Alkalikiviainesreaktion aiheuttamat haasteet ja raskaiden korjausten vaihtoehdot

Jussi Ritola, Ins. YAMK

Korjausrakentamisen asiantuntija

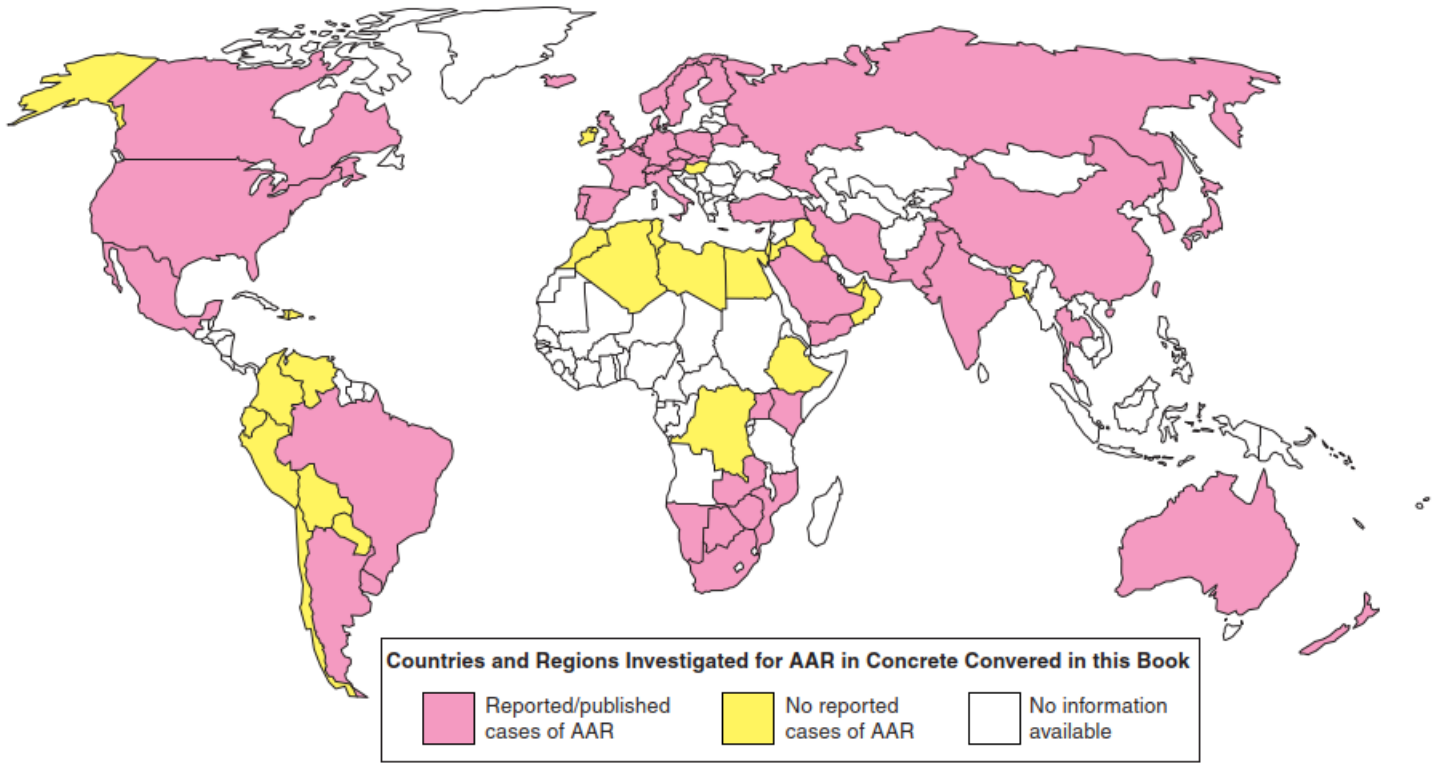


Alkali-kiviainesreaktio yleisesti

Historiaa:

- Pohjoismaissa ensimmäiset havainnot jo 1940-luvulla (Tanska)
- Ensimmäinen ohjeistus 1961 (Tanska). Norjassa myös ohjeistus ja standardit kiviaineksen osalta
- Muualla pohjoismaissa ollaan noin 20-30 vuotta Suomea edellä…
- Suomessa ensimmäinen artikkeli 1994 (J. Punkki, V. Suominen),
  - Käsittelee betonin sisäisiä vaurioita aiheuttavaa alkalikiviainesreaktiota ja varoittaa sen riskeistä myös Suomessa Norjan kokemusten pohjalta.
- 2011-2012; Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä (VTT H. Pyy, E. Holt ja M.Ferreira.
- 2008: *Nykytietämyksen perusteella ei alkali -kiviainesreaktio suomalaisia kiviaineksia käytettäessä ole ongelma. Muissa pohjoismaissa on tietyillä alueilla kuitenkin löydetty alkalireaktiivisia kivilajeja* …(by43 Betonin kiviainekset, Suomen betoniyhdistys 2008

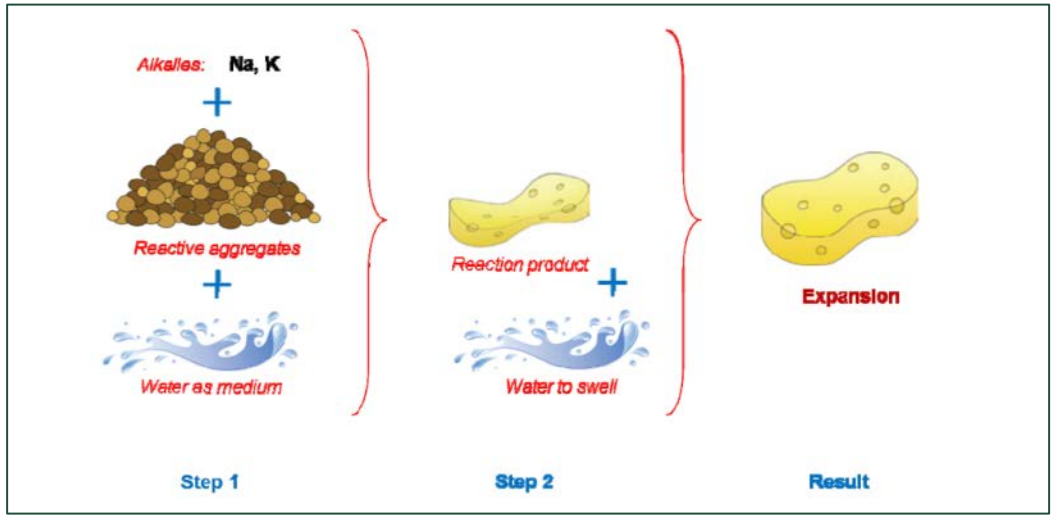
AKR-havainnot maailmalta (v. 2017)



Alkali-kiviainesreaktio lyhyesti

Mikä/mitä on alkali-kivianesreaktio (AKR)?

- Sementin alkalit + betonin sisältämä reaktiivinen kiviaines + ulkoinen kosteuslähde = geelin muodostuminen / saostuminen
- Reaktion seurauksena geelin tilavuus voi kasvaa betonin huokosissa, jolloin syntyy paisuntapainetta, joka *voi* ylittää betonin vetolujuuden. Mikäli paine ylittää betonin vetolujuuden betonirakenteeseen muodostuu halkeamia.
- Havaittu Suomessakin 5-100 vuotta vanhoissa rakenteissa

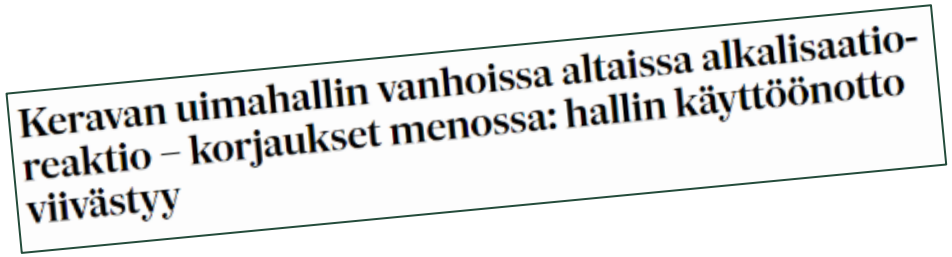


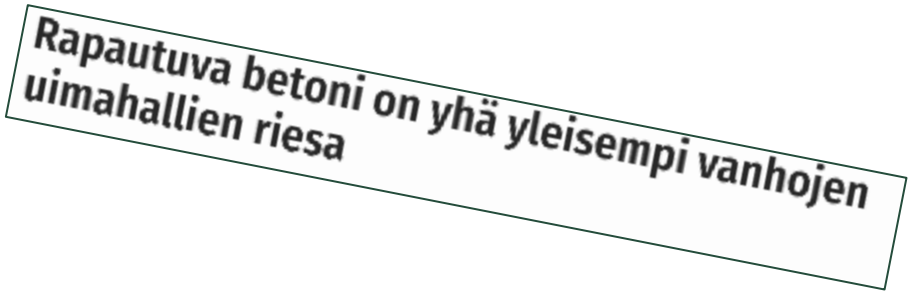


Alkali-kiviainesreaktion haasteet Suomessa

- Asiaan aloitettiin kiinnittää huomiota 2010-luvulla
  - *”Uima -altaiden tyyppivika”*
  - Sillat
  - Muut kosteusrasitukselle alttiit rakenteet (muurit, parvekkeet, julkisivut, laiturit)
- Betoniyhdistyksen ohjeistus 2023, by 74.
  - Betoniyhdistyksen ohjeistus perustuu Suomessa tehtyihin toimenpiteisiin, johtopäätöksiin tms.
  - Vanhojen rakenteiden osalta 8 sivuinen -> Ohjeistus on suppea:
    - Vaurion tunnistaminen ohuthietutkimuksella -> AKR -> korjaustoimenpiteet
    - ***Rakenteen uusiminen kokonaan tai osittain*** *…*on ensimmäinen vaihtoehto…(By74 kappale *Etenemisen estäminen/pysäyttäminen/korjaaminen)*


Tapiolan uimahallin surullinen tarina tiivistyy betoniin – hallia vaivaa vanhojen uimahallien tyyppivika


Keravan uimahallin vanhoissa altaissa alkalisaatio-reaktio – korjaukset menossa: hallin käyttöönotto viivästyy

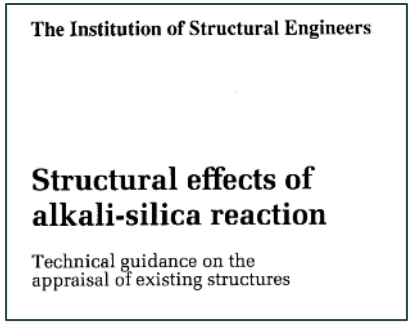

Rapautuva betoni on yhä yleisempi vanhojen uimahallien riesa

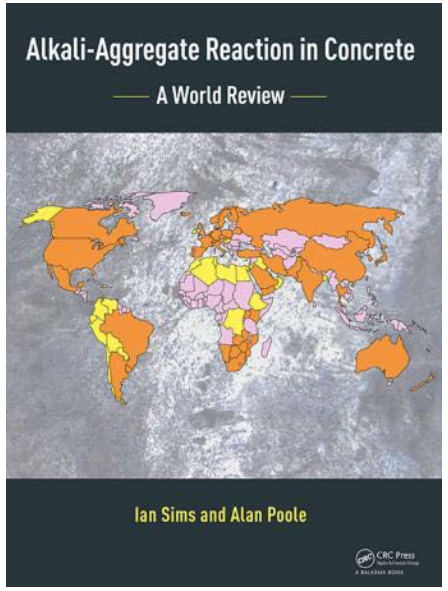
Alkali-kiviainesreaktio, tutkimusmenetelmät ja analyysi

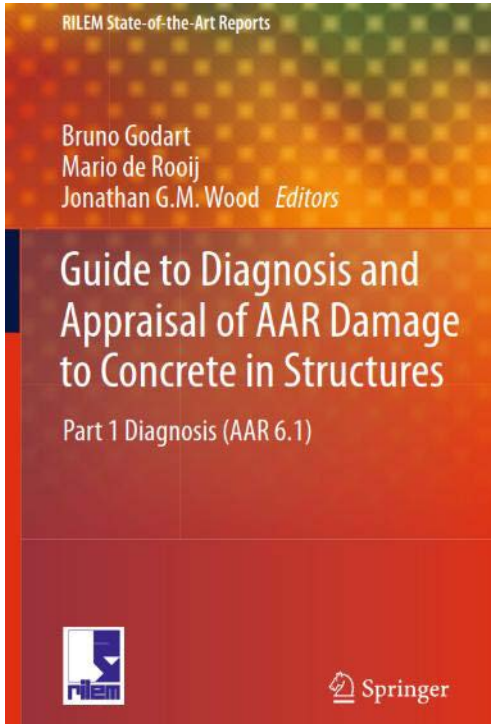
Yleisesti hyväksi todetut ja edelleen käytössä olevat ohjeistukset maailmalta

- 1992 Structural effects of alkali-silica reaction, Technical guidance on the appraisal of existing structures, The Institution of Structural Engineers.
  - *2010 tehty lisäys **.
- Guide to Diagnosis and Appraisal of AAR Damage to Concrete in Structures, **Part 1** Diagnosis (AAR 6.1) (B. Godart, Mario de Rooij, Jonathan G.M. Wood)
  - Part 2 "tekemättä"
- Alkali-Aggregate Reaction in Concrete: A World Review (2017)
- Kansallisia ohjeita mm. Norja, Ranska, Englanti, Japani, USA.
- Lisäksi ICAAR, RILEM, ym. (ICAAR jo vuodesta 1974)

=Tietoa (ja vaihtoehtoja) on saatavilla







Alkali-kiviainesreaktio, tutkimusmenetelmät

Yleisesti hyväksi todetut ja edelleen käytössä olevat ohjeistukset maailmalta*

i. Vaurion tunnistaminen, onko kyseessä AKR
   i. Ohuthietutkimus

ii. **Halkeamien mittaus ja laajenemisen arviointi**
   i. Selvitetään ”expansion to date”. Tällä päästään käsiksi reaktion etenemisnopeuteen
   ii. Muodonmuutokset ja niiden arviointi

iii. **Vaurion merkitys**
   i. Ympäristön olosuhteet (kosteus)
   ii. Mekaaniset ominaisuudet
   iii. <u>Täyttääkö rakenne sille annetut vaatimukset</u> (rakenteen kuormat vs. betonin mekaaniset ominaisuudet)

HUOM. vetolujuus ei ole betonin mitoittava mekaaninen ominaisuus.

- Betoniyhdistyksen ohjeistus 2023, by 74.
  - Betoniyhdistyksen ohjeistus perustuu Suomessa tehtyihin toimenpiteisiin, johtopäätöksiin tms.
  - Ohjeistus on melko suppea ja sitä tulkitaan usein tiivistetysti:
    - Vaurion tunnistaminen ohuthietutkimuksella -> AKR -> korjaustoimenpiteet
    - ***Rakenteen uusiminen kokonaan tai osittain***... on ensimmäinen vaihtoehto... (By74 kappale *Etenemisen estäminen/pysäyttäminen/korjaaminen)*



Alkali-kiviainesreaktio, **seuranta**

Yleisesti hyväksi todetut ja edelleen käytössä olevat ohjeistukset maailmalta*

AKR-vaurion aktiivisuutta arvioidaan muodonmuutos- ja halkeamamittausten perusteella halkeamamittaukset (ETD).

- *Mikäli halkeamien muodonmuutos jatkuu nopeudella yli 0,5 mm/m vuodessa, katsotaan reaktion olevan edelleen aktiivinen, jolloin seurantaa ja lisätutkimuksia tulee jatkaa.*
- *Mikäli halkeamien muodonmuutos jatkuu alle 0,5 mm/m vuodessa tapahtuva muutos viittaa hitaasti etenevään tai mahdollisesti vakiintuvaan tilanteeseen.*
  - ***Mikäli rakenteen aiempi vaurioitumisaste on vähäinen (IF_0 < 1 mm/m), voidaan erityisseurannasta luopua ja siirtyä normaaleihin kunnossapitotarkastuksiin.***

Usein tutkimusselostuksissa lukee; ”voimakas AKR”, ”pitkälle edennyt AKR” ”kiihtyvä AKR” jne.

Ilman halkeamamittauksia, ja siihen oleellisesti liittyvää seurantaa, ei em. ole mahdollista todeta

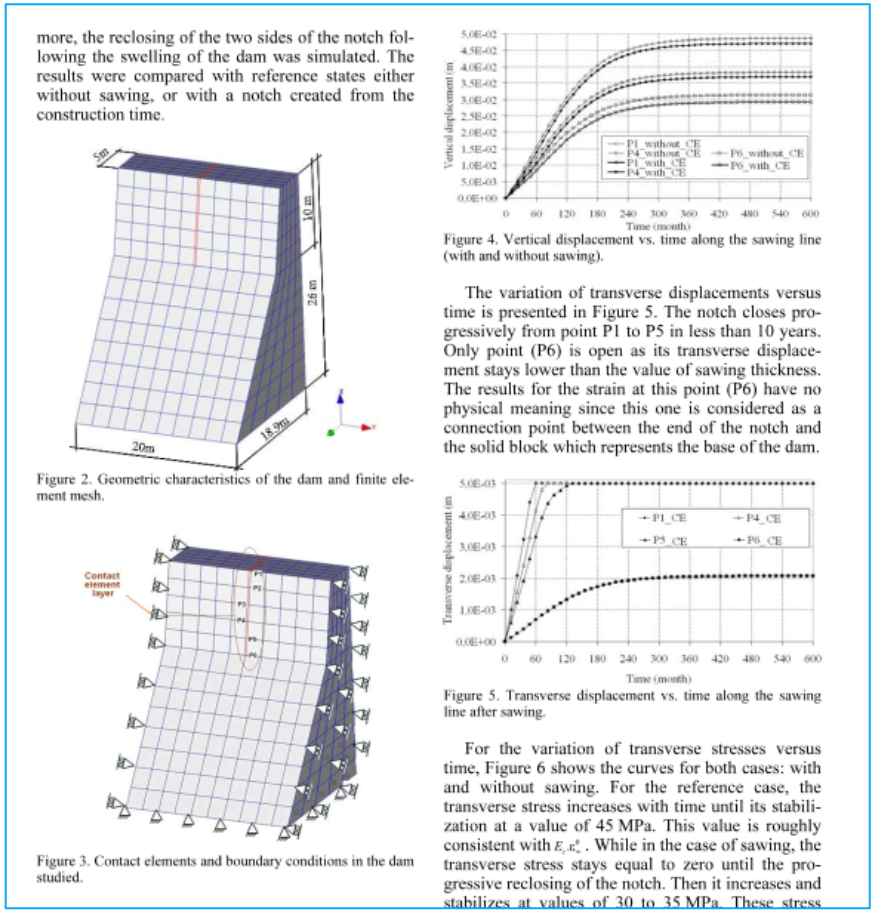


Alkali-kiviainesreaktio, rakenteellinen diagnoosi

Rakenteellisen vaurioasteen arviointi (Structural Severity Rating)

Rakenneosien rakenteellisen vaurioasteen arviointi (Structural Severity Rating) perustuu seuraavien tekijöiden määrittämiseen

- Tapahtuneen laajenemisen suuruus sekä lisälaajenemisen potentiaali (ETD = **Seuranta** + jäännöspotentiaalin testaus
- Olosuhteet (=kosteus)
- Missä määrin rakenteen raudoitus ja jännitystila rajoittavat laajenemista (rakennesuunnittelu, mallinnus)
  - On myös olemassa laskennallisia malleja ("CESAR-LCPC": Application to concrete structures affected by internal swelling reactions)



more, the reclosing of the two sides of the notch following the swelling of the dam was simulated. The results were compared with reference states either without sawing, or with a notch created from the construction time.

Figure 2. Geometric characteristics of the dam and finite element mesh.

Figure 3. Contact elements and boundary conditions in the dam studied.

Figure 4. Vertical displacement vs. time along the sawing line (with and without sawing).

The variation of transverse displacements versus time is presented in Figure 5. The notch closes progressively from point P1 to P5 in less than 10 years. Only point (P6) is open as its transverse displacement stays lower than the value of sawing thickness. The results for the strain at this point (P6) have no physical meaning since this one is considered as a connection point between the end of the notch and the solid block which represents the base of the dam.

Figure 5. Transverse displacement vs. time along the sawing line after sawing.

For the variation of transverse stresses versus time, Figure 6 shows the curves for both cases: with and without sawing. For the reference case, the transverse stress increases with time until its stabilization at a value of 45 MPa. This value is roughly consistent with E, ε_u^g . While in the case of sawing, the transverse stress stays equal to zero until the progressive reclosing of the notch. Then it increases and stabilizes at values of 30 to 35 MPa. These stress

Alkali-kiviainesreaktio, rakenteellinen diagnoosi

Table 5 Structural element severity rating

Site environment	Reinforcement detailing class (Chapter 8)	Expansion index I		II		III		IV		V	
		Consequence of failure (see subsection 6.3.5)									
		Slight	Significant	Slight	Significant	Slight	Significant	Slight	Significant	Slight	Significant
dry	1	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
	2	n	n	n	n	n	n	n	n	n	D
	3	n	n	n	n	n	n	n	D	D	C
intermediate	1	n	n	n	D	D	C	D	C	D	C
	2	n	n	D	C	D	C	C	C	C	B
	3	n	D	D	B	C	B	B	A	B	A
wet	1	D	D	D	C	D	C	C	B	C	B
	2	D	D	C	B	C	B	B	B	B	A
	3	D	C	C	A	B	A	A	A	A	A

Structural severity ratings: n = negligible | D = mild | C = moderate | B = severe | A = very severe

I	expansion less than 0.6 mm/m
II	expansion of at least 0.6 mm/m but less than 1.0 mm/m
III	expansion of at least 1.0 mm/m but less than 1.5 mm/m
IV	expansion of at least 1.5 mm/m but less than 2.5 mm/m
V	expansion equal to, or greater than 2.5mm/m

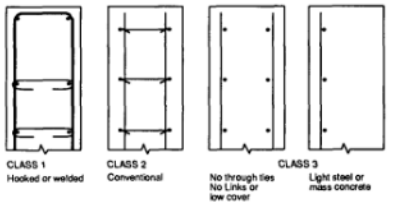


Fig. 14a Detailing classes for walls and slabs

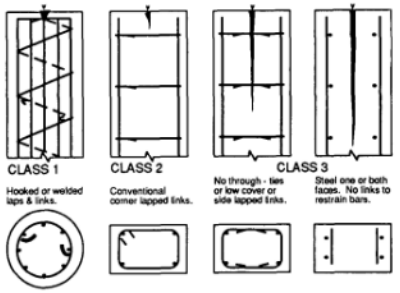


Fig. 14b Detailing classes for columns

on

6.3.5 Consequences of failure

The structural significance of an element is a function of the consequences of its failure. These are judged to be slight or significant as defined below:

- slight - the consequences of structural failure are either not serious or are localised to the extent that a serious situation is not anticipated
- significant - if there is risk to life and limb or a considerable risk of serious damage to property.

Alkali-kiviainesreaktio, jatkotoimenpiteet, mitkä ovat vaihtoehtoja?

Kun **seurannan** perusteella todetaan korjaustoimenpiteiden olevan tarpeellisia, rakenteen omistajan tulee tarkastella useita tekijöitä ennen tarkoituksenmukaisimman korjausratkaisun valintaa.

Arviointi voidaan jäsentää seuraavien keskeisten kysymysten avulla:

- **Mikä on korjauksen tavoite ja suunniteltu käyttöikä** ?
- Onko kyseessä kriittinen rakenne?
- Millaisissa olosuhteissa rakenne on ollut ja tulee olemaan käytössä?
- Millainen on rakenteen sisäinen rakennejärjestelmä?
  - Raudoitus
  - Millaisia liittymiä rakenteella on ympäröiviin rakenteisiin?
- Kuinka helposti rakenne on korjattavissa ja mitä käyttörajoituksia korjaustyö aiheuttaa?
- Mikä on korjaukseen käytettävissä oleva budjetti?





Alkali-kiviainesreaktio, elämä AKR:n kanssa

Mikäli jotain on pakko tehdä, ovat korjausvaihtoehdot:

- Mekaanisiin menetelmiin perustuvat ratkaisut
  - Rakenteiden vahvistaminen, jännitysten vapauttaminen (liikuntasaumat)
- Kosteudenhallinta
  - Rakenteen peittäminen, rakenteen vedeneristäminen, pintaan imeytyvien suoja-aineiden käyttö (impregnointi)
  - Muut pinnoitusmenetelmät
  - Injektointi
- Kemialliset ja elektro-kemialliset menetelmät

Purkamisen ja uusimisen tulee olla viimeinen vaihtoehto .



It needs to be stressed that 95% of structures with signs of AAR from cracking and confirmed by petrography, need no action other than improved ***protection and drainage and inspection*** *in accordance with Table 7.* ***Isolated particles*** *in many UK concretes will show signs of AAR under the microscope. This should not be judged without site inspection followed, if appropriate, by full structural assessment.*

Yhteenveto

Betonin materiaalivaurio (AKR) ≠ kantavuuden menetys

Nykyinen ohjeistus painottaa betonin materiaaliteknisiä (mikro) ominaisuuksien vaikutusta rakenteiden toimintaan.

Rakennetta tai rakennekokonaisuutta käsitellessä tulee vaurion vaikutus arvioida rakenteen rakenneteknisiin ominaisuuksiin (makro) (Kapasiteetti - Käyttökelpoisuus - Turvallisuus).

Purkavan korjauksen perusteena ainoastaan:

— Laaja ja **aktiivinen** vaurio (*seuranta*), **turvallisuusriski**, **lyhyt käyttöikä** (=vaurion nopea eteneminen, *seuranta*)

Tärkein jatkotoimenpide tulee aina olla rakenteen seuranta (mitattavasti).

Ilman seurantaa tai mittauksia ei ole mahdollista tehdä tarkoituksenmukaisia johtopäätöksiä ja tätä kautta jatkotoimenpiteitä.

Kevyillä korjauksilla rakenteiden käyttöikää voidaan tyypillisesti jatkaa.

Tietoa (ja korjausvaihtoehtoja) on saatavilla.



Fig. 10. Charles Cross. AAR experts feeling safe below severely cracked well reinforced beam

It needs to be stressed that 95% of structures with signs of AAR from cracking and confirmed by petrography, need no action other than improved ***protection and drainage and inspection*** *in accordance with Table 7.* ***Isolated particles*** *in many UK concretes will show signs of AAR under the microscope. This should not be judged without site inspection followed, if appropriate, by full structural assessment.*

Kiitos

Jussi Ritola

Ins. YAMK, korjausrakentamisen asiantuntija

AFRY Finland Oy

044 768 8375

jussi.ritola@afry.com

