
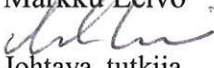





Esitutkimus alkalikiviainesraktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa

Kirjoittajat: Hannu Pyy, Erika Holt ja Miguel Ferreira

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Esitutkimus alkalikiviainesraktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Ossi Räsänen Liikennevirasto PL 33 00521 HELSINKI	Asiakkaan viite	
Projektin nimi Betonitekniset taitorakennetutkimukset 2011	Projektin numero/lyhytnimi 74817/BTS2011	
Tiivistelmä <p>Betonin rapautumista aiheuttavista tekijöistä alkalikiviainesreaktio (AKR) tunnetaan Suomessa varsin huonosti. Yleisesti uskotaan, että Suomessa ei alkalikiviainesreaktiota esiinny ja että kiviaines on fysikaalisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti lujaa ja kestävä. VTT Expert Services Oy:n tutkimuksissa on viime vuosina kuitenkin todettu useita AKR-tapauksia. Havaintojen takia epävarmuus kiviaineksen yleisesti erinomaista laatua kohtaan on kasvanut ja AKR:n esiintymisestä ja ilmiön laajuudesta Suomessa on noussut huoli.</p> <p>Tämä tutkimus liittyy suurempaan Liikenneviraston vuonna 2011 rahoittamaan tutkimuskokonaisuuteen ”Betoniteknilliset taitorakenteet, BTT”. Tutkimuksen rahoitti kokonaisuudessaan Liikennevirasto. Tutkimus oli ensimmäinen Suomessa tehty AKR:n esiintymistä ja laajuutta käsittelevä tutkimus ja sen keskeinen elementti oli eri laboratorioista kerätty AKR:ää koskeva havaintoaineisto, joka laboratorioissa oltiin kerätty ohuthietutkimusten yhteydessä.</p> <p>Tutkimuksen päätavoitteet olivat: selvittää AKR:n mekanismia ja esiintymistä yleisesti, selvittää muiden Pohjoismaiden lähestymistapa AKR:oon, kartoittaa AKR:n esiintymisen laajuutta ja astetta Suomessa sekä arvioida AKR:n tutkimustarve Suomessa jatkossa.</p> <p>Tulokset osoittavat, että viimeisen 15 vuoden aikana Suomessa tehdyissä tutkimuksissa on löytynyt yli 50 betonivauriotapausta, joissa AKR:sta on selviä merkkejä. Suuri osa tapauksista on raportoitu Etelä-Suomesta, mikä on hyvin ymmärrettävää, koska myös tehtyjen tutkimusten määrä Etelä-Suomesta on suuri. Vastaavasti Lapista raportoitujen tapausten määrä on pieni, samoin kuin myös tehtyjen tutkimusten määrä. Tutkimusten määrään suhteutettuna voidaan Pohjanmaalta raportoitujen AKR-tapausten määrää pitää pienenä. AKR:ää on todettu erilaisissa rakenteissa, mutta tyypillisimmät kohteet ovat olleet sillat ja julkisivut. Ohuthietutkimuksissa on tiettyjen kiviainestyyppien todettu olevan muita yleisemmin AKR:n aiheuttajana.</p> <p>Tässä raportissa esitetään suosituksia tarvittavista toimenpiteistä AKR:n aiheuttamien ongelmien laajuuden ja syiden selvittämiseksi, ja sen esiintymistä tulevaisuuden betonirakenteissa lieventävien toimenpiteiden arvioimiseksi Suomessa. Tämä raportti on myös Englanti (VTT-CR-00554-12, 31.1.2012).</p>		
Espoo, 31.1.2012 Laatija  Hannu Pyy Senior Expert	Tarkastaja  Markku Leivo Johtava tutkija	Hyväksyjä Eila Lehmus  Eila Lehmus Teknologiapäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT, PL 1000, 02044 VTT, Tel. +358 20 722 111, sähköposti: etunimi.sukunimi@vtt.fi		
Jakelu Ossi Räsänen, Liikennevirasto Seppo Matala, Matala Consulting Risto Mannonen, Suomen Betoniyhdistys r.y. VTT arkisto, 1 alkuperäinen		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract.....	4
1. Johdanto	5
2. Taustaa	5
2.1 Termistö ja mekanismit.....	5
2.2 Alkalikiviainesreaktioon vaikuttavia tekijöitä.....	6
2.3 Määrittäminen kentällä	7
2.4 Testimenetelmät laboratoriossa	8
3. Kansainvälinen kokemus.....	9
4. Käytännöt Suomessa	11
4.1 Kiviainestyyppit.....	11
4.2 Sementtityypit.....	12
4.3 Betonituotteet	13
5. Nykyinen AKR-tietämys Suomessa	14
5.1 Mielenkiinnon herättäjä	14
5.2 Kyselytutkimuksen tulokset	14
6. Tulevaisuuden tarpeet	17
7. Yhteenveto.....	18
8. Lähdeviitteet	18
9. Liite A: AKR-kysely Suomessa.....	21
10. Liite B: AKR:n esiintyminen Suomalaisissa rakenteissa	24
11. Liite C: Yleiskatsaus AKR-seminaariin 24.1.2012	25

Tiivistelmä

Betonin rapautumista aiheuttavista tekijöistä alkalikiviainesreaktio (AKR) tunnetaan Suomessa varsin huonosti. Yleisesti uskotaan, että Suomessa ei alkalikiviainesreaktiota esiinny ja että kiviaines on fysikaalisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti lujaa ja kestävä. VTT Expert Services Oy:n tutkimuksissa on viime vuosina kuitenkin todettu useita AKR-tapauksia. Havaintojen takia epävarmuus kiviaineksen yleisesti erinomaista laatua kohtaan on kasvanut ja AKR:n esiintymisestä ja ilmiön laajuudesta Suomessa on noussut huoli.

Tämä tutkimus liittyy suurempaan Liikenneviraston vuonna 2011 rahoittamaan tutkimuskokonaisuuteen ”Betonitekniset taitorakenteet, BTT”. Tutkimuksen rahoitti kokonaisuudessaan Liikennevirasto. Tutkimus oli ensimmäinen Suomessa tehty AKR:n esiintymistä ja laajuutta käsittelevä tutkimus ja sen keskeinen elementti oli eri laboratorioista kerätty AKR:ää koskeva havaintoaineisto, joka laboratorioissa oltiin kerätty ohuthietutkimusten yhteydessä.

Tutkimuksen tavoitteet olivat:

- Selvittää AKR:n yleisiä syntymekanismia
- Selvittää AKR:n esiintymistä ja laajuutta Suomessa
- Selvittää muiden Pohjoismaiden lähestymistapa AKR:oon
- Määrittää AKR:oon liittyvät testaus- ja tutkimustarpeet Suomessa.

Tulokset osoittavat, että viimeisen 15 vuoden aikana Suomessa tehdyissä tutkimuksissa on löytynyt yli 50 betonivauriotapausta, joissa AKR:sta on selviä merkkejä. Suuri osa tapauksista on raportoitu Etelä-Suomesta, mikä on hyvin ymmärrettävää, koska myös tehtyjen tutkimusten määrä Etelä-Suomessa on suuri. Vastaavasti Lapista raportoitujen tapausten määrä on pieni, samoin kuin myös tehtyjen tutkimusten määrä. Tutkimusten määrään suhteutettuna voidaan Pohjanmaalta raportoitujen AKR-tapausten määrää pitää pienenä. AKR:ää on todettu erilaisissa rakenteissa, mutta tyypillisimmät kohteet ovat olleet sillat ja julkisivut. Ohuthietutkimuksissa on tiettyjen kiviainestyyppien todettu olevan muita yleisemmin AKR:n aiheuttajana.

Tässä raportissa esitetään suosituksia tarvittavista toimenpiteistä AKR:n aiheuttamien ongelmien laajuuden ja syiden selvittämiseksi, ja AKR:n esiintymistä tulevaisuuden betonirakenteissa lieventävien toimenpiteiden arvioimiseksi Suomessa.

Avainsanat: alkali, kiviaines, piidioksidi, reaktio, betoni, rapautuminen, AKR, ASR, halkeilu, säilyvyys

Abstract

Alkali-aggregate reaction (AAR) in concrete is one of the least dealt with concrete degradation mechanism in Finland. It is a common belief that Finland does not have AAR due to the exceptional quality of its rock. However, several cases of AAR in concrete structures have been identified in recent years at VTT/Expert Services resulting in uncertainty in this claim and raising concern about the occurrence and extent of AAR in Finland.

This project was linked to larger work funded by the Finnish Transport Agency year 2011 Concrete Technological Engineering Structures projects (BTT, Betoniteknilliset taitorakenteet). The work has been financed by the Finnish Road Administration, where a preliminary study on the occurrence of alkali-aggregate reaction in concrete infrastructure in Finland was undertaken. This report is mainly based on the results of a survey conducted among the Finnish laboratories with thin section microscopy analysis capabilities.

The main goals of the study were to:

- Clarify phenomenologically AAR;
- Identify the locations and extent of occurrence in Finland;
- Show the approach other Nordic countries have adopted for AAR;
- Identify the needs to proactively address AAR in Finland.

The results show that over 50 Finnish concrete cases were confirmed to have shown obvious signs of AAR in studies conducted over the past 15 years. These structures have come from a wide range of geographic areas of Finland and from various types of structures, though AAR has been most evident in bridges and houses. Some susceptible types of Finnish aggregates have been identified based on thin-section studies of structural concretes.

Although there are many structures surveyed as being affected by AAR in Finland, this figure is expected to increase rapidly as a result of geological constraints, the non-application and in some cases, inadequate or insufficient national regulatory norms on the topic of AAR.

This report present recommendation for further actions to be taken with regards to identifying the extent and causes of the problem in Finland, and measure to mitigate the occurrence of AAR in future concrete structures.

Keywords: alkali, aggregate, silica, reaction, concrete, degradation, AAR, ASR, cracking, durability

1. Johdanto

Betonin rapautumista aiheuttavista tekijöistä alkalikiviainesreaktio (AKR) tunnetaan Suomessa varsin huonosti. Yleisesti uskotaan, että Suomessa ei alkalikiviainesreaktiota esiinny ja että kiviaines on fysikaalisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti lujaa ja kestävä. VTT Expert Services Oy:n tutkimuksissa on viime vuosina kuitenkin todettu useita AKR-tapauksia. Havaintojen takia epävarmuus kiviaineksen yleisesti erinomaista laatua kohtaan on kasvanut ja AKR:n esiintymisestä ja ilmiön laajuudesta Suomessa on noussut huoli.

Tämä tutkimus liittyy suurempaan Liikenneviraston vuonna 2011 rahoittamaan tutkimuskokonaisuuteen ”Betoniteknilliset taitorakenteet, BTT”. Tutkimuksen rahoitti kokonaisuudessaan Liikennevirasto. Tutkimus oli ensimmäinen Suomessa tehty AKR:n esiintymistä ja laajuutta käsittelevä tutkimus ja sen keskeinen elementti oli eri laboratorioista kerätty AKR:ää koskeva havaintoaineisto, joka laboratorioissa oltiin kerätty ohuthietutkimusten yhteydessä.

Tutkimuksen tavoitteet olivat:

- Selvittää AKR:n yleisiä syntymekanismeja
- Selvittää AKR:n esiintymistä ja laajuutta Suomessa
- Selvittää muiden Pohjoismaiden lähestymistapa AKR:oon
- Määrittää AKR:oon liittyvät testaus- ja tutkimustarpeet Suomessa.

2. Taustaa

2.1 Termistö ja mekanismit

Alkalikiviainesreaktio (AKR), *englanniksi alkali-aggregate reaction (AAR)*, on kemiallinen reaktio, joka tapahtuu tiettyjen kiviaineksessa olevien mineraalien ja sementtikiven huokosveden sisältämien alkalien (Na⁺ and K⁺) ja hydroksyyli-ionien (-OH) välillä. Nämä reaktiot tapahtuvat yleensä tiettyjen amorfisten, heikosti kiteytyneiden tai epätasapainossa olevien kiteisten piidioksidin kanssa hyvin alkalipitoisessa liuoksessa. Reaktiossa muodostuu hygroskooppista alkaligeeliä [Silva, 2005].

Yleensä nämä reaktiot ovat luonteeltaan paisuvia, aiheuttaen betonissa sisäisiä jännityksiä ja niiden seurauksena halkeilua. Usein reaktion seurauksena geeliä tihkuu ja saostuu myös betonin pintaan [Silva, 2005]. Vakavat rakenteelliset vauriot eivät yleensä johdu yksin AKR:stä, vaan ovat usean tekijän summa. AKR:n aiheuttamat vauriot vähentävät selvästi betonin käyttöikää aiheuttaen halkeilua ja näin edesauttavat muiden hajottavien prosessien etenemistä, erityisesti betonin karbonatisoitumista ja suolojen tunkeutumisen aiheuttamaa teräskorroosiota.

Kolme erilaista alkalikiviainesreaktiota on tunnistettu: alkalipiidioksidireaktio, alkalisilikaatti-reaktio ja alkalikarbonaattireaktio.

Alkalipiidioksidireaktio (ASR), *englanniksi alkali-silica reaction (ASR)* oli ensimmäinen tunnistettu reaktion muoto. Samalla se on yleisin AKR:n muoto ja sitä on tutkittu eniten, vaikka vieläkin ei olla täysin yhtä mieltä sen syntymekanismeista tai paisumista aiheuttavista voimista. ASR:ta esiintyy lähinnä tietyn tyyppisten amorfisten tai heikosti kiteytyneiden piidioksidin muotojen (opaali, kalsedoni, limsiö ja osa deformatuneista kvartseista), joiden on todettu olevan epätasapainossa alkalisessa korkean pH:n ympäristössä, ja betonin huokosveden sisältämien alkali ja hydroksyyli-ionien reagoitessa. Tällöin syntyy alkalista silikaattigeeliä. Reaktion nopeus riippuu huokosveden alkalihydroksidipitoisuudesta

ja piidioksidin muodosta. Suurin osa kalsiumioneista (Ca^{+}) on peräisin sementin hydrataatioreaktiossa syntyvästä kalsiumhydroksidista ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Ionit tunkeutuvat muodostuvaan geeliin. Betoniin muodostuu kiviainesrakeiden ympärille natriumia ja kaliumia sisältävää kalsiumsilikaattigeeliä, jonka koostumus vaihtelee. Geelin kyky imeä vettä synnyttää paisumista. Alkali-piigeelin koostumus vaihtelee seuraavasti: SiO_2 28 ... 86%, K_2O 0,4 ... 19%, Na_2O 0 ... 20% ja CaO 0,1 ... 60% [Silva, 2005]. Hydroksyyli-ionien pääasialliseksi lähteeksi on tunnistettu kalsiumhydroksidi, ja se saa aikaan paisuntaa aiheuttavan reaktion alkali-ionien ja reagoivan piidioksidin välillä.

Alkalisilikaattireaktio, englanniksi *alkali-silicate reaction*, jota kutsutaan myös hitaaksi/viivästyneeksi alkali-piidioksidireaktioksi, on yllä kuvatun ASR-reaktion kaltainen, vaikka reaktiivinen kiviaineskomponentti ei ole vapaa, puhdas piidioksidi vaan kivessä oleva piidioksidi ja silikaattimineraalien sekafaasi (tavattu graniiteissa, liuskeissa ja grauvakassa) [Silva, 2005]. Reaktiomekanismi on sama kuin paisuvassa alkali-piidioksidireaktiossa, mutta geelin fysikaalisessa ja kemiallisessa toiminnassa ja muiden muodostuvien reaktiotuotteiden välillä on eroja. Reaktiion nopeus on kolmesta esitetystä tyyppistä hitain. Reaktiion samanaikaisuus ASR:n kanssa on mahdollista, sillä usein näissä kivissä on hienokiteistä kvartssia.

Alkalikarbonaattireaktio, englanniksi *alkali-carbonate reaction (ACR)* tapahtuu hydroksyylin ja alkali-ionien välillä savipitoisissa dolomiittikivissä. Reaktio aiheuttaa dolomiitin hajoamista, eli kalsiuminkarbonaatin ja magnesiumkarbonaatin yhtäaikaista hajoamista betonin alkaliliuoksessa. Paisuminen tapahtuu hyvin nopeasti ja aiheuttaa voimakasta betonin halkeilua, joka ei kuitenkaan johdu paisuvan geelin muodostumisesta vaan saven paisumisesta. Paisuminen aiheutuu pääasiassa saven mineraalien imiessä vettä [Silva, 2005]. Tämä tapahtuu kiviainesrakeiden ympärillä, johon voi muodostua 2 mm:n levyisiä reaktioalueita. Halkeilua muodostuu näillä alueilla sekä rajapintoja pitkin että säteittäisessä suunnassa. Säteittäin leviävät halkeamat etenevät hitaasti liittyen muihin sementtipastan sisältämiin halkeamiin muodostaen lopulta halkeamaverkon, jossa tartunta kiviainesrakeen ja pastan välillä häviää ja betoni rapautuu [Silva, 2005]. Tämä reaktio on harvinainen. Sitä esiintyy lähinnä Kanadassa ja Kiinassa.

2.2 Alkalikiviainesreaktioon vaikuttavia tekijöitä

Alkali-piidioksidireaktion syntyyn vaaditaan kolme asiaa: reaktiivista piidioksidia sisältävää kiviainesta, korkea alkalipitoisuus (pH) huokosissa ja riittävästi kosteutta.

Reaktiiviset kiviainekset. Kokemuksesta tiedetään, että useat luonnon kiviaineet voivat olla vuorovaikutuksessa sementtipastan sisältämien alkalilähteiden kanssa. Kiviaineen reaktiivisuus johtuu kiven sisältämien reaktiivisten ainesosien määrästä. Kivessä olevat piidioksidimineraalit kiteisessä muodossa ovat yleensä pysyviä ja amorfisessa muodossa reaktiivisia, mutta poikkeuksiakin on. Kiviainekset, joissa reaktiivisen aineksen ominaispinta-ala on suuri, kiteytyminen heikkoa, mineraalissa on hilavirheitä, amorfisia kohtia, lasittumia tai mikrohuokosia, ovat alttiita reagoimaan.

Mahdollisesti reaktiivisessa muodossa olevaa piidioksidia sisältäviä kivilajeja ovat: limsiötä ja kalsedonia sisältävä piikivi, happamat ja intermediääriset vulkaaniset kivet; ryoliitti, dasiitti, ja andesiitti sekä vastaavat porfyriitit ja tuffiitit, tietyt hiekkakivet ja kvartsiitti; piipitoinen karbonaattikivi, grauvakka, argilliitti, fylliitti, pieni osa graniiteista ja granodioriiteista ja tietyistä gneisseistä [Wigum, 1995; Wigum, 2006; Pyy, 2010; Silva, 2005; Farny, 1997].

Korkea alkalipitoisuus. Alkaliyhdyksidit reagoivat kivessä olevan reaktiivisen piidioksidin kanssa. Kun kiviaineen reaktiivisuus kasvaa, geelin muodostus voi tapahtua pienemmälläkin alkalimäärällä. Tämän vuoksi sementin pieni alkalimäärä yksinään ei välttämättä riitä ASR:n hallintaan voimakkaasti reagoivien kiviainesten kanssa. Kun alkalipitoisuus huokoisissa kasvaa, myös ASR:n mahdollisuus kasvaa. Alkaliyhdyksidin suurilla pitoisuuksilla myös kaikkein pysyvimät pihapon muodot ovat herkkiä altistumaan. Jos alkalipitoisuus on riittävän korkea, alkalihydroksidi katkaisee vahvat piisidokset, jotka ovat pysyvämpiä kiviaineessa, muodostaen reaktiotuotteena geeliä. Tämä selittää miksi reagoimattomiksi luulluissa kiviaineksissa havaitaan joskus ASR [Wigum, 2006].

Alkalirasitusta määritettäessä tulisi ottaa huomioon betonin kaikkien osa-aineiden alkalipitoisuus. Kuitenkin yleensä vain sementin alkalipitoisuus on huomioitu määrityksissä, sillä muiden aineiden alkalipitoisuus on yleensä pieni. Tyypillisesti alhaisalkalisementiksi määritellään sementti, jonka ekvivalentti natriumoksidipitoisuus ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$) on alle 0,60% [SS 134204, 2001]. Tästäkin huolimatta alhaisalkalisementtiä sisältävästä betonissa voidaan silti havaita ASR jos kosteuden muutokset keskittävät alkalit yhteen kohtaan ja jos kiviaines on erittäin reaktiivista, ja jos alkaleita tulee betoniin muista lähteistä kuin pelkästään sideaineesta.

Joissakin Euroopan maissa ja Kanadassa on määritelty alkalipitoisuuden ylärajaksi betonissa 3 kg/m^3 , silloin kun ASR:n mahdollisuus on olemassa. [LNEC 461, 2004; CAN/CSA-A23.1, 1994].

Ulkoisista lähteistä tulevat alkalit voivat voimistaa ASR:n aiheuttamaa paisumista, erityisesti silloin, kun betonissa on halkeamia tai se on erittäin huokoista. Tyypilliset ulkoiset alkalilähteet ovat liukkauden torjunnassa käytetyt suolat, merivesi, pohjavesi ja teollisuusprosesseissa käytetty vesi. Tiesuolauksessa käytetty natriumkloridi ja merivesi voivat tuoda rakenteeseen rajattomasti alkaleita. Upottamalla reaktiivista kiviainesta sisältävä betonilieriö natriumkloridiliuokseen, voidaan osoittaa betonin paisumisen ja rapautumisen voimistuvan erityisesti korkeissa lämpötiloissa [Swamy, 1987].

Kosteus. Kosteus edesauttaa alkaleiden ja hydroksyyli-ionien liikkumista reaktiivisen kiviaineksen lähelle ja se tarjoaa geelille tilaisuuden imeä kosteutta itseensä aiheuttaen paisumista. Tämän takia vahingollista ASR:ta ei esiinny kuivassa betonissa. Tutkimus on osoittanut, että paisuva ASR voi esiintyä betonissa, jonka suhteellinen kosteus on yli 80% [Stark, 1991]. On mahdollista, että jopa kuivilla alueilla useiden vuosikymmenten jälkeen aivan betonipinnan alapuolella suhteellinen kosteus on juuri 80% tai sen yli. Pieni muutos betonin vedenläpäisevyydessä pienentää kosteuden ja alkaleiden kulkeutumista betoniin ja niiden liikkumista betonin sisällä. Tähän voidaan päästä käyttämällä pientä vesi-sementtisuhdetta, korvaavia sideaineita, seosaineita tai muilla keinoilla.

Lämpötila. Lämpimässä ilmastossa olevat rakenteet ovat alttiimpia ASR:lle kuin kylmässä ilmastossa olevat rakenteet, koska reaktion nopeus kasvaa yleensä lämpötilan noustessa. Suurin osa reaktiivisista kiviaineksista käyttäytyy niin, että niiden paisunta on suurempi lämpimissä olosuhteissa kuin kylmissä olosuhteissa. Kuitenkin on olemassa tutkimuksia, jotka osoittavat, että alhaisempi lämpötila saattaa johtaa suurempaan paisumaan tietyissä kiviaineksissa. Kylmän tai lämpimän ympäristön vaikutus paisumaan on kiviaineksesta riippuva tekijä. [Wigum, 2006].

2.3 Määrittäminen kentällä

AKR:sta johtuva paisuminen on heterogeenistä ja sen ilmeneminen vaihtelee siihen vaikuttavien eri muuttujien mukaan: lämpötila, kosteus, rauditus ja ulkoinen kuormitus,

auringolle/sateelle altistuminen, ym. Lisäksi on tunnistettu, että AKR:n vaikutukset ovat suurimmat betonin pinnalla – pääasiassa alkalivuodon ja karbonatisoitumisen aiheuttaman huokostilan pH:n putoamisen takia – tämä aiheuttaa vetojännityksiä (ja sen vuoksi halkeilua). Myös ympäristötekijät, kuten jäätyminen tai kastumis-/kuivumissykli vaikuttavat vain pintakerroksessa. Vaikuttaisi siltä, että sisäisten vaurioiden syntyä rajoittaa ympäröivä betonivaippa. Se suojaa myös ympäristön vaikutuksilta rajoittaen syntyviä vauriota [Rivard, 2009]. Pakkasvaurio voi alkaa AKR:n jälkeen tai ne voivat aiheuttaa vaurioita yhdessä. Kuitenkin pinnan lohkeilun vastakohtana AKR-halkeilu saattaa alkaa sisältä eikä se välttämättä ole näkyvässä pinnalla [Rønning, 2001].

Alkujaan luultiin, että jatkuvasti veden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet kuten padot, satamarakenteet ja sillat olivat vaarassa AKR:n aiheuttamille vaurioille mutta 1978 todistettiin että AKR on laajalle levinnyt ongelma myös rakennusten ulkoseinillä [Einarsdóttir, 2008]. Täydellistä luetteloa ASR:n aiheuttamista piirteistä, joita voisi rutiinitarkastuksessa seurata, ei ole olemassa. ASR:n aiheuttamia ongelmia voidaan joskus havaita ja kaikkein tärkeimmät merkit reaktioista luetellaan seuraavassa [BCA, 1993]:

Halkeilu. Kuormittamattomassa betonissa ASR:n aiheuttamat halkeamat muodostavat usein yksittäisiä kolmesakaraista tähteä muistuttavia kuvioita, jotka liittyvät yhteen muodostaen halkeamakuvion. Monet muut epänormaalit kutistumat tai paisumat voivat muodostaa samankaltaisia halkeamakuvioita. Kuormitus tai betoniteräkset voivat muokata tai muuttaa kuvion muotoa. Raudoitettussa betonissa halkeamat yleensä seuraavat teräksiä. Paljon raudoitusta sisältävissä tai esijännitetyissä palkeissa ja pilareissa tai rakenteissa, joissa on kohtuullinen pitkittäinen puristusvoima, halkeamat eivät muodostu kohtisuoraan pääjännitykseen nähden vaan ne pyrkivät muodostumaan jännityksen suuntaisesti eli rakenteen pituussuuntaan ja ne voivat olla lyhyitä halkeamia tai ne voivat muodostua koko rakenteen pituudelle. Ajoittain rakenteen pinnan halkeamassa voidaan erottaa selvä poikittainen hypäys sivulle.

Värivirhe, rapautuminen ja tihkuminen. Selvästi erottuva värivirhe saattaa olla ASR:n aiheuttama ja se yleensä esiintyy halkeaman kohdalla mutta se voi ilmetä myös laikkuina rakenteen pinnalla. Rapautumisen laajuus ja määrä sekä tihkuminen on huomioitava ja saostuman väri, pinnan laatu, kosteus ja kovuus kuvailtava.

Pintalohkeamat. Yksittäisen kiviaineen osan tai betonin pinnalla olevan geelin paisuminen voi joskus lohkaista kartiomaisen osan betonin pinnasta jättäen pienen kuopan tai ”ampuman” pintaan.

Muutokset, siirtymät ja muodonmuutokset. Rakenteissa voi esiintyä joskus merkittäviä siirtymiä. Muutokset voivat esiintyä erillisten betoni osien välisten saumojen tukkeutumisena tai suhteellisina siirroksina, alun perin tasaisten pintojen liiallisina taipumina, kiertyminä tai pullistumina. Vastaavien muiden normaaliin tekijöiden aiheuttamat muutokset tulee osata erottaa AKR:n aiheuttamista muutoksista. Tällaisia muutoksia voi esiintyä betoniosien erilaisista koostumuksista, epätavallisen märistä olosuhteista tai muuten epätasaisesti alttiina olevista paikoista tai eritavalla kuormitetuista osista johtuen.

2.4 Testimenetelmät laboratoriossa

Vaikka testejä kiviaineksen reaktiivisuuden määrittämiseksi on kehitetty ja julkaistu, niiden avulla ei voida suoraan arvioida tiettyjen rakenteissa käytettävien betonien herkkyyttä alkalireaktioille. Testimenetelmää ei ole, lukuun ottamatta mahdollista betoniprismakoetta, jonka avulla voisi arvioida kiviaineksen käyttäytymistä kentällä. Testit eivät huomioi seosaineiden lieventävää vaikutusta tai testit eivät erittele alhaista alkalipitoisuutta massassa.

Tällaisia lieventäviä suureita apuna käyttäen, voitaisiin turvallisesti käyttää huomattavasti laajempaa joukkoa kiviainestyyppettä. Nykyään ei kuitenkaan ole luotettavaa testiä millä voitaisiin testata käytettävää betoniseosta. Tällaista koetta on kuitenkin ehdotettu, mutta sitä ei ole vahvistettu todellisten rakenteiden kenttäkokeilla [Rilem, TC-219]. Erilaiset kansalliset tavat suhteituksessa, koekappaleissa ja testikappaleiden säilytyksessä, tekee eri testien vertailun vaikeaksi.

Huolimatta rajoitteista, laboratoriokokeet, täydennettynä aidoissa betonin olosuhteissa kertyneellä kokemuksella ja tunnetulla toimivuudella, ovat hyvä lähtökohta arvioitaessa kiviaineksen ja betonin alttiutta AKR:oon. Perusteellinen petrograafinen tutkimus yhdessä muiden tekniikoiden, kuten röntgendiffraktion, infrapunaspektroskopian avulla on ensimmäinen askel arvioitaessa kiviaineksen soveltuvuutta betoniin. Petrograafisen tutkimuksen rajoitteet on huomioitava ja nämä tutkimukset eivät takaa ehdottoman luotettavaa tietoa siitä tuleeko AKR:ta esiintymään vai ei [Swamy 1992].

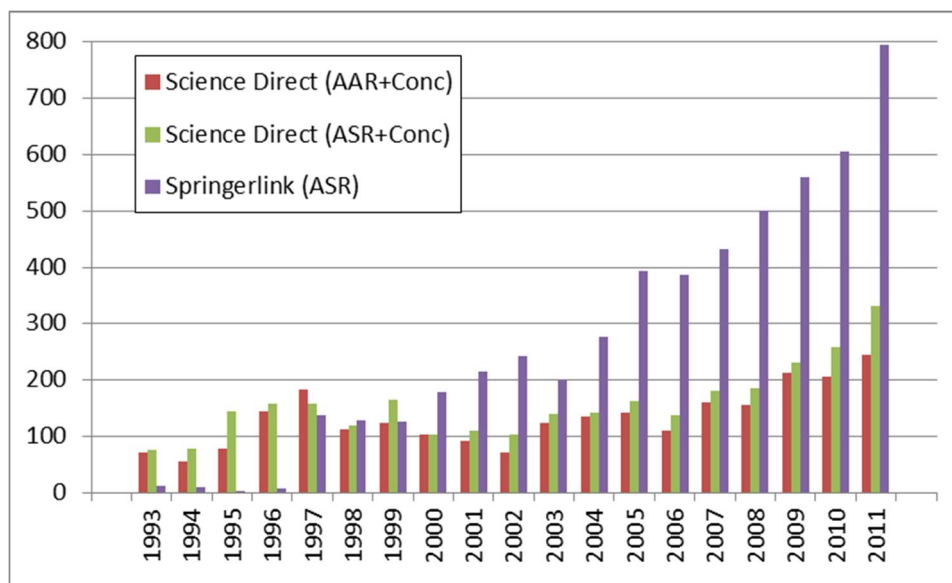
AKR:n tutkimiseksi on kymmenkunta erilaista testiä. Laboratoriotesteillä on kaksi, joskin ristiriitaista tarkoitusta: määrittää melko nopeasti kiviaineksen reaktiivisuus alkaleille ja arvioida sekä asettaa kiviaineksen ja sementin yhdistelmälle hyväksyttävät rajat AKR:n aiheuttamalle paisumiselle (toiminnalliset rajat). Suurin osa testimenetelmistä voidaan ajatella olevan joko laastiprismamenetelmä (esim: ASTM C227), kiihdytetty laastiprismamenetelmä (esim: NBRI, 1987 tai ASTM C1260), betoniprismamenetelmä (esim: ASTM C1260, RILEM AKR-3), tai nopeutettu betoniprismamenetelmä (esim: RILEM AKR-4). Yhteinen johtopäätös näistä testeistä on se, että yksittäinen testi ei sellaisenaan riitä luotettavan arvion taustalle. AKR:n syntymiseen vaikuttaa monia eri tekijöitä, joten yhdellä testillä ei saada luotettavaa tulosta. Laboratoriotestien tarkoitus ja tavoite sekä rajoitteet on tärkeätä tunnistaa, kun testeillä määritellään hyväksyttäviä rajoja paisumiselle käytännön suunnittelua varten.

Tekniikan näkökulmasta petrograafisen analyysin ja laastiprisma- tai betoniprismatesti sekä todellisen rakenteen toimintatiedon yhdistämisellä saadaan paras saatavilla oleva tieto, jotta pystytään estämään vahingollisen paisumisen esiintymistä betonirakenteissa. Betoniprismatestiä on yleisesti pidettävä tarkkuuden vuoksi laastiprismatestiä parempana, sillä vain siinä testissä kaikki AKR:oon vaikuttavat tekijät voidaan ottaa huomioon, kuten ainesosat, seossuhteet ja ulkoisten tekijöiden vaikutukset materiaalin huokoisuuteen ja läpäisevyyteen. Petrograafinen analyysi on yleensä ensimmäinen ja nopein testi, kun taas laastiprismatesti on suhteellisen nopea ja betoniprismatesti on erittäin hidas. Yleensä aika on rajoittava tekijä testin valinnassa. Olisi kuitenkin pidettävä mielessä, että AKR:oon vaikuttavista tekijöistä kaikkein tärkein muuttuja on betonin ympäristöolosuhteet ja juuri tämä tekijä on ihmisen vaikutuspiirin ulottumattomissa [Swamy, 1992].

3. Kansainvälinen kokemus

Stanton kuvasi alkalikiviainesreaktion ensimmäistä kertaa kirjallisuudessa Yhdysvalloissa 1940 [CCANZ, 2003]. Tuolloin hän onnistui todistamaan että Kaliforniassa 1920 ja 1930 lukujen betonirakenteiden pääasiallinen halkeilu johtui sementin ja kiviaineksen ominaisuuksista. Havaittujen vaurioittavien reaktioiden aiheuttajaksi osoitettiin korkean alkalipitoisuuden sisältävät sementit yhdessä opaalisien kiviaineksen kanssa [Pedersen, 2004].

Tämän jälkeen aiheesta on julkaistu useita artikkeleita ja AKR:sta on järjestetty 13 kansainvälistä konferenssia. Diamondin [1997] mukaan vuoteen 1991 mennessä aiheesta on julkaistu arviolta 1300 artikkelia ja kuvassa 1 esitetään karkea arvio AKR:sta kirjoitettujen tieteellisten julkaisujen määrä tämän jälkeen.



Kuva 1. Alkalireaktioita käsittelevien kansainvälisten tieteellisten artikkelien määrän kehitys vuodesta 1993 alkaen. Julkaisijoina Science Direct and SpringerLink.

Maailmalla AKR on tunnistettu yli 50 maassa. Jokseenkin ainoana maana Euroopassa Suomi ei ole virallisesti tunnustanut AKR:ta. Pohjoismaissa AKR aiheena on esiintynyt keskusteluissa muutaman vuosikymmenen ajan. Tanskassa todettiin AKR-ongelma 1950 -luvulla [Nerenst 1957] ja 1960–70 paikkeilla sama todettiin Islannissa [Gudmundsson 1975]. Ruotsissa ja Norjassa tutkimus saatiin käyntiin vuosina 1980–90 [Lagerblad 1992, Jensen 1993]. Muutamien näiden maiden kehityskulku käydään läpi esimerkinomaisesti seuraavassa.

On syytä todeta, että Suomen kiviaines eroaa täysin Tanskan ja Islannin kiviaineksesta. Tämän takia näiden maiden reaktiivisten kiviainesten esimerkit eivät ole relevantteja. Tanskalainen kiviaines koostuu nuoresta sedimenttikivestä ja Islantilainen kiviaines on nuorta vulkaanista kiveä. Kun taas Suomessa Ruotsin ja Norjan tapaan kiviaines koostuu pääasiassa vanhasta kiteisestä kivistä.

Ruotsissa ASR:n tieteellinen tutkimus alkoi 1980, kun perustettiin tutkimusprojekti ampumien selvittämiseksi betonilattioista Skånessa. Tässä tutkimuksessa todettiin Skaniasta tuodun voimakkaasti reaktiivisen opaalisin kiven olevan ASR:n taustalla [Nilsson & Peterson, 1983]. Pian tämän jälkeen ASR havaittiin Tukholman alueella siltojen rapautumista tutkittaessa. Tukholmassa reaktiivinen kiviaines oli myloniitti ja alkalit tulivat tiesuolauksesta [Lagerblad & Nieman, 1992]. Tutkimusten jälkeen AKR on havaittu useissa kohteissa ympäri Ruotsia ja monissa erityyppisissä reaktiivisissa kivissä. Kaikkein reaktiivisin kiviaines on Skaniasta, kuten edellä jo mainittiin. Tämän alueen pohjoispuolella esiintyy paikallisesti mikrokiteistä piipitoista kiveä (porfyriitti, metaryoliitti) ja voimakkaasti deformatuneita kiviä (kataklastiitti ja myloniitti). Nämä kivet ovat reaktiivisia yhdistettynä korkean alkalipitoisuuden sementtien tai ulkopuolisen alkalilähteen kanssa. Ruotsissa tunnistettu ASR:ta aiheuttavina kiviaineksina on luetteloitu myös grauvakka, myloniitti ja muutamat muttuneet sparagmiittiset hiekkakivet, joita esiintyy Ruotsin ja Norjan välisellä vuoristoalueella [Lagerblad & Trägårdh, 1992], [Wigum, 2006].

Norjan tieteellinen ASR-tutkimus on saanut alkunsa kahdessa projektissa vuosien 1988 ja 1992 aikana, joita on referoitu Jensenin väitöskirjassa [1993]. Ensimmäinen alkalipiidioksiidi-reaktiota käsittelevä artikkeli on kirjoitettu kuitenkin jo Musæusin toimesta vuonna 1962. Hän teki tutkimuksen saviliuskeen mahdollisesta reagoimisesta alkalien kanssa [Jensen 1993].

Vuonna 1978 Kjennerud julkaisi tutkimustuloksia uima-altaiden rakenteista ja vesivoimalaitosten turbiinien perustuksista [Jensen 1993]. Hän päätyi tulokseen, että alkalikiviainesreaktio oli syynä vaurioihin molemmissa tapauksissa. Jensenin [1993] mukaan ASR:ta ei saatu riittävästi todisteita vasta kuin vuonna 1988. Jensenin [1993] väitöskirjassa esitetään katsaus ASR:n historiaan Norjassa, kun taas uudemmat aiheeseen liittyvät tapahtumat on esitetty Broekmansin [2002] väitöskirjassa. Norjan Betoniyhdistys on julkaissut kansalliset oppaat ASR:stä vuonna 1996, joissa esitetään perusteet mahdollisten alkalireaktiivisten kiviainesten käytölle [Norjan Betoniyhdistys 1996]. Uudistetut ohjeet on julkaistu 2004 [Pederson, 2004].

Vaikka on selvää, että AKR:n ymmärtämisessä on tapahtunut valtavaa kehitystä, ja että monet ongelmat jotka liittyvät alkalireaktiivisten kiviainesten hyödyntämiseen on ratkaistu, joitain reaktion periaatteita ei vielääkään täysin ymmärretä [Pederson, 2004].

4. Käytännöt Suomessa

Suomessa rakennustekniikan opetuksessa on perinteisesti kerrottu, ettei alkalikiviainesreaktio ole täällä ongelma. Betonin kiviainesohjeessa (BY43) jopa sanotaan, että ”nykyisen tietämyksen mukaan AKR ei ole ongelmana kun käytetään Suomalaista kiviainesta” [BY43, 2008]. Suomessa käytetään myös yleisesti seosaineita kuten lentotuhkaa ja masuunikuonaa, joiden tiedetään vähentävän AKR:n riskiä. Aiempaa enemmän huomiota tulisi kuitenkin kiinnittää betonin eri osa-aineisiin Suomessa ja lisäksi olisi selvitettävä missä AKR:n riskiä esiintyy.

Jo vuonna 1992 Hannu Pyy esitti Pohjoismaisessa AKR:ta käsittelevässä miniseminaarissa Tukholmassa, että: ”toistaiseksi AKR:ta ei ole havaittu Suomessa. Tämä on oikeastaan ihmeellistä, sillä AKR:sta on merkkejä Suomen ympärillä olevissa maissa ja Suomen kallioperän koostumus ei eroa merkittävästi näiden maiden kallioperästä. Kuinka on mahdollista että, Suomi on valkoisena pisteenä kartalla?” [Pyy 1992]. Kysymystä vahvisti Jouni Punkkin ja Veli Suomisen artikkelissa Betonilehdessä 1994, jonka otsikko oli ”Alkalikiviainesreaktio Norjassa – ja Suomessa?” [Punkki 1994]. Artikkelissa he kysyivät miksi Suomi olisi immuuni AKR:n esiintymiselle.

Seuraavissa kappaleissa pyritään tuomaan esiin AKR:oon liittyvät huolet, jotka liittyvät suomalaiseen käytäntöön.

4.1 Kiviainestyyppit

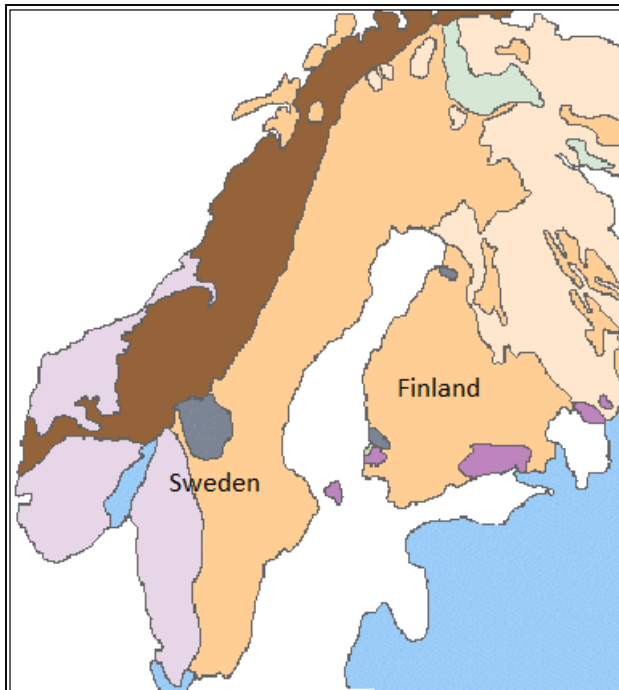
Suomi on tunnettu vahvasta ”reagoimattomasta” kiviaineksestaan. Peruskallio on pääasiassa prekambrikan syväkiveä ja metamorfisia kivilajeja. Sedimenttikivien esiintyminen on vähäistä ja nämä kivet ovat myös vanhoja. Metamorfiset kivilajit sisältävät metavulkaniitteja, gneissejä, liuskeita ja kvartsiittia ja ne ovat vahvasti muuntuneita ja deformatuneita. Peruskallion päällä on irtomaa-aines, joka on muodostunut jääkauden aikana (noin 10 000 vuotta sitten), joten näiden aikakausien välillä on pitkä jakso.

Irtomaa-aines edustaa hyvin peruskallion koostumusta. Graniitti ja granodioriitti ovat tyypillisimmät kivilajit peruskalliossa ja maaperässä. Luonnonsora koostuu keskimäärin 60% näistä kivilajeista. Loppuosa on yleisesti gneissia ja liuskekiveä. Itäisessä Suomessa kvartsiittia esiintyy enemmän.

Geologisesta näkökulmasta Suomessa ja Ruotsissa on paljon yhteistä. Peruskallio on molemmissa maissa pääosin muodostunut prekambrikaudella (kuva 2). Tämä on sinänsä

tärkeä tekijä, koska Ruotsissa on tunnustettu AKR tapauksia jo yli 20 vuotta sitten [Nilsson & Peterson, 1983] ja ongelma on sen vuoksi tiedostettu. Osa Ruotsin reaktiivisista kivilajeista on samoja, joita tavataan Suomessa. Kartasta voidaan nähdä, että peruskallio sekä Ruotsissa että Suomessa edustaa prekambriella kaudella syntyneitä liuske- ja gneissikiveä, joita halkoo syväkivet kuten graniitti ja gabro.

Tekijät uskovat että Suomessa AKR on lähinnä yhdistettävissä enemmän tiettyihin kivilajeihin kuin joihinkin maantieteellisiin alueisiin. Tämä asia tosin pitää vielä varmistaa tulevaisuudessa.



Kuva 2. Yksinkertaistettu geologinen kallioperäkartta Pohjoismaista (geologia.fi).

4.2 Sementtityypit

Finnsementti Oy tuottaa noin 80 % Suomessa käytetystä sementistä. Viimeisen viiden vuoden aikana keskimääräinen vuosittainen sementtituotteiden jakautuminen Suomessa on ollut seuraava: 45 % Yleissementtiä (CEM II/A-M (S-LL) 42,5N), 35 % Rapid sementtiä (CEM II/A-LL 42,5 R), 10% Pika sementtiä (CEM I 52.5R), 5% Plus sementtiä (CEM II B-M (S-LL) 42,5 N), 2% Sulfaatin kestävä sementtiä (CEM I 42,5 N) ja 2 % Valkosementtiä (CEM I 52,5 R) [Finnsementti 2012].

Sementin alkalimäärä pitää määrittää arvioitaessa alkalikiviainesreaktion esiintymisen mahdollisuuksia. Portlandsementtiklinkkerin alkalipitoisuus koostuu natriumista ja kaliumista, jotka tyypillisesti ovat peräisin raakamateriaalista ja tuotannossa käytetystä kivihiilestä. Alkalipitoisuus ilmoitetaan yleensä Na_2O ekvivalenttina (Na_2O_{EQ}) prosenttiosuutena (= % Na_2O + % $0.658 K_2O$). Alkalikiviainesreaktion rajoittamiseksi kokonaisalkalimäärän suositellaan olevan alle 0,60% [NBN B 12-109, 1993; DIN 1164-10, 2008; BS 4027, 1996]. Lämmönvaihtimien käyttö sementtiteollisuudessa nostaa alkalipitoisuutta nykyisin ja alkaleiden määrä sementissä tyypillisesti vaihtelee 0,2 ja 1,5% Na_2O_{EQ} välillä. Huokosveden pH vaihtelee 12,5 ja 13,5 välillä riippuen sementin alkalipitoisuudesta [Neville, 1997].

Yllä listattujen suomalaisten sementtityyppien kemiallinen koostumus klinkkerityypeittäin esitetään taulukossa 1. Taulukosta 1 on huomioitava, että kansainvälisen käytännön mukaan,

kaikki suomalaiset sementit (lukuun ottamatta Tanskalaista valkosementtiä) sisältävät alkali-pitoisuuden, joka ylittää suositellun raja-arvon 0,6%. Yleis- ja Rapidsementillä arvo on yli 1%, mitä voidaan pitää kansainvälisen käytännön mukaisesti korkeana pitoisuutena.

Taulukko 1. Esimerkki sementtien ja kuonan kemiallisesta koostumuksesta syksyllä 2007 (Finnsemetti Oy).

Sementtityyppi / koostumus	CEM II/B-S 42,5 N Perussementti	CEM I 42,5 N - SR SR-sementti	CEM II/A- M(S-LL) 42,5 N Yleissementti	CEM I 52,5 N Valkosementti	CEM II/A-LL 42,5 R Rapidsementti	CEM I 525 R Pikasementti	Masuunikuona - 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
Vapaa kalkki	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	-
Na₂O_{EQ}	?	0.80	1.10	0.22	1.35	0.95	0.78

Vähemmän alkaleita sisältävän sementin tuottaminen saattaa vaatia paljon energiaa tuotannossa klinkkerin alkalipitoisuuden vähentämiseksi tarvittavien lisäkiertojärjestelmien takia. Energiatehokkuusvaatimuksen johdosta on olemassa suosituksia alkalipitoisuudeltaan pienien sementtilaatuja käytöstä vain tapauksissa, joissa alkalikiviainesreaktiosta saattaisi tulla ongelma [FHWA 2012].

4.3 Betonituotteet

Suomalaisilla betonituotteilla ja rakenteilla on todettu olevan hyvä kestävyys ja pitkä käyttöikä. Vaikka rakenteet ovat usein alttiina olosuhteille, jotka edesauttavat AKR:ta. Monet rakenteet ovat alttiina kosteudelle aina syksystä keväeseen, jolloin betonin suhteellinen kosteus on lähellä 100%. Suomen kylmä ilmasto saattaa vaikuttaa AKR:ta hidastavasti, mikä selittäisi ilmiön myöhäisen esiintymisen verrattuna muihin maihin. Suomen ankaran ilmaston takia monet teollisuudenalat ja toiminnot on sijoitettu sisätiloihin, jolloin ympäristö on lämmin ja kostea. Esimerkiksi sellun ja paperin tai energian tuotantotiloissa ja tehtaissa betonissa saattaa olla AKR:n riski. Myös uimahallit ja kylpylätilat, joissa pidetään korkeaa lämpötilaa ja joissa suhteellinen kosteus on merkittävä, ovat vahvasti alttiita AKR:lle.

5. Nykyinen AKR-tietämys Suomessa

5.1 Mielenkiinnon herättäjä

Muutamien viimeisten vuosien aikana on Suomessakin havaittu AKR:n aiheuttamia vaurioita. Asian saattamiseksi laajempaankin tietoon on AKR:sta kirjoitettu Suomessa viimeisen parin vuoden aikana kaksi artikkelia [Pyy & Holt 2010, Pyy & Holt 2011]. Ehdotus laajempien tutkimusten käynnistämiseksi AKR:n esiintymisestä esitettiin BTT:n (Betonitekniset taitorakenteet) ohjausryhmälle vuonna 2009. Liikenneviraston vuonna 2011 rahoittaman tutkimuksen työstä raportoidaan ohessa. Tutkimuksen tulokset AKR:stä on myös esitetty Betonin alkalikiviainesreaktio -seminaarissa 24. tammikuuta 2012. Yksityiskohdat seminaarista esitetään liitteessä C.

5.2 Kyselytutkimuksen tulokset

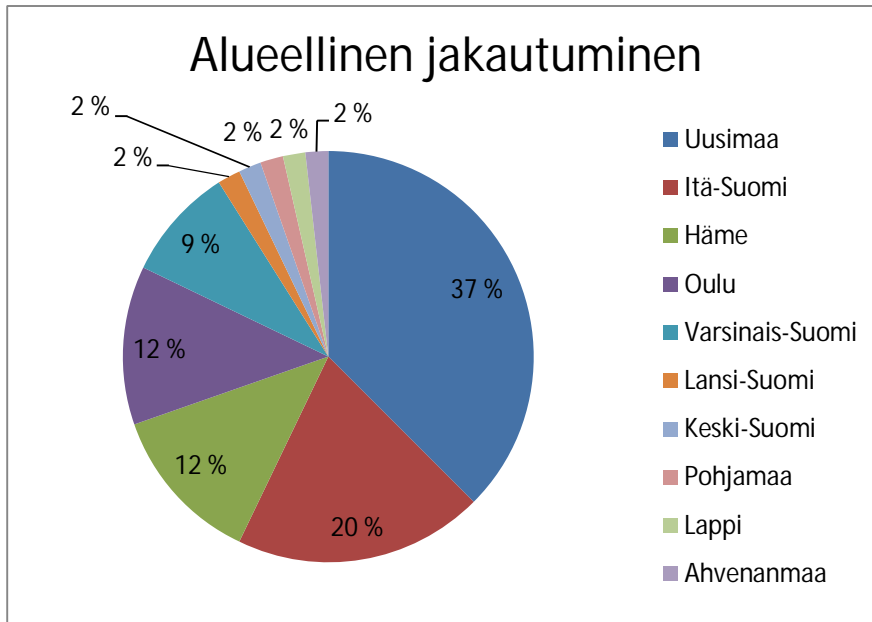
Tutkimuksen keskeinen osa oli betonin ohuthietutkimuksia tekeville laboratorioille suunnattu kysely. Sähköpostikysely lähetettiin marraskuussa 2011 yhteensä 10 yritykselle ja muistutukset kyselystä tammikuussa 2012 (liitteessä A on yhteystiedot kyselyn saaneista). Kaikkiaan 7 yritystä vastasi kyselyyn AKR-seminaariin mennessä. Myös muista kyselyn ulkopuolisista tapauksista saatiin tietoa, mutta niitä ei ole raportoitu tässä. Yhteenvedo kyselystä esitetään taulukkomuodossa liitteessä B. Muutamia tunnusomaisia havaintoja kyselyn tuloksista esitetään seuraavassa.

Suomessa 2011 tehdyssä kyselytutkimuksessa havaittiin 56 selkeää AKR:n aiheuttamaa vauriotapausta suomalaisissa betonirakenteissa viimeisen 15 vuoden tutkimusajanjakson aikana. Ehtona tapauksen luokittelumiseksi AKR-tapaukseksi on, että geeliä havaitaan halkeamista ja/tai kiviaineksesta. Tässä yhteydessä pitää korostaa että kyselyyn *ei otettu* mukaan tapauksia joissa AKR on *saattanut* aiheuttaa havaittavaa halkeilua tai rapautumista, mutta tapaukset eivät olleet varmoja geelilöydöksen puuttuessa. Tunnistettavia kohde- ja paikkatietoja ei esitetä, sillä tutkimukset ovat luottamuksellisia.

Kaikissa tapauksissa oltiin kairasydännäytteistä valmistettu ohuthieitä betonin tutkimiseksi. AKR:ta ei todettu jokaisessa tutkitussa ohuthieessä per kohde. Kaikkiaan 56 todetusta AKR-kohteesta oli valmistettu 331 ohuthieitä. AKR:n esiintyminen todettiin 33 % tutkituista näytteistä (111 tapausta 331 ohuthieestä). Huomioitavaa on, että havainnot eivät olleet tasaisesti jakautuneet. Pahimmassa tapauksessa kaikissa 4 otetussa näytteessä havaittiin AKR:n aiheuttamia vaurioita, mutta muissa tapauksissa saattoi vain 1 näyte useammasta näytteestä sisältää indikaation AKR:sta. Ainakin kahdessa - kolmessa tapauksessa AKR oli pääasiallinen rakenteen vaurion aiheuttaja, jonka seurauksena suoritettiin rakenteessa korjaustoimenpiteitä.

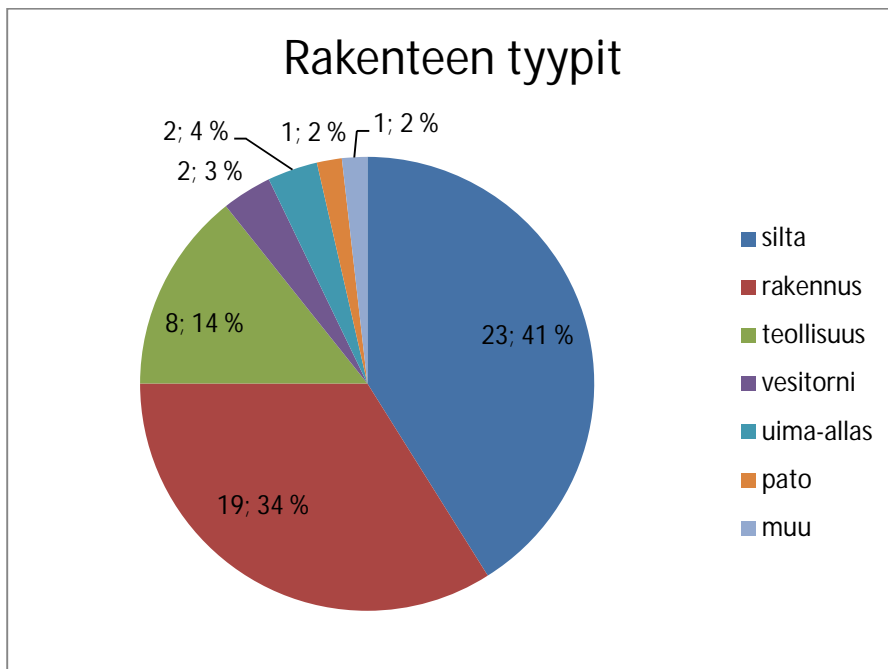
Tutkijat ilmoittivat, että yrityksillä oli alkuperäiset raportit tallella suurimmasta osasta tapauksista, joissa ARK-vauriot on yksityiskohtaisesti selvitetty. Tulevaisuuden tutkimustarpeita varten myös pertograafisista ohuthienäytteistä on yhä tallella yli 75%, mikäli tarkempaan tutkimukseen tulisi tarvetta.

Kuvassa 3 esitetään AKR-havainnoista alueellinen jakauma. Kyselyssä esiin tulleet näytteet eivät ole jakautuneet koko Suomen alueelle, joten on mahdollista, että AKR-kohteita esiintyy myös muualla, esitettyjen alueilla lisäksi.



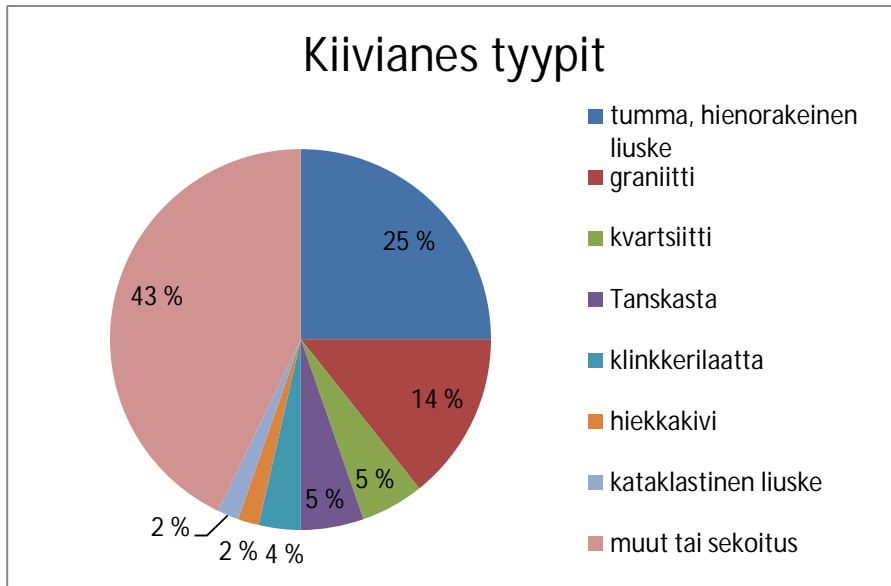
Kuva 3. Kyselytutkimuksessa raportoitujen tapausten maantieteellinen jakauma.

Kuvassa 4 esitetään eri rakenteet, joista AKR-vaurioita on löydetty. Kuvasta nähdään, että suurin osa tapauksista sijaitsi silloissa (39%) ja rakennuksissa (34%).



Kuva 4. Kyselytutkimuksessa raportoitujen tapausten jakautuminen rakenteittain.

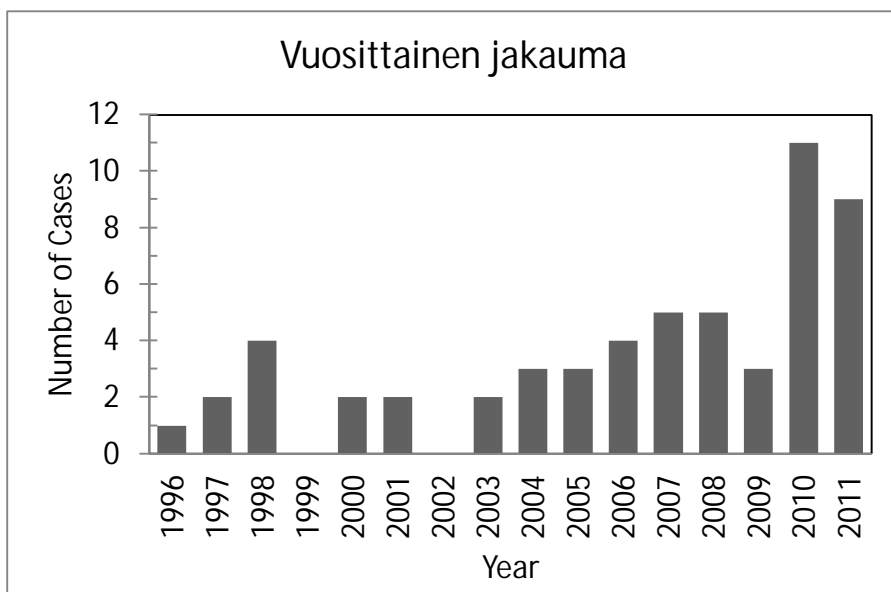
Lisäksi kyselyssä tiedusteltiin reagoiut/reagoineet kiviainestyyppit. Kiviainestyyppien jakauma esitetään kuvassa 5. Suurimmassa osassa kiviaines ei kuulunut vain yhteen kiviainestyyppiin tai kiviainestyyppi oli epäselvä tai sitä ei varmuudella voitu määrittää/ei oltu määritetty. Esimerkiksi kiviaines oli raportoitu olevan joko graniittia tai kvartsiittia.



Kuva 5. Kyselytutkimuksessa selvitettyjen AKR:n aiheuttaneet kiviainestyytit.

Kiviaineksen tunnistamisen lisäksi kyselyyn vastanneet huomauttivat, että useissa AKR-tapausten tutkimuksissa suhteitus (vesi-sementtisuhde, sementin tyyppi, kiviaineslähde) oli tuntematon. Kyselyssä ei tullut ilmi AKR:n vaurioittaman rakenteen ikää. Molemmat näistä tekijöistä tulisi tulevaisuuden tutkimuksissa olla mukana, jotta AKR-tapausten ajallinen ja betonitekninen selvittäminen saataisiin mukaan.

Kyselyn perusteella raportoitujen AKR-tapausten määrä Suomessa näyttäisi olevan nousussa, kuten kuvasta 6 voidaan nähdä. Tämä saattaa johtua rakenteiden ikääntymisestä mutta se voi johtua myös koulutuksen lisääntymisestä tai tietoisuuden lisääntymisestä tai keskustelun heräämisestä Suomessa [Pyy & Holt 2010]. Huomioitavaa on, että suomalaisten tapausten kasvava määrä on linjassa kansainvälisten julkaisujen kanssa, kuten aikaisemmasta kuvasta 1 osassa 3 on nähtävissä.



Kuva 6. Raportoitujen AKR-tapausten määrä vuosittain Suomessa.

Vastanneet olivat tietoisia myös muista AKR:n vaurioittamista betonirakenteista, jotka eivät kyselyn tuloksissa näy, koska alkuperäistä raporttia ja/tai ohuthienäytettä ei enää löydetty tai

niitä ei ehditty liittää kyselyyn. Perusteellisempi tutkimus tulevaisuudessa voisi antaa ilmiöstä paremman kuvan, vaikka tämä kysely oli hyvä ensiaskel AKR:n tunnistamisessa Suomessa.

6. Tulevaisuuden tarpeet

Tämä projekti oli ensimmäinen tutkimuksellinen askel suomalaisen AKR:n ymmärtämiseksi ja täydentämään niitä julkaisuja, joita aiheen teemoilta on parin viime vuoden aikana tehty. Seuraavat suositeltavat askeleet AKR:n riskin ymmärtämiseksi ja tietoisuuden lisäämiseksi Suomessa on kuvailtu seuraavassa. Nämä suositukset pohjautuvat muiden maiden kokemuksiin. Kaikkialla on yleensä kuljettu hyvinkin samanlainen tie AKR-vaurioiden merkittävyyden tunnistamisessa. Nyt tämä on ajankohtainen asia Suomessa.

Seuraavissa kohdissa luetellaan tarvittavat toimet Suomessa AKR:n ymmärtämiseksi:

1. Tehdään Suomessa petrografian ammattilaisten kanssa vertaileva tutkimus, jossa arvioidaan ohuthienäytteiden avulla AKR:n aiheuttamaa tyypillistä vauriota. Tutkimuksen ohessa keskustellaan, miten AKR havaitaan ja määritellään sen kuvailu tarkasti. Vaihtoehtoisesti sisällytetään mukaan opetusta geologeille, tutkijoille ja petrografian osajille AKR-löydösten tunnistamisessa ohuthienäytteistä.
2. Luodaan tarkka kartta reaktiivisista kiviaineksista Suomessa, pohjautuen geologiseen tutkimukseen ja kokemukseen. Yhteistyötahoina tässä betoni-tutkimusta harjoittavat tahot ja GTK.
3. Tehdään laboratoriokokeita mahdollisesti AKR:lle herkille suomalaisille materiaaleille. Valmistetaan betoni- ja/tai laastisekoituksia käyttämällä muutamaa huonoimmaksi arvioitua/todettua suomalaista kiviainesta (vertailun vuoksi mukaan otetaan ulkomailta huonoksi tiedetty kiviaines, kuten Tanskasta) ja suomalaista sementtiä. Noudatetaan RILEM:in ehdottamaa koemenetelmää (tai vastaavaa) AKR:n havaitsemiseksi laastiprisma- tai betoniprismatestissä. Vain näiden suomalaisilla materiaaleilla tehtyjen kokeiden avulla voidaan osoittaa millaisia vaurioita on odotettavissa. Tuloksia voidaan verrata laajaan kansainväliseen kokemukseen, joka auttaa asettamaan rajat sallituille sekoitussuhteille Suomessa, jotta AKR voidaan välttää. Yhden koesarjan tekeminen seosaineella (kuten masuunikuonalla) auttaisi selvittämään AKR:n riskin pienentämisvaikutuksen.
4. Kehittää yksityiskohtainen kenttätutkimusohje rakenteille (kuten sillat), joissa AKR:n aiheuttamia vaurioita on havaittu. Painopisteen tulisi olla AKR-vaurioiden erottamisessa pakkasvaurioista. Ohuthienäytteitä tulisi tehdä kairasydännäytteistä useilta eri syvyyksiltä. AKR:n aiheuttaman turmeltumisen erottamista pakkasvaurioista tulisi tutkia näytesyvyyden mukaan.
5. Tuottaa suomalaiselle teollisuudelle opastusta ja käytäntöjä AKR:n määrittämiseksi suomalaisissa rakenteissa. Betonin tuotantoon laaditaan ohjeita hyväksyttävistä materiaaliyhdistelmistä ja määritetään rajat laboratoriokoe-tulosten perusteella, jotta AKR voidaan välttää.
6. Edistetään Suomen kansainvälistä verkottumista AKR:n tiimoilta, jotta voimme oppia muiden historiasta ja edistymisestä. Tämä edellyttää osallistumista tuleviin konferensseihin ja seminaareihin. Viestitystä pitää jatkaa kansainvälisesti Suomen kokemuksista AKR:sta.

7. Yhteenveto

Tämä tutkimus osoittaa selvästi, että alkalikiviainesreaktiota esiintyy suomalaisissa betonirakenteissa.

AKR on maailmanlaajuinen ongelma, jonka merkitys kasvaa koko ajan. Tämä raportti tarjoaa lyhyen, alan viimeisimmän katsauksen AKR:n mekanismeista ja vaurioiden arvioinnista. Raporttiin on kirjattu myös tiivistelmä siitä, kuinka muut pohjoismaat ovat käsitelleet kasvavaa AKR-ongelmaa.

Tutkimuksessa tehtiin kartoitus AKR-havainnoista Suomessa. Yli 50 suomalaisessa betonirakenteessa, 15 vuoden aikana, on varmuudella löydetty AKR:ta. Näitä rakenteita on havaittu useilla maantieteellisillä alueilla Suomessa ja erilaisissa rakenteissa. Eniten AKR:ta on havaittu silloissa ja rakennuksissa (julkisivut). Tiettyjä reaktiivisia suomalaisia kiviainestyyppisiä on määritetty ohuthienäytetutkimuksissa.

AKR:ta sisältäviä rakenteita on Suomessa jo havaittu ja oletettavasti tällaisten rakennevaurioiden määrä tulee lisääntymään. Kansallisia ohjeita tai normeja AKR:ta ja sen ehkäisemistä varten ei ole.

Suomessa tulisi ryhtyä seuraaviin toimenpiteisiin AKR:n suhteen: vertailevan mikroskopiatutkimuksen tekeminen, AKR:n laboratoriotestit, laajemmat käyttökokemustutkimukset ja syvällisempi opetus. Suomalaisen teollisuuden pitäisi yhdessä tukea AKR:n tutkimusta sen laajuuden ja uhkien määrittämiseksi Suomessa.

Ensimmäisenä toimenpiteenä tähänastisissa tutkimuksissa saadun tiedon levittämiseksi pidettiin aiheesta seminaari VTT:llä 24.1.2012.

8. Lähdeviitteet

Alexander, M., Mindess, S. 2008. *Aggregates in concrete*. London; New York, Taylor & Francis.

ASTM C227. 2010. *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)*. ASTM. USA. 6 p.

ASTM C1260. 2007. *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)* ASTM. USA. 5 p.

BCA, 1993. *The diagnosis of Alkali-silica reactions*. British Cement Association. 48 p.

BS 4027. 1996. *Sulfate-resisting Portland Cement*, British Standards Institution.

BY43. 2008. *Stone aggregate for concrete guideline*. Finnish Concrete Association. 58 p.

CAN/CSA-A23.1. 1994. *Concrete Materials and Methods of Concrete Construction*. Appendix B: Alkali-Aggregate Reaction. Canadian Standards Association, Toronto, Canada.

CCANZ. 2003. *Technical Report 3 - Alkali Silica Reaction. Minimising the Risk of Damage to Concrete. Guidance Notes and Recommended Practice*. 2nd Ed. Cement and Concrete Association of New Zealand. 90 p.

Cement and Concrete Research Institute, Report 4:92.

Cement and Concrete Research, Vol. 5. New York, pp. 211-220.

- Davies, G. & Oberholster R. E. 1987. An inter-laboratory test programme on the NBRI accelerated test to determine the alkali reactivity of aggregates", NBRI Special Report, NBRI, CSIR, Pretoria, South Africa. 16 p.
- Diamond, S. 1997. Alkali-silica reactions – some paradoxes. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 19, pp. 391-401.
- DIN 1164-10. 2008. Zement mit besonderen Eigenschaften. German Standards.
- Durable concrete with Alkali Reactive Aggregates. Publication No. 21. Norwegian Concrete Association, 2008. 16 p. + app. 16 p.
- Einarsdóttir, S. & Wigum, B. 2008. Alkali-aggregate reaction in Iceland – New test methods. 13th ICAKR -2008. Trondheim, Norway. (CD-Rom). Paper 178.
- Farny, J. & Kosmatka, S. 1997. Diagnosis and Control of Alkali-Aggregate Reactions in Concrete. *Concrete Information - IS413.01T*. PCA. 24p.
- Federal Highway Association, U.S. Department of Transportation, Materials Group. web page. January 2012. <http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/materialsgrp/cement.html>
- Finnsementti Oy, 2011. "Suomalainen sementti-opas". 27 p.
- Finnsementti Oy, 2012. Web page: <http://www.finnsementti.fi>, January 2012.
- Gudmundsson, G. & Asgeirsson, H. 1975. Some Investigation on Alkali Aggregate Reaction.
- Lagerblad & Trägårdh. 1992. Alkali-silica reactions in Swedish Concrete. Stockholm (in Swedish).
- LNEC 461. 2007. Concrete. Methodology to prevent internal expansive reactions (in Portuguese). LNEC, Lisbon, Portugal.
- Nerenst, P. 1957. Alment om Alkali Reaktionen i Beton (with an English summary). The Danish National Institute of Building Research and the Academy of Technical Sciences, Committee on Alkali Reactions in Concrete, Progress Report A1, Copenhagen.
- Neville, A.M. & Brooks, J.J. 1997. *Concrete Technology*, Longman, 438 p.
- NBN B 12-109. 1993. Cement - Low alkali limited cement. Netherland Standards. IBN.
- Pedersen, Bård. 2004. Alkali-reactive and inert fillers in concrete. Doctoral Thesis. NTNU, Trondheim, Norway. 292 p.
- Punkki, J. & Suominen, V. 1994. Alkalikiviainesreaktio Norjassa – ja Suomessa? *Betoni lehti*, 2/1994, pp. 30-32.
- Pyy, H. & Holt, E. 2010. Onko Suomessa ongelmaa nimeltä alkali-kiviainesreaktio? (Does Finland have an Alkali-Aggregate Reaction Problem?). *Betoni lehti*, 4/2010, pp. 46-48.
- Pyy, Hannu & Holt, Erika. 2011. Finland's emerging alkali-aggregate reaction problem? The Nordic Concrete Federation, Publication No. 43. Proceedings of the Nordic Concrete Research Symposium, June 2011, Hämeenlinna, Finland. Pp. 311-314.
- Pyy, Hannu. 1992. Finska potentiellt raktiva borgarter. Nordic Mini-seminar "Alkalikiselsyra-reaktioner". Cement och Betong Institutet, Stockholm 22 May 1992. 4 p.
- RILEM Technical Committee 219-ACS: Alkali Aggregate Reaction in concrete structures: performance testing and appraisal.
- RILEM Recommended Test Method AKR-3. 2000. Detection of potential alkali-reactivity of aggregates: B - Method for aggregate combinations using concrete prisms. *Materials & Structures* (33): 290-293.

RILEM Recommended Test Method AKR-4. 2007. Detection of Potential Alkali-Reactivity - 60°C Accelerated Method for Testing Aggregate Combinations using Concrete Prisms - Committee Document RILEM/TC-ARP/06/15.

Rivard, P. & Saint-Pierre, F. 2009. Assessing alkali-silica reaction damage to concrete with non-destructive methods: From the lab to the field. *Construction & Building Materials* 23. pp. 902–909.

Rønning, T. 2001. Freeze-Thaw Resistance of Concrete. Effect of Curing Conditions, Moisture Exchange and Materials. Doctoral Thesis. NTNU, Trondheim, Norway. 416 p.

Silva, António Santos. 2005. Degradation of concrete by alkali-silica reactions – Use of fly ash and metakaolin in its prevention (in Portuguese). Doctoral Thesis. School of Engineering, University of Minho, Portugal. 367 p.

SS 134204. 2001. Cement - Composition and requirements for sulfate resisting cements Standard, Swedish Standard, Stockholm, Sweden.

Stark, D. 1991. The Moisture Condition of Field Concrete Exhibiting Alkali-Silica Reactivity. CANMET/ACI 2nd Int. Conf. Durability of Concrete, SP-126, American Concrete Institute, Detroit, USA. pp. 973-987.

Swamy, R.N. (Ed) 1992. *The Alkali-Silica Reaction in Concrete*. Blackie and Son Ltd. London. 348 p. (Chapter 6 Alkali-silica reaction - Danish experience.)

Swamy, R.N. & Al-Asali, M.M. 1987. New Test Methods for Alkali-Silica Reaction. in *Concrete Alkali-Aggregate Reactions*, Proc.7th Int. Conf., Noyes Publications, New Jersey, USA. pp. 324-329.

Wigum, B, Pedersen, L. & Kingard, J. 2006. State-of-the-art report: Key parameters influencing the alkali aggregate reaction. Report 2.1 EU PATNER Project. SINTEF, Norway, 134 p.

Wigum, Børge. 1995. Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Properties, Classification and Testing of Norwegian Cataclastic Rocks. Doctoral Thesis. NTNU, Trondheim, Norway. 199 p.

9. Liite A: AKR-kysely Suomessa

VTT lähetti kyselyn marraskuussa 2011 taulukossa A1 listatuille yrityksille/ihmisille. Kyselyssä pyydettiin raportoimaan milloin ja missä AKR tapauksia oli ilmennyt tutkimuksissa. Kyselylomake esitetään kuvissa A1 ja A2.

Taulukko A1. Kyselyn saaneet tahot Suomessa.

#	Company Name	Contact	Titles	Address	City-Zip	Phone	Email	Reply	
								Yes	No
1	Betonialan Ohuthiekeskus FCM Oy	Arto Koskiahde	Managing Director	Nuijatie 25 B	01650 Vantaa	050 530 2923	arto.koskiahde@ohuthiekeskus.com	X	
2	Contesta Oy	Paula Raivio	Geologist	PL 23, Kilterinkuja 2	01601 Vantaa	09 2525 2441	paula.raivio@contesta.fi	X	
3	Kiratek Oy	Seppo Suoperä & Tapani Arola	Laboratory Director	Myyntimiehenkuja 4	Oulu	0207401002	seppo.suopera@kiratek.fi	X	
4	Kymmenlaakson Amattikorkeakoulu	Jari Harju	Laboratory Engineer	PL 9	48401 Kotka	052208271	jari.harju@kyamk.fi		X
5	Ositum Oy	Viveca Lindqvist	Geologist	Otakaari 12	02150 Espoo	0104252610	viveca.lindqvist@ositum.fi		X
6	Suomen Rakennustutkimus Oy	Jouni Niemelä	Laboratory Director	Meijerinkatu 3	65100 Vaasa	06 3177 045	jouni.niemela@netikka.fi		X
7	Tampereen Teknillinen Yliopisto (TTY)	Jukka Lahdensivu	Senior Researcher	PL 600, Rakennustekniikan laitos	33101 Tampere	040 0733 852	jukka.lahdensivu@tut.fi	X	
8	Vahanen Oy	Pasi Parviainen	Unit Manager		02600 Espoo	020 769 8698	pasi.parviainen@vahanen.com	X	
9	VTT Expert Services	Hannu Pyy	Senior Expert, Petrographer	Kemistintie 3	02150 Espoo	020 722 6905	hannu.pyy@vtt.fi	X	
10	WSP Finland Oy	Tomi Tolppi	Senior Researcher	Kiviharjunlenkki 1 D	90220 Oulu	040 726 2045	tomi.tolppi@wspgroup.fi	X	

ESISELVITYS ALKALIKIVIAINESRAEKTIOSTA 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

Alkalikiviainesreaktion (AKR) tutkimisesta organisaatiossanne:

Keskeinen menetelmä AKR:n toteamisessa betonirakenteista on ohuthietutkimus

Teettekö ohuthietutkimuksia: Kyllä

Montako ohuthietä tutkitte vuosittain: 500-800

Osaatteko tunnistaa ohuthienäytteissä näkyvän AKR:n: Kyllä

Oletteko havainneet AKR:ta tutkimuksissanne: Kyllä

Jos kyllä, olivatko näytteet Suomesta vai ulkomailta: Sekä että

Montako AKR-kohdetta olette tutkineet:

viime aikoina keskimäärin per vuosi 1...4

yhteensä viimeisen 10 vuoden aikana 20

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

Kuva A1. Kyselyn ensimmäinen sivu.

AKR-tapauksen kuvaus	
Kohde:	Silta
Kohteen sijainti (kunta tms.):	Espoo
Rakenne (esim. silta, julkisivu, uimala):	Silta
Tutkimuspäivä:	1.9.2008
Miten AKR todettiin (silmämääräisessä tarkastelussa, ohuthietutkimuksella, jollain muulla):	
Silmämääräisessä tarkastelussa ja ohuthietutkimuksessa	
AKR:n aiheuttaman halkeilun voimakkuus (kiviainesrakeissa, pastassa):	
Molemmissa kohtalainen	
Geelin esiintyminen (rakenteen pinnalla, halkeamissa, kiviainestartunnoissa):	
Todettiin lähinnä kiviainesrakeiden ulkopintojen lähellä 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 toimittaja	x
> betonityyppi	x
> sideainetyyppi	
> v/s	x
> seosaineet, lisäaineet jne:	x
AKR:n aiheuttanut kiviainestyyppi(kivialji, mineraalikoostumus, raekoko)	
Deformoitunut graniitti	
Kiviaineslähteen sijainti:	
x	
Tehtiinkö kohteesta ohuthieitä kyllä	
> ovatko hieet tallella ja käytettävissä tutkimuksiin kyllä	
> otettiin hieistä kuvia ja ovatko kuvat käytettävissä	
x	
Tehtiinkö tutkimuksista kirjallinen tutkimusraportti	
kyllä	
> onko raportti julkinen vai luottamuksellinen	
luottamuksellinen	
> voiko raportin saada tutkimuksen käyttöön kokonaan tai osittain? Jos kyllä, voitteko lähettää raportin.	
x	
Kiitos vastauksista	

Kuva A2. Esimerkkisivu kyselystä, jolla selvitettiin missä rakenteessa AKR:ta esiintyi.

10. Liite B: AKR:n esiintyminen Suomalaisissa rakenteissa

- Taulukko rakenteista, joissa on havaittu AKR:ta Suomessa

ALKALIKIVIAINESREAKTIOKSELYN VASTAUKSET 2011 - YHTEENVETOTAUUKKO													
#	Tut	Pvm	Paikkakunta	Geographic area	Kohde	Type classification	Rakenne	Rak. vuosi	Heiitä yht.	AKR yht.	Reagoiva kivaines	Aggregate classification	
1	C	21.12.2011	Helsinki	Uusimaa	As Oy	house	kuorielementti			6	2	gra tai kv-t, mhd. hiekkakivi ja gra:ssa karkeamms)	granite or quartzite = U
2	C	2.12.2011	Lempääla	Häme	silta	bridge	kansilaatta			7	4	gra tai kv-ms-bt-l (on myös hapant metavulkanitti ja kvt hieissa)	granite or fine grained dark schist or metavulcanite = U
3	W	1.12.2011	Helsinki	Uusimaa	Silta	bridge	Kansi			8	1	Kvartsikivi / kvartsitti	Quartzite
4	V	11.11.2011	Länsi-Suomi	Länsi-Suomi	Silta	bridge	Kansi			2	1	u	u
5	V	10.11.2011	Pohjanmaa	Pohjanmaa	Uimahalli	pool facility	Uima-allas, seinä, lattia			4	2	u	u
6	E	26.10.2011	Virrat	Häme	silta	bridge	kansi, reunaloke	1975		4	2	graniitti	granite
7	V	30.9.2011	Itä-Suomi	Itä-Suomi	Silta	bridge				2	2	u	u
8	C	30.8.2011	Punkaharju	Itä-Suomi	Hautomaallas	pool facility	Lattia			9	1	u	u
9	W	11.7.2011	Häme	Häme	Silta	bridge	Kansi, palkki			7	2	u	u
10	V	8.12.2010	Etelä-Suomi	Uusimaa	Talo	house	Julkisivu			4	4	Keraaminen laatta	Ceramic tile
11	W	7.12.2010	Rantsila	Oulu	Silta	bridge	Reunapalkki			8	1	Tumma, hienorakeinen liuske	dark fine grained schist
12	E	30.11.2010	Kemi	Oulu	Paperitehdas	industry	pilarit, palkit			3	2	Tumma, hienorakeinen liuske	dark fine grained schist
13	C	19.11.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	house	Tukimuurit, antura			9	5	Graniitti	Granite
14	E	18.11.2010	Tampere	Häme	silta	bridge	kansi, maatuki	1979		5	4	Tumma, hienorakeinen liuske	dark fine grained schist
15	E	25.10.2010	Kuopio	Itä-Suomi	silta	bridge	Reunapalkki	1971		4	3	tumma hienor. liuske	dark fine grained schist
16	C	21.10.2010	Porvoo	Uusimaa	Kymälaitetaso	bridge	Laatta			8	2	Graniitti tai kvartsitti	granite or quartzite = U
17	C	5.10.2010	Vantaa	Uusimaa	Voimalaitos	industry	Julkisivu			8	1	Kv-ms-bt-liuske	dark fine grained schist
18	C	19.8.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	house	Parveke, pintalaatta			6	1	u	u
19	C	3.3.2010	Helsinki	Uusimaa	As Oy	house	Porraskatos, laatta ap			2	1	u	u
20	C	23.2.2010	Ahvenanmaa	Ahvenanmaa	Silta	bridge				2	1	Hiekkakivi	sandstone
21	C	18.9.2009	Kuopio	Itä-Suomi	Palvelutalo	house	Uima-allas, pohjalaatta			5	1	u	u
22	C	20.5.2009	Nurmijärvi	Uusimaa	Vesitorni	watertower	Vetopalkki			7	1	Kv-ms-liuske	dark fine grained schist
23	C	24.4.2009	Sairaala	Uusimaa	Sairaala	house	Julkisivu			24	1	u	u
24	E	10.12.2008	Tampere	Häme	silta	bridge	kansi, reunaloke, vaituki	1959		3	1	kataklastinen liuske	cataclastic rock
25	C	25.9.2008	Sipoo	Uusimaa	Sahkoasema	industry	Perustus, yp			6	1	u	u
26	C	7.4.2008	Helsinki	Uusimaa	Vesisiilo	watertower	Seinä, up			4	1	u	u
27	C	25.2.2008	Porvoo	Uusimaa	Pölynpoistolaitos	industry	Palkki			6	1	Graniitti, rapakivityyppinen	granite
28	E	18.1.2008	Helsinki	Uusimaa	teollisuus-piippu	industry	piippu			2	2	Graniitti	granite
29	E	4.12.2007	Espoo	Uusimaa	silta	bridge	kansi, reunapalkki	1966		5	4	graniitti	granite
30	C	5.11.2007	Lappeenranta	Itä-Suomi	As Oy	house	Parvekelaatta			10	2	Graniitti	granite
31	E	10.10.2007	Mouhijärvi	Häme	silta	bridge	kansi	1960		4	2	tumma hienor. liuske	dark fine grained schist
32	C	1.10.2007	Eno	Itä-Suomi	Alikulkusilta	bridge	Kansi			4	4	Kvartsitti ja muskoviittiseriittikvartsitti	Quartzite
33	O	n. 2007	Helsinki	Uusimaa	talo	house	julkisivu			6	2	mhd Tanskasta	Danish rock
34	W	26.11.2006	Oulu	Oulu	Silta	bridge	Kansi, siipimuri, reunapalkki			4	4	Hienorakeinen liuske	dark fine grained schist
35	C	23.10.2006	Kerava	Uusimaa	Koulu	house	Julkisivu			5	1	Ei havaittu	u
36	E	9.6.2006	Eno	Itä-Suomi	silta	bridge	Kansi, siipimuri	1958		6	5	seriittikvartsitti	Quartzite
37	C	15.3.2006	Kuopio	Itä-Suomi	As Oy	house	Parvekekaide			5	1	Kvartsikilleliuske	dark fine grained schist
38	W	26.5.2005	Oulu	Oulu	Silta	bridge	Kansi			3	1	Mustaliuske, fylliitti	dark fine grained schist
39	C	7.4.2005	Jyväskylä	Keski-Suomi	Kompostointilaitos	industry	Seinä			11	2	Kv-bt-musk-liuske ja graniitti	granite and schist = U
40	C	31.3.2005	Mikkeli	Itä-Suomi	Kompostointilaitos	industry	Lattia			4	1	Graniittinen	granite
41	C	13.8.2004	Oulu	Oulu	Kokilli	other				7	1	Kv-ms-seriittiliuske	dark fine grained schist
42	E	4.8.2004	Turku	Varsinais-Suomi	silta	bridge	kansi	1965		6	2	graniitti	granite
43	E	3.6.2004	Orivesi	Häme	yliluokkasilta	bridge	kansi, reunapalkki	1971		2	1	Tumma liuske	dark fine grained schist
44	C	9.12.2003	Helsinki	Uusimaa	As Oy	house	Parveke?, kaide			12	1	u	u
45	E	3.7.2003	Helsinki	Uusimaa	K Oy	house	julkisivu, sw-elementti	1977		2	2	klinkerilaatta	Ceramic tile
46	O	n.2001	Kaarina	Varsinais-Suomi	Talo	house	julkisivu			8	2	Flintti, Tanskasta	Danish rock
47	O	n.2001	Kotka	Itä-Suomi	teollisuushalli	industry	runkorakenteet			5	2	breksiaityyppinen,	u
48	O	n.2000	Harjavalta	Varsinais-Suomi	atorakenne	dam	atorakenne			6	3	kvartsirikas juonikivi	u
49	C	28.5.2000	Turku	Varsinais-Suomi	Koy	house	Julkisivu, pesubetoni			10	3	Mikrokiteinen kvarts,	u
50	C	7.12.1998	Kuopio	Itä-Suomi	As Oy	house	Parveke, laatta yp			3	1	Ei havaittu	u
51	C	25.4.1998	Oulu	Oulu	Patosilta	bridge	Pilarin taso, vaakapinta			5	1	Ei havaittu	u
52	C	11.2.1998	Kittilä?	Lappi	Silta	bridge				4	1	Kiillel, pitkälle rapaut, sis. hienor. kvartsia. Ounasjoentie ristsilta R/VN/KTT?	dark fine grained schist
53	C	30.1.1998	Turku	Varsinais-Suomi	Autohalli	house	Katto			5	2	Breksia, kvartsijuonia	u
54	C	28.8.1997	Porvoo	Uusimaa	As Oy	house	Julkisivu, up			10	1	Mainittu vain tunnistamaton geeli huokosissa	u
55	E	n.1997	Oulu	Oulu	silta	bridge	kansi			6	4	Tumma, hienorakeinen liuske	dark fine grained schist
56	O	n.1996	Vantaa	Uusimaa	Talo	house	julkisivu			8	4	Flintti, Tanskasta	Danish rock
												open rows & U =unknown rocktype	

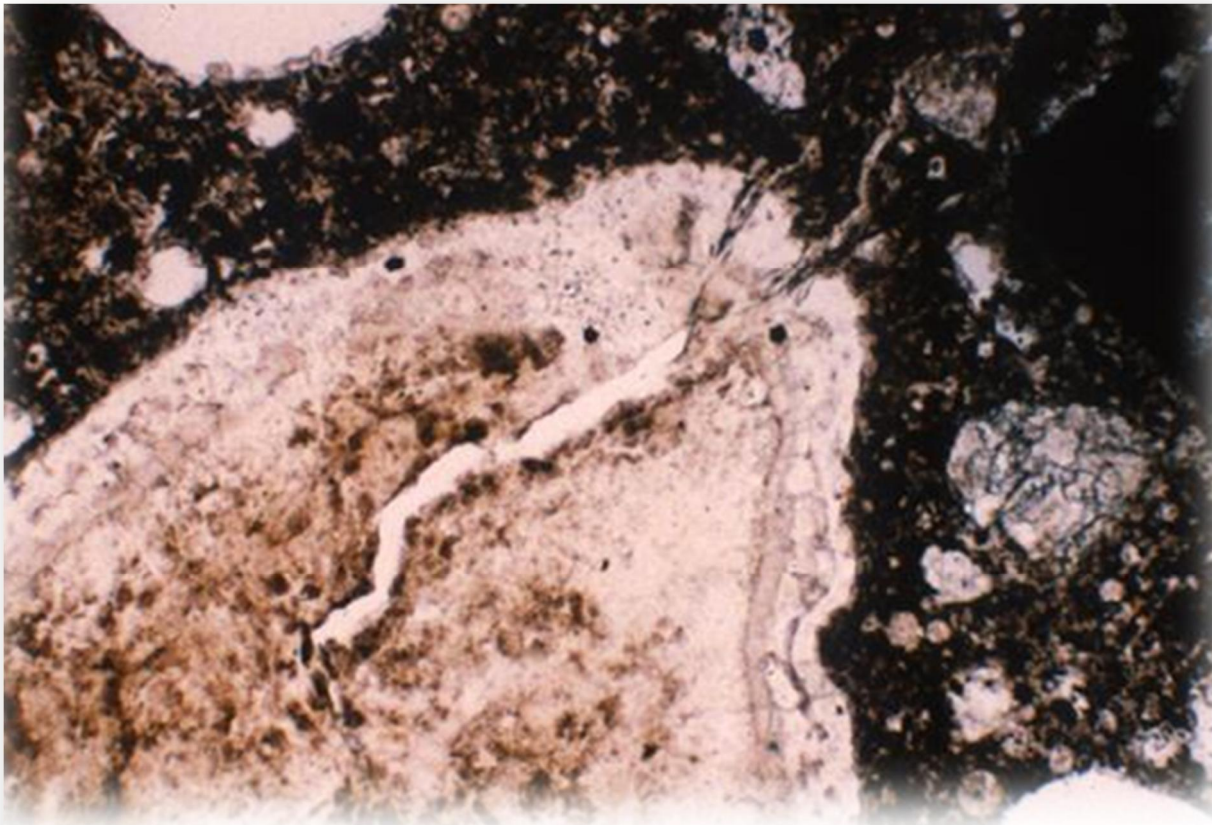
11. Liite C: Yleiskatsaus AKR-seminaariin 24.1.2012

Seminaari järjestettiin VTT:llä Suomen Betoniyhdistyksen (BY) kanssa 24. tammikuuta 2012 kello 9-12. Tapahtumasta tiedotettiin Betoni-lehdessä [numerossa 4, Joulukuussa 2011] ja sähköpostilla BY:n sähköpostilistalle tammikuun alussa. Lähetetty PDF kutsu esitetään kuvassa C1. Noin 50 alla listattua henkilöä osallistui seminaariin. Seminaarin asialista esitetään seuraavalla sivulla.

Seminaarin osallistujat

Vesa Anttila, Rudus Oy
Tapani Arola, Kiratek Oy
Petri Bergman, Insinööritoimisto ConMix
Miguel Ferreira, VTT
Henrik Halonen, Lahti Precision Oy
Erika Holmberg, Lemminkäinen Infra Oy
Erika Holt, VTT
Jouni Huura, Huura Oy
Tiina Hyvärinen, VTT Expert Services
Pasi-Pekka Immonen, WSP Finland Oy
Markus Inkiläinen, Lammin Betoni Oy
Jan-Erik Järventie, Lammi-Kivitalot Oy
Kari Jääskeläinen, Rakennustekniikan
opisto
Satu Kosomaa, Finnsementti Oy
Hannele Kuosa, VTT
Harri Kylämetsä, Consolis Oy
Rain Köiv, VTT Expert Services
Jukka Lahdensivu, Tampereen teknillinen
yliopisto
Markku Leivo, VTT
Kalle Loimula, VTT
Mia Löija, VTT
Seppo Matala, Matala Consulting
Aki Meuronen, Aaro Kohonen Oy
Kiia Miettunen, VTT Expert Services

Erik Nordenswan, Nordkalk Oy
Simo Nykänen, A-Insinöörit Suunnittelu
Oy
Kalervo Orantie, VTT Expert Services
Elina Paukku, Aaro Kohonen Oy
Taina Piironen, NCC Roads Oy
Jouni Punkki, Consolis Oy
Hannu Pyy, VTT Expert Services
Ossi Räsänen, Liikennevirasto
Paula Raivio, Contesta Oy
Sami Rouvila, Lammin Betoni Oy
Liisa Salparanta, VTT
Jorma Sikstus, Sto Finexter Oy
Ville Sjöblom, VTT
Katriina Tallbacka, Inspecta Sertifiointi Oy
Juhani Toivonen, Parma Oy
Tomi Tolppi, WSP Finland Oy
Akseli Torppa, Geologian tutkimuskeskus
Jetta Uotila, A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Tapio Vehmas, VTT
Erkki Vesikari, VTT
Tero Virtanen, Rudus Oy
Jouko Vuokko, Geologian tutkimuskeskus
Inari Weijjo, Insinööritoimisto Lauri Mehto
Oy
Markus Äijälä, A-Insinöörit Suunnittelu
Oy



BETONIN ALKALIKIVIAINESREAKTIO SEMINAARI

VTT:LLÄ ESPOOSSA 24.1.2012 – VTT & SUOMEN BETONTYHDISTYS

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 tietämukseen 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 puhelimitse:
Hannu Pyy (hannu.pyy@vtt.fi tai 040 507 2071) tai Erika Holt (erika.holt@vtt.fi tai 040 593 1986)
Ilmoittauduttaessa mainitkaa yritys, henkilön nimi, sähköpostiosoite ja puhelinnumero..



AKR SEMINAARI – ASIALISTA

Päivä: Tiistaina, 24. tammikuuta 2012 kello 9-12

Paikka: VTT, Vuorimiehentie 3 (Digitalo), Espoo

- 9.05 Tervetuloa (Erika Holt, VTT)
- 9.10 Esittelyt (kaikki osallistujat)
- 9.20 AKR taustaa (Hannu Pyy, VTT)
- 9.45 Suomen teollisuuden kokemukset (Jouni Huura, Huura Oy)
- 10.00 Kansainvälisen näkökulman AKR:ään (Miguel Ferreira, VTT)
- 10.15 Kahvitauko & Keskustelu
- 10.45 Tulokset vuoden 2011 esitutkimuksesta (Hannu Pyy, VTT)
- 11.25 Tulevaisuuden näkymät Suomessa (Markku Leivo, VTT)
- 11.45 Keskustelu & Loppupäätelmät
- 12.00 Lopetus