aggregate. It is not applicable to other aggregate types for finishing, cover for impermeability or a different maximum size than aggregate specified in the European Standard.
CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

ESPECIFICAÇÃO LNEC

BETÕES
Tecnologias para Prevenção de Reações Expansivas Internas

Especificação LNEC define os métodos de ensaio aplicáveis ao betão para a prevenção de reações expansivas internas, bem como os procedimentos de ensaio aplicáveis, bem como os procedimentos de ensaio aplicáveis para a prevenção de reações expansivas internas em betão.

BETON
Hövelteknologier för att undvika interna expansioner

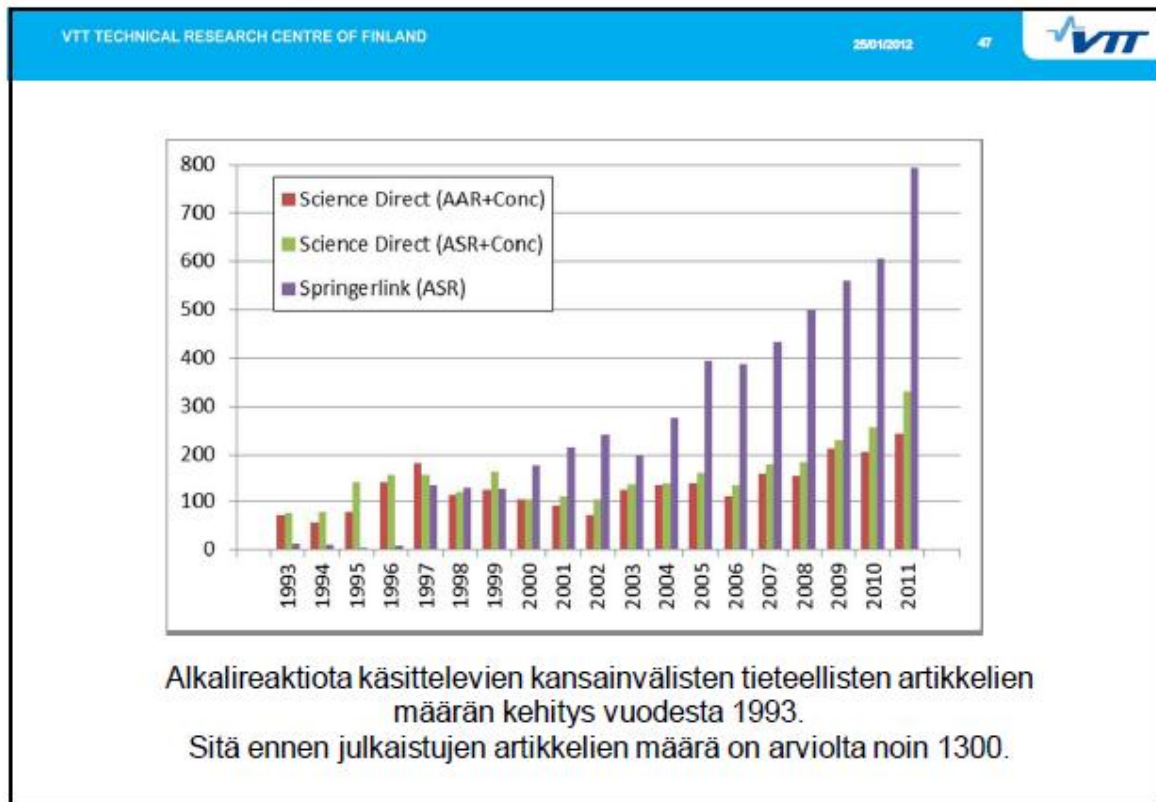
BETON-Standarden beskriver de tekniska kraven på betong för att undvika interna expansioner, samt de tekniska kraven på betong för att undvika interna expansioner.


E 461 - 2007

BETON
Hövelteknologier för att undvika interna expansioner

Standarden beskriver de tekniska kraven på betong för att undvika interna expansioner, samt de tekniska kraven på betong för att undvika interna expansioner.

Päättö: 2007 12 12 12:00:00



VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25/01/2012 48 

AKR Tanskassa


- Suurin osa, ellei kaikki tanskalaisista kiviaineksista on alkalireaktiivista
- Todettiin ensimmäisen kerran 1914 (Poulsen)
- Systemaattinen tutkimus alkoi vuonna 1951
- AKR tutkimukset kahdessa eri jaksossa
 - Ensimmäinen ennen 1970-lukua
 - Toinen 1970-luvun jälkeen


AKR Tanskassa


- 1. jaksolle olivat ominaista:
 - Perustuivat amerikkalaisiin menetelmiin
 - Reaktiivisen kiviaineksen toteamiseen käytettiin petrografiaa ja röntgenanalyysiä
 - Limsiö ja opaalin kalkkikivi todettiin pääasiallisiksi reaktiivisiksi komponenteiksi
 - Betonin alkalipitoisuus on koko käyttöiän ajan vakio tasaisesti jakautunut, ja sen lähde on sementti
 - Alhaisalkalisementin käyttö ja/tai kiviaineksessa reaktiivista ainesta < 2 %

AKR Tanskassa

- 2. jakso:
 - Käynnistyi kun 4 vuotta vanhassa rakenteessa todettiin AKR-ongelmia, vaikka oli käytetty alhaisalkalisementtiä ja ei-reaktiivista kiviainesta
 - AKR:n syynä liukkauden torjunnassa käytetyt suolat (NaCl) ja reaktiivinen pii hiekassa
 - Alkalilähteitä on useita: pohjavesi, liukkauden torjunnan suolat, merivesi jne >> alkalipitoisuuden vaihtelut betonissa
 - Alhaisalkalisementin käyttö ja/tai kiviaineksessa reaktiivista ainesta < 2 %
 - AKR:n mekanismien tutkiminen
 - Menetelmiä kiviaineksen paisumisen mittaamiseksi
 - Menetelmien kehittäminen AKR:n estämiseksi

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND	25012012	91	
<h2 style="margin: 0;">AKR Tanskassa</h2>			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tekniset ohjeet DS 2426/DS EN 206-1 ja DS EN 12620 ▪ Ohjeiden perusteena: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ympäristön olosuhteet (lämpötila, kosteus, suolat) ▪ Betonin alkalipitoisuus ▪ Kiviaineksen reaktiivisen piin tyyppi ja määrä ▪ Agressiivisuustasot: <ul style="list-style-type: none"> ▪ [P] Passiivinen (kuiva – sisätila) ▪ [M] Kohtalainen (kosteaa sisä-/ulkotila, kosketus veden kanssa) ▪ [A] Aggressiivinen (suolat: merivesi – liukkauden torjunta) ▪ [E] Voimakkaasti aggressiivinen (suuri kosteus & suuri määrä alkaleita tai suoloja pinnalla - uima-altaat / siltapilarit) 			

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND	25012012	92				
<h2 style="margin: 0;">AKR Tanskassa</h2>						
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kiviaineksen luokitus aggressiivisuustasojen mukaan 						
Classification of sand						
		Class P	Class M	Class A	Class E	Test according to
Chemical shrinkage [mL/kg]		No requirement	Max. 0.3	Max. 0.3	Max. 0.2	DS 405.13
Classification of coarse aggregate						
		Class P	Class M	Class A	Class E	Test according to
Volume reduction [Vol. %]						
Mortar bar expansion [%]						
Accelerated mortar bar expansion	Particle density below 2400 kg/m ³ [%]	No requirement	Max. 5.0	Max 1.0	-	DS 405.4
	Particle density below 2500 kg/m ³ [%]	No requirement			Max. 1.0	DS 405.4
	Absorption [%]	No requirement	Max. 2.5	Max. 1.1	Max. 1.1	DS 405.12
	Accelerated mortar bar expansion [%]	No requirement	0.2 after 14 days	0.1 after 14 days	0.1 after 14 days	DS 405.16 (ASTM C1260)

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25012012 33 

AKR Tanskassa


- Alkalipitoisuus betonissa = happoliukoinen $\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$ sementissä (valmistajan ilmoitus) + vesiliukoinen $\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$ hiekassa ja karkeassa kiviaineksessa (kiviainestoimittajan ilmoitus) + $\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$ lisäaineissa (lisäainetoimittajan ilmoitus)

Requirements				
Property	Passive Environment	Moderate Environment	Aggressive Environment	Severe aggressive environment
Alkali content in cement [%]	No requirements	≤ 0.8 ¹⁾	≤ 0.8 ¹⁾	
Alkali content in concrete ²⁾ [kg/m ³]	No requirements	≤ 3.0 ¹⁾	≤ 3.0 ¹⁾	≤ 3.0 ¹⁾
Sand class	No requirements	M ³⁾	A	E
Coarse aggregate class	No requirements	M	A	E
w/c	No requirements	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25012012 34 


AKR Tanskassa


- Kiviaineksen reaktiivisuuden määrittäminen:
 - TI-B51 (DS 405.15) – Alkali silica reactivity of sand (mortar prism test)
 - TI-B52 – Petrographic examination of sand
 - ASTM C1260 (DS405.16) – Accelerated mortar bar expansion test
 - TK-84 – Chemical shrinkage (only for sand with flint)

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 2501/2012 05 

AKR Portugalissa

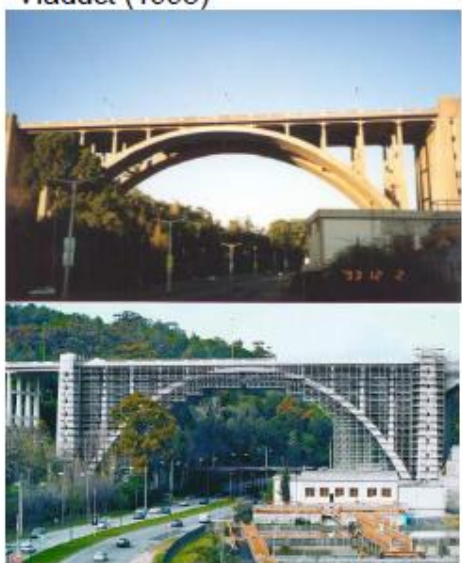
- Ensimmäinen kohde 1990's – Pracana Dam



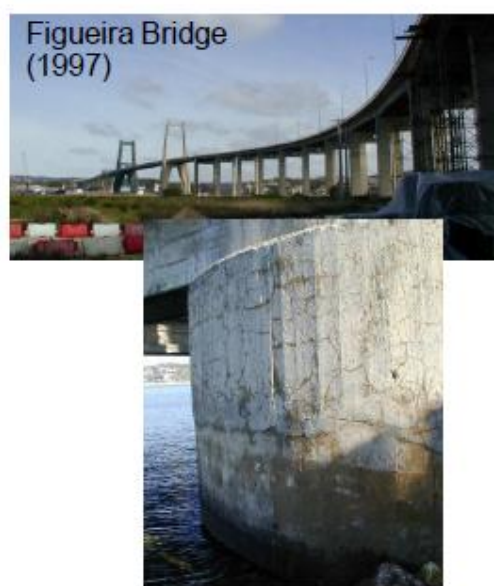
VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 2501/2012 05 


AKR Portugalissa

Eduardo Pacheco Viaduct (1993)




Figueira Bridge (1997)



VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25/01/2012 57 


AKR Portugalissa

Mondego Highway structures (2002)



Guadiana Bridge (2004)



VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 25/01/2012 58 

AKR Portugalissa

- Tutkimus alkoi 90-luvun lopulla
- Ensimmäiset merkittävät tulokset AKR:sta saatiin Santos Silvan (LNEC) väitöskirjassa (2005)
- Tätä seurasi ensimmäinen rahoitettu tutkimus Sisäisistä paisuvista reaktioista – päätavoitteet olivat:
 - Parantaa paisuvien reaktioiden diagnoosiinnin metodeja
 - Määrittää betonin valmistukseen runkoaineet ja sementit
 - Kehittää reaktioiden kinetiikan mallinnusta
 - Kehittää ohjeistusta ja suosituksia

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 2501/2012 39

AKR Portugalissa

- LNEC E 461 (2007) – Preventing ASR
 - Alkalisuuden pienentäminen betonissa:
 - $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 0.60\%$ sementille
 - $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} < 2,5 \text{ kg/m}^3$ betonille
 - Mineraalisten seosaineiden käyttö:
 - Mikrosilika (10%)
 - Masuunikuona (50%)
 - Lentotuhka (30%)
- Ohje myös luokittelee ympäristöolosuhteet ja runkoaineen laadun

VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND 2501/2012 40

AKR Portugalissa

- LNEC E461 – Preventing ASR

```


graph TD
    A[Petrographic analysis performed?] -- yes --> B[Reactive silica < 2%]
    A -- no --> C[Accelerated mortar bar test (RILEM AAR-2 or ASTM C1260)]
    B -- yes --> D[CLASS I Aggregate - No further testing needs]
    B -- no --> C
    C -- Expansion 14d < 0.2% -- yes --> E[CLASS III Aggregate]
    C -- Expansion 14d < 0.2% -- no --> F[Expansion < 0.1%]
    F -- yes --> G[CLASS I Aggregate]
    F -- no --> H[CLASS II Aggregate]
    
```


Yhteenveto

- Ohjeistuksen ja standardoinnin tavoitteena on AKR:n ehkäiseminen
- Tekijät, jotka vaihtelevat maittain ovat: kiviainestyytit (geologia), materiaalit (sementit, lisäaineet jne.) sekä ilmasto ja muut ympäristötekijät (kosteus, pakkanen jne.)
- Rakennettaessa ohjeistusta ja standardointia, on jokaisessa maassa otettava huomioon paikalliset tekijät koskien:
 - Sementtejä
 - Kivianeksia
 - Ilmasto- ja ympäristötekijä
- AKR:ää ei vielä kukaan täysin tunneta, ja siksi tarvitaan tutkimusta

***** Kahvitauko & pohdittavaksi***** **Tiedätkö...**

- Monessako kohteessa Suomessa on todettu AKR viimeisen 15 vuoden aikana ? (5 – 10 – 25 – 50+)
- Missä rakenteissa Suomessa AKR:ää on todettu?
(sillat, talokohteet, teollisuus, uima-altaat, kaikissa näissä)
- Liittyykö AKR:n esiintyminen enemmän maantieteelliseen vai geologiseen jakautumaan ?
- Miten teollisuuden tulisi AKR:n suhteen toimia ?

28.1.2012 83 

**Tuloksia vuoden 2011 tutkimuksesta
(Hannu Pyy)**

28.1.2012 84 

Tausta

Vuoden 2011 tutkimuksen rahoitti Liikennevirasto ja tutkimus tehtiin VTT:ssä

Tutkimuksen keskeinen elementti oli betonin ohuthietutkimuksia tekeville laboratorioille suunnattu kysely, joka lähetettiin 10 toimijalle, joista 7 vastasi.

25.1.2012 65

Kyselylomake

ESISELVITYS ALKALIKIVIAINESREAKTIOSTA SUOMESSA
 Kysymys- ja vastauslomake / Marraskuu 2011 / VTT

Vastaajan taustatiedot:

Nimi: Hannu Pyy
 Nimike / asema: Erikoistutkija, tekn. lis.
 Yritys: VTT Expert Services Oy
 Postiosoite: PL 1001
 Puhelinnumero: 405 072 071
 Sähköpostiosoite: hannu.pyy@vtt.fi

Alkalkivianreaktion (AKR) tutkimisesta organisaatiossanne:

Keskeinen menettämä AKR:n toteamisessa betonirakenteista on ohuitletkutus
 Teetetty ohuitletkutuksia: Kyllä
 Montako ohuitlettua tutkittu vuosittain: 500-800
 Osaatteko tunnistaa ohuitlettujen näkyvän AKR:n: Kyllä
 Oletteko havainneet AKR:ta tutkimuksissanne: Kyllä
 Jos kyllä, oivallko näytteet Suomesta vai ulkomailta: Sekä että
 Montako AKR-kohdetta olette tutkineet: 1...4
 viime aikoina keskimäärin per vuosi
 yhteensä viimeisen 10 vuoden aikana: 20

Jokaisesta AKR-tapauksesta toivomme, että vastaatte välillä mahdollisimman tarkasti.

AKR-tapauksen kuvaus

Kohde: Silta
 Kohteen sijainti (kunta tms.): Espoo
 Rakenne (esim. silta, julkisivu, ulma): Silta
 Tutkimuspäivä: 1.9.2008

Miten AKR todettiin (silmämääräisessä tarkastelussa, ohuitletkutuksella, jokin muu silmämääräisessä tarkastelussa ja ohuitletkutuksissa)

AKR:n aiheuttaman halkeilun voimakkuus (kivianrakelissa, pastassa):
 Molemmissa kohtalainen

Geelin esiintyminen (rakenteen pinnalla, halkeamissa, kivianestartunnossa):
 Todettiin lähinnä kivianestarakeloiden ulkopintojen läheisissä halkeamissa ja huokosissa
 AKR näytteissä (montako näytettä tutkittiin, monessako niistä todettiin AKR):
 6 näytettä tutkittiin / AKR = 4 kpl

Mistä osista rakennetta AKR-näytteet otettiin (sijainti ja syvyys):
 Reunapalkit ja kansilaatta

Betoni:
 > betonin tiiviyttä: x
 > betonityyppi: x
 > sideainetyyppi:
 > vä: x
 > seosaineet, lisäaineet jne.: x

AKR:n aiheuttanut kivianestyyppi (kivialj.), mineraalikoostumus, reaktio)
 Deformoitunut graniitti

Kivianestähteen sijainti: x

25.1.2012 66

Tulosten yhteenveto

ALKALKIVIAINESREAKTIOKYSELYN VASTAUKSET 2011 - YHTEENVETOTÄULUKKO								
#	Tut	Pvm	Paikkakunta	Geographic area	Kohde	Rakenne	Rak. vuos Hieitä yht. AKR yht.	Reagoiva kiviaines
1	C	21.12.2011	Helsinki	Uusimaa	As Oy	kuorielementti	6	2 gra tai kv, mahd. hiekkakivi ja gr:ssa karkea ms)
2	C	2.12.2011	Lempäälä	Häme	silta	kansilaatta	7	4 gra tai kv-ms-bt-l (on myös hapa- metavulkanilitti ja kv hielessä)
3	W	1.12.2011	Helsinki	Uusimaa	Silta	Kansi	8	1 Kvartsikivi / kvartsiitti
4	V	11.11.2011	Länsi-Suomi	Länsi-Suomi	Silta	Kansi	2	1
5	V	10.11.2011	Pohjanmaa	Pohjanmaa	Uimahalli	Uima-allas, seinä, lattia	4	2
6	E	26.10.2011	Vierro	Häme	silta	kansi, reunauloke	1975	4 2 graniitti
7	V	30.9.2011	Itä-Suomi	Itä-Suomi	Silta		2	2
8	C	30.8.2011	Punkaharju	Itä-Suomi	Hautomoallas	Lattia	9	1
9	W	11.7.2011	Häme	Häme	Silta	Kansi, palkki	7	2
10	V	8.12.2010	Etelä-Suomi	Uusimaa	Talo	Julkisivu	4	4 Keraaminen laatta
11	W	7.12.2010	Rantsila	Oulu	Silta	Reunapalkki	8	1 Tumma, hienorakelinen liuske
12	E	30.11.2010	Kemi	Oulu	Paperitehdas	pillarit, palkit	3	2 Tumma, hienorakelinen liuske
13	C	19.11.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	Tukimuuri, antura	9	5 Graniitti
14	E	18.11.2010	Tampere	Häme	silta	kansi, maatuki	1979	5 4 Tumma, hienorakelinen liuske
15	E	25.10.2010	Kuopio	Itä-Suomi	silta	Reunapalkki	1971	4 3 tumma hienor. liuske
16	C	21.10.2010	Porvoo	Uusimaa	Kylmälaitetaso	laatta	8	2 Graniitti tai kvartsiitti
17	C	5.10.2010	Vantaa	Uusimaa	Voimalaitos	Julkisivu	8	1 Kv-ms-bt-liuske
18	C	19.8.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	Parveke, pintalaatta	6	1
19	C	3.3.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	Porraskatos, laatta ap	2	1
20	C	23.2.2010	Ahvenanmaa	Ahvenanmaa	Silta		2	1 Hiekkakivi
21	C	18.9.2009	Kuopio	Itä-Suomi	Palvelutalo	Uima-allas, pohjalaatta	5	1
22	C	20.5.2009	Numijärvi	Uusimaa	Vesitorni	Vetopalkki	7	1 Kv-ms-liuske
23	C	24.4.2009	Kauniainen	Uusimaa	Sairaala	Julkisivu	24	1
24	E	10.12.2008	Tampere	Häme	silta	kansi, reunauloke, välituki	1959	3 1 kataklastinen liuske
25	C	25.9.2008	Sipoo	Uusimaa	Sähköasema	Perustus, yp	6	1

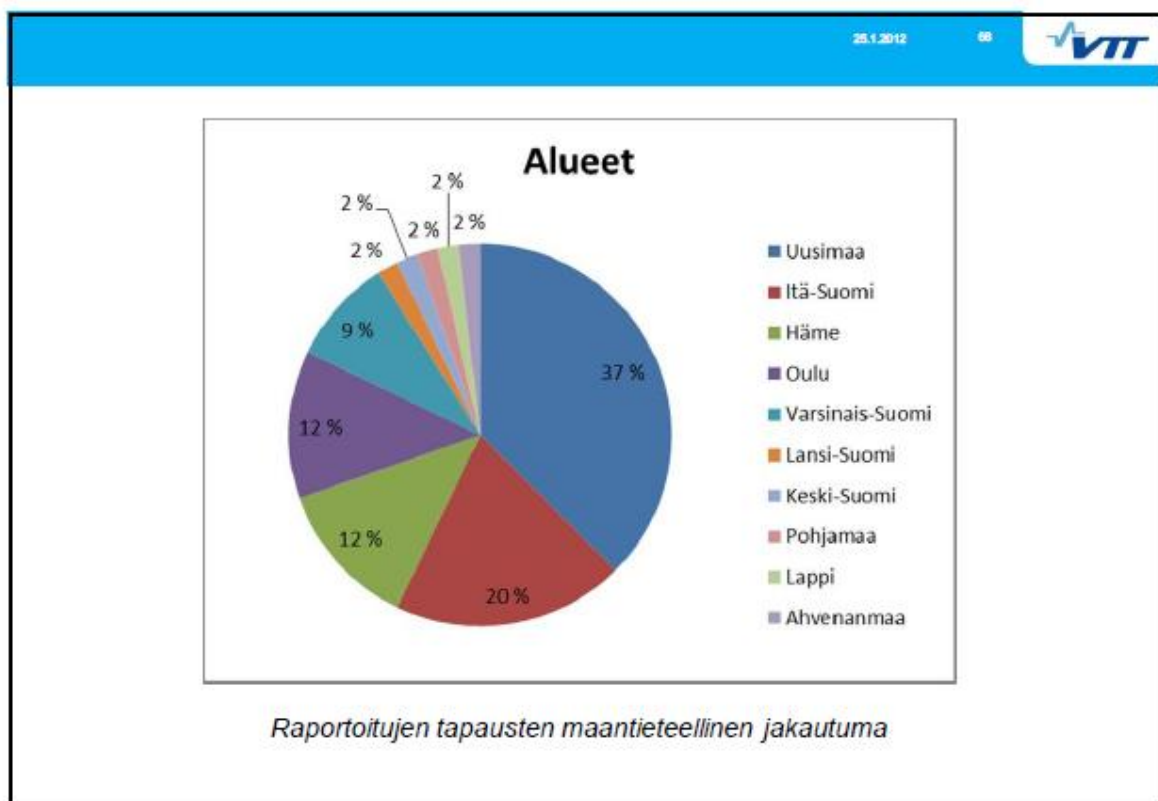
28.1.2012
87

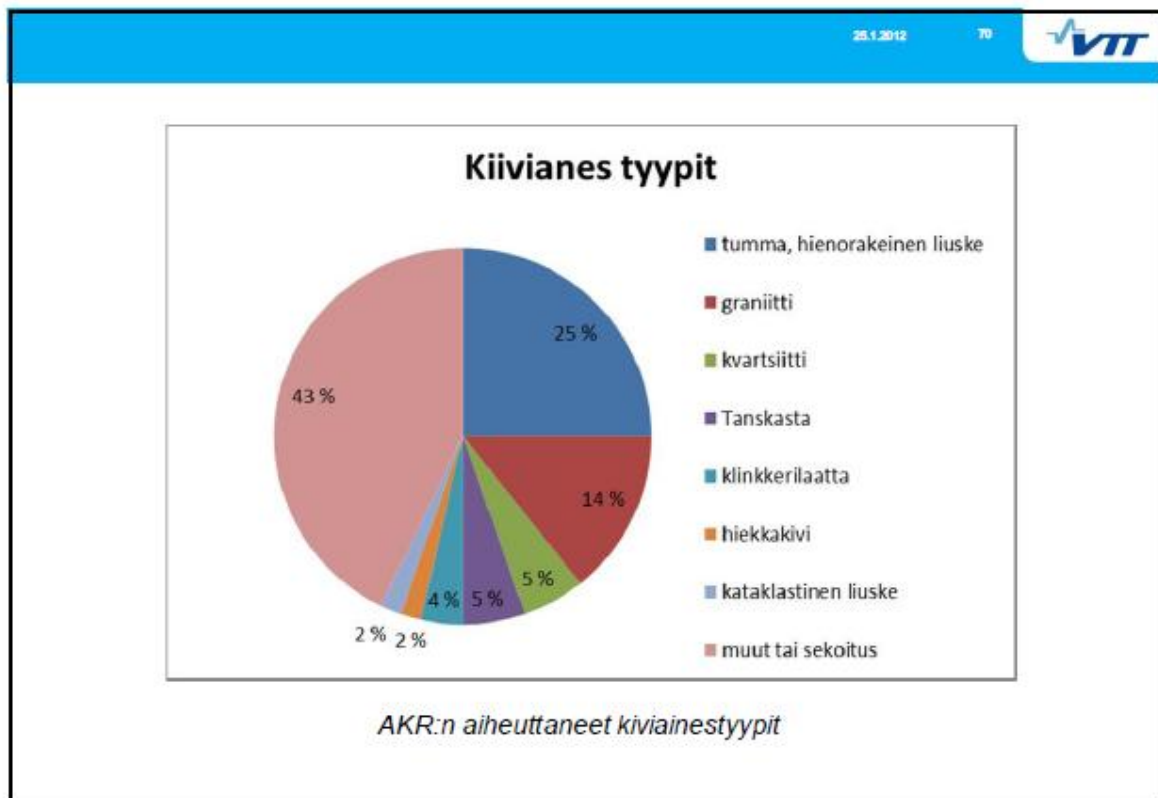
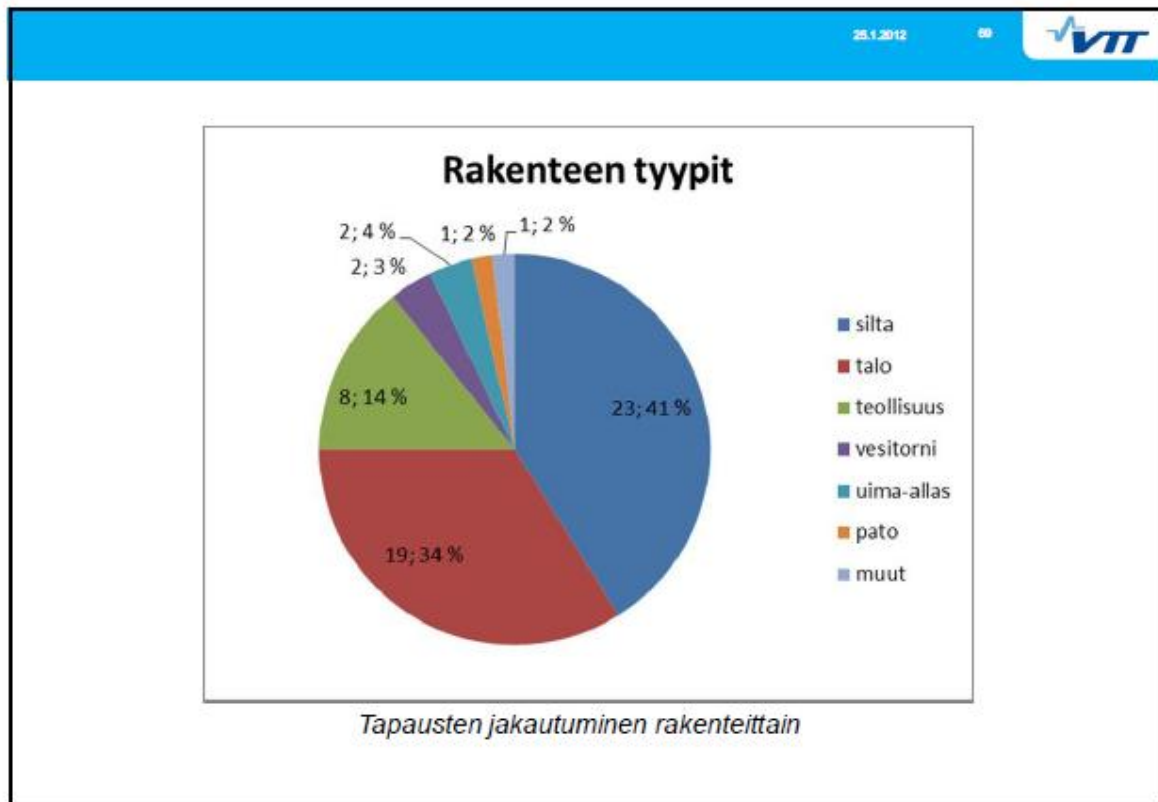

Tulokset

56 varmaa AKR-tapausta eri puolilta Suomea oli raportoitu viimeisen 15 vuoden aikana.

Näissä ...

- 33 % ohuthieistä oltiin todettu AKR (111 ohuthietä 331:stä)
- Tutkimusraportit ovat luottamuksellisia, mutta yli 75% ohuthieistä on tutkittavissa
- Kiviaineksen maantieteellistä alkuperää tai teitoja betonista ei saatu
- Rakenteiden ikä selvitettiin vain osittain
- **All of the structures showing AKR were over 30 years old**



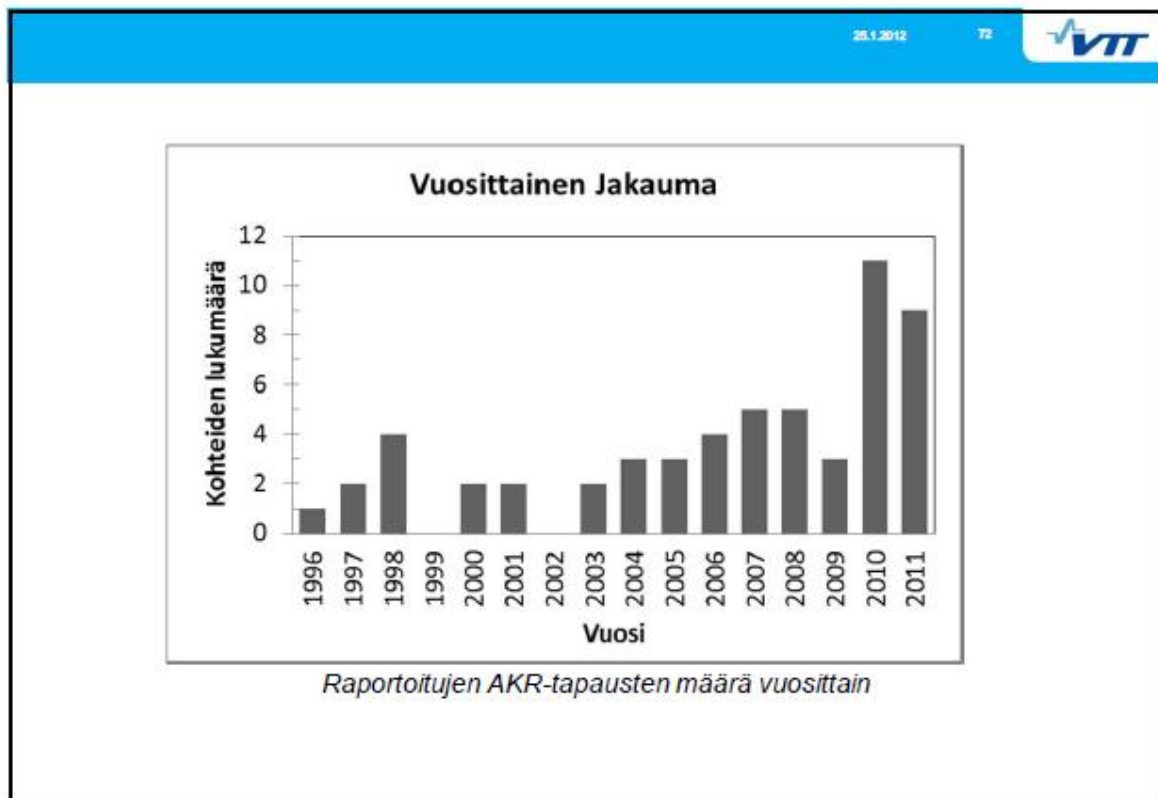


25.1.2012
71

Tutkimustulosesimerkki / Vahanen Oy



Mikroskooppikuva tasopolaroidussa valossa. Kuvan yläosassa on keraaminen laatta (K) ja alaosassa taustavaluosa (T). Alkali-silikageelillä täyttynyt huokonen (AS). Avoimet säröt ja huokostilat erottuvat vaaleanpunaisina. Vaaleaa alkali-silikageeliä on tunkeutunut myös keraamisessa laatussa olevaan säröön (nuoli). Kuva-alan leveys on noin 1,3 mm.




28.1.2012 73 

Tulevaisuuden tarpeet Suomessa (Markku Leivo)

28.1.2012 74 

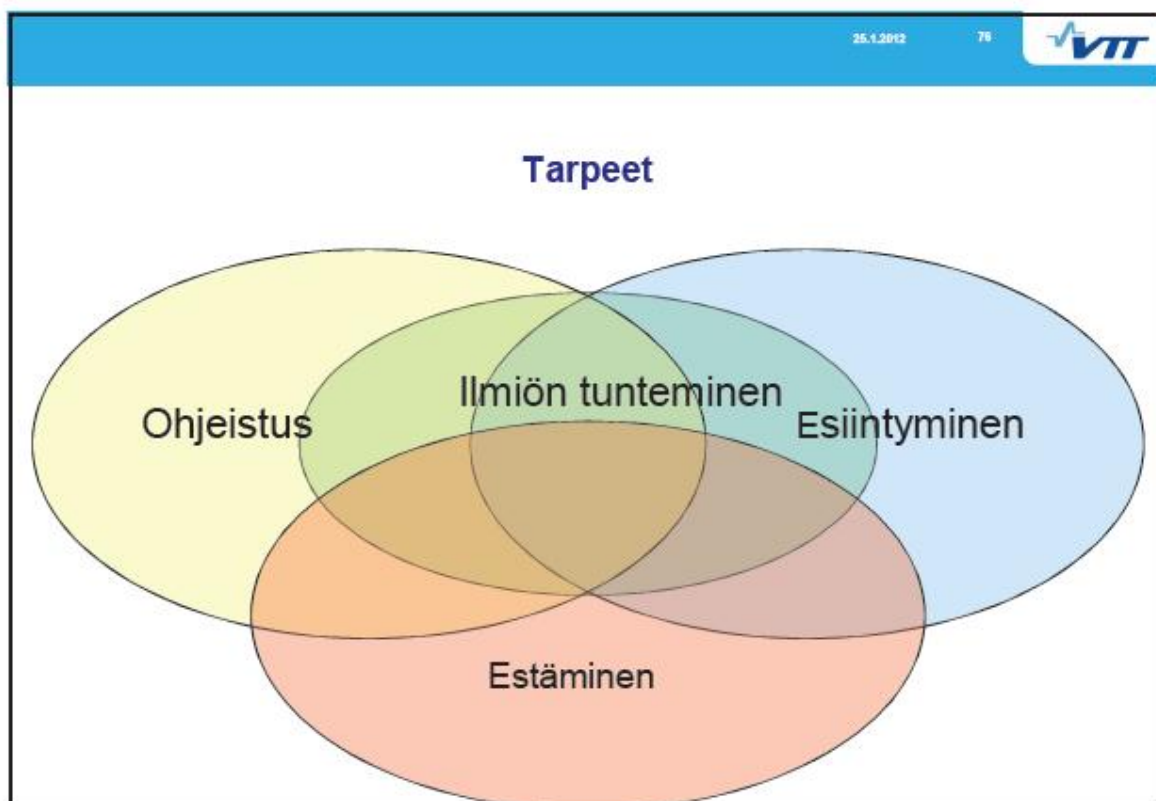
Miksi nyt?


- Pakkasenkestävyys
- Alkalikiviainesreaktio
- Luonnonkiviainekset
- Murskeet
- Rakenteet ovat vanhenemassa
- Kuntotutkimukset lisääntyneet
- Reaktiot ovat hitaita

25.1.2012
75


Tarpeet

1. AKR tunteminen
Suomalainen käytäntö, Kenttäkartoitus, Kohteiden tarkempi analysointi, Mallinnus, Kansainvälinen yhteistyö
2. Suomalainen ohjeistus
Tutkimus ja arviointimenetelmät, Mittausmenetelmät, Raja-arvot, Laadunvalvonta ja kelpoisuuden toteaminen
3. Alttiiden runkoaineiden esiintymisen laajuus
Alttiit kivilajit ja mineraalit, Luokittelu, Geologinen esiintyminen
4. Estäminen betonin valmistuksessa
Sementtien valinta, Runkoaineen valinta, Seosaineet ja lisäaineet



28.1.2012 77 


Ajatuksia?

Pieni asia ←--→ Iso asia

28.1.2012 78 

PROPOSED NEEDS FOR THE FUTURE

1. Petrography thin-section comparative study (existing AAR cases, microscopy round-robin test on how to identify/classify AAR)
2. *Geological mapping of Finnish reactive aggregates*
3. *Laboratory experiments to measure AAR levels (RILEM mortar bar and concrete prism tests)*
 - *Finnish cement (+ slag in some cases)*
 - *Finnish non-reactive and very-reactive aggregates*
4. *Structural sampling (field study of AAR concrete), investigating ways of detecting damage with depth*
5. *Developing Finnish guidelines on how to assess AAR in existing structures and avoid AAR in new construction. Establish limits for Finnish material testing of AAR.*
6. *Finnish-International networking to learn more and advance AAR knowledge.*

25.1.2012 79 

Yhteenveto

25.1.2012 80 

Vuoden 2011 projektin raportti julkinen / helmikuu 2012

Ottakaa (ennen 31.1.2012) yhteyttä, jos teillä on AKR:stä tutkimustuloksia, jotka haluaisitte lisättävän vuoden 2011 tutkimuksen raporttiin.

Ottakaa myös yhteyttä, jos teillä on mielenkiintoa olla mukana kehittämässä ja tekemässä jatkossa tutkimusta AKR:stä tai muita AKR:ää koskevia ehdotuksia ja ajatuksia.

Yhteystiedot:

erika.holt@vtt.fi tai
hannu.pyy@vahanen.com (1.2.2012 alkaen)



4 Esimerkkikysely

ESISELVITYS ALKALIKIVIAINESRAEKTIOSTA SUOMESSA

Kysymys- ja vastauslomake / Marraskuu 2011 / VTT

Vastaajan taustatiedot:

Nimi:

Nimike / asema:

Yritys:

Postiosoite:

Puhelinnumero:

Sähköpostiosoite:

Alkalikiviainesreaktion (AKR) tutkimisesta organisaatiossanne:

Keskeinen menetelmä AKR:n toteamisessa betonirakenteista on ohuthietutkimus

Teettekö ohuthietutkimuksia:

Montako ohuthietä tutkitte vuosittain:

Osaatteko tunnistaa ohuthienäytteissä näkyvän AKR:n

Oletteko havainneet AKR:ta tutkimuksissanne:

 Jos kyllä, olivatko näytteet Suomesta vai ulkomailta:

Montako AKR-kohdetta olette tutkineet:

 viime aikoina keskimäärin per vuosi

 yhteensä viimeisen 10 vuoden aikana

Jokaisesta AKR-tapauksesta toivomme, että vastaatte välilehdillä mahdollisimman tarkasti.

AKR-tapauksen kuvaus

Kohde: [REDACTED]

Kohteen sijainti (kunta tms.): [REDACTED]

Rakenne (esim. silta, julkisivu, uimala): [REDACTED]

Tutkimuspäivä: [REDACTED]

Miten AKR todettiin (silmämääräisessä tarkastelussa, ohuthietutkimuksella, jollain muulla):

[REDACTED]

AKR:n aiheuttaman halkeilun voimakkuus (kiviainesrakeissa, pastassa):

[REDACTED]

Geelin esiintyminen (rakenteen pinnalla, halkeamissa, kiviainestartunnoissa):

[REDACTED]

AKR näytteissä (montako näytettä tutkittiin, monessako niistä todettiin AKR):

[REDACTED]

Mistä osista rakennetta AKR-näytteet otettiin (sijainti ja syvyys):

[REDACTED]

Betoni:

> betonin toimittaja [REDACTED]

> betonityyppi [REDACTED]

> sideainetyyppi [REDACTED]

> v/s [REDACTED]

> seosaineet, lisäaineet jne: [REDACTED]

AKR:n aiheuttanut kiviainestyyppi(kivialji, mineraalikoostumus, raekoko)

[REDACTED]

Kiviaineslähteen sijainti:

Tehtiinkö kohteesta ohuthieitä [REDACTED]

> ovatko hieet tallella ja käytettävissä tutkimuksiin [REDACTED]

> otettiin hieistä kuvia ja ovatko kuvat käytettävissä [REDACTED]

Tehtiinkö tutkimuksista kirjallinen tutkimusraportti [REDACTED]

> onko raportti julkinen vai luottamuksellinen [REDACTED]

> voiko raportin saada tutkimuksen käyttöön kokonaan tai osittain? Jos kyllä, voitteko lähettää raportin. [REDACTED]

Kiitos vastauksista

5 Osallistujat

<i>Sukunimi</i>	<i>Etunimi</i>	<i>Yritys</i>	<i>sähköposti</i>
Anttila	Vesa	Rudus Oy	vesa.anttila@rudus.fi
Arola	Tapani	Kiratek Oy	tapani.arola@kiratek.fi
Bergman	Petri	Insinööri-toimisto ConMix	conmix@conmix.fi
Ferreira	Miguel	VTT	ext-miguel.ferreira@vtt.fi
Halonen	Henrik	Lahti Precision Oy	henrik.halonen@lahtiprecision.com
Holmberg	Erika	Lemminkäinen Infra Oy	erika.holmberg@lemminkainen.fi
Holt	Erika	VTT	erika.holt@vtt.fi
Huura	Jouni	Huura Oy	jouni.huura@huura.fi
Hyvärinen	Tiina	VTT Expert Services	tiina.hyvarinen@vtt.fi
Immonen	Pasi-Pekka	WSP Finland Oy	pasi-pekka.immonen@wspgroup.fi
Inkiläinen	Markus	Lammin Betoni Oy	markus.inkilainen@lamminbetoni.fi
Järventie	Jan-Erik	Lammi-Kivitalot Oy	jan-erik.jarventie@lammi-kivitalot.fi
Jääskeläinen	Kari	Rakennustekniikan opisto RATO	kajaaske1@luukku.com
Köiv	Rain	VTT Expert Services	rain.koiv@vtt.fi
Kosomaa	Satu	Finnsementti Oy	satu.kosomaa@finnsementti.fi
Kuosa	Hannele	VTT	hannele.kuosa@vtt.fi
Kylämetsä	Harri	Consolis Oy	harri.kylametsa@consolis.com
Lahdensivu	Jukka	Tampereen teknillinen yliopisto	jukka.lahdensivu@tut.fi
Leivo	Markku	VTT	markku.leivo@vtt.fi
Loimula	Kalle	VTT	kalle.loimula@vtt.fi
Löija	Mia	VTT	mia.loija@vtt.fi
Matala	Seppo	Matala Consulting	seppo.matala@pp.inet.fi
Mattila	Jussi	Suomen Betoniyhdistys	jussi.mattila@betoniyhdistys.fi
Meuronen	Aki	Aaro Kohonen Oy	aki.meuronen@gmail.com
Miettunen	Kiia	VTT Expert Services	kiia.miettunen@vtt.fi
Nordenswan	Erik	Nordkalk Oy	erik.nordenswan@nordkalk.com
Nykanen	Simo	A-Insinöörit Suunnittelu Oy	simo.nykanen@ains.fi
Orantie	Kalervo	VTT Expert Services	kalervo.orantie@vtt.fi
Paukku	Elina	Aaro Kohonen Oy	elina.paukku@ako.fi
Piironen	Taina	NCC Roads Oy	taina.piironen@ncc.fi
Punkki	Jouni	Consolis Oy	jouni.punkki@consolis.com
Pyy	Hannu	VTT Expert Services	hannu.pyy@vtt.fi
Raivio	Paula	Contesta Oy	paula.raivio@contesta.fi
Räsänen	Ossi	Liikennevirasto	ossi.rasanen@trafi.fi
Rouvila	Sami	Lammin Betoni Oy	sami.rouvila@lamminbetoni.fi
Salparanta	Liisa	VTT	liisa.salparanta@vtt.fi
Sikstus	Jorma	Sto Finexter Oy	j.sikstus@stoeu.com
Sjöblom	Ville	VTT	ville.sjoblom@vtt.fi
Tallbacka	Katriina	Inspecta Sertifiointi Oy	katriina.tallbacka@inspecta.com
Toivonen	Juhani	Parma Oy	juhani.toivonen@parma.fi
Tolppi	Tomi	WSP Finland Oy	tomi.tolppi@wspgroup.fi
Torppa	Akseli	Geologian tutkimuskeskus	akseli.torppa@gtk.fi
Uotila	Jetta	A-Insinöörit Suunnittelu Oy	jetta.uotila@ains.fi
Vehmas	Tapio	VTT	tapio.vehmas@vtt.fi
Vesikari	Erkki	VTT	erkki.vesikari@vtt.fi
Virtanen	Tero	Rudus Oy	tero.virtanen@rudus.fi
Vuokko	Jouko	Geologian tutkimuskeskus	jouko.vuokko@gtk.fi
Weijo	Inari	Insinööri-toimisto Lauri Mehto Oy	inari.weijo@laurimehto.fi
Äijälä	Markus	A-Insinöörit Suunnittelu Oy	markus.aijala@ains.fi