

Alkalikiviainesreaktio – miten tähän on tultu ja miten tästä eteenpäin

Hannu Pyy

tekniikan lisensiaatti

Vahanan Rakennusfysiikka Oy

hannu.pyy@vahanen.com

Miten tähän on tultu

Betonin vaurioitumista aiheuttavista tekijöistä alkalikiviainesreaktio (AKR) tunnetaan Suomessa huonosti. Kun lisäksi on hyvin pitkään uskottu, ettei Suomessa alkalikiviainesreaktiota esiinny ja että suomalainen kiviaines on fysikaalisesti, mekaanisesti ja kemiallisesti lujaa ja kestävä, on ollut vaikeaa ymmärtää ja hyväksyä sitä tosiasiaa, että meilläkin kyseistä ilmiötä esiintyy. Vielä vuonna 2008 ilmestyneessä julkaisussa Betonin kiviainekset by 43 (1) todettiin, että ”nykytietämyksen perusteella ei alkalikiviainesreaktio suomalaisia kiviaineksiä käytettäessä ole ongelma”.

Alkalikiviainesreaktio on muutaman viimeisen vuoden aikana noussut suuren yleisön tietoisuuteen lehdistön kautta, joka on kirjoittanut uimahalleissa todetuista AKR-tapauksista uutena ongelmana. Ja koska ilmiötä ja sen mekaniikkaa ei tunnettu, asia sai huomattavaa julkisuutta.

Luulo jostakin uudesta betonivaurioita aiheuttavasta ilmiöstä on väärä, sillä AKR on maailmalla vanha tunnettu ilmiö ja sen esiintyminen Suomessa on jo pidempään tiedostettu (2, 3) ja asiaa on viime vuosina jo jossain määrin tutkittu (4, 5, 6).

Alkalikiviainesreaktio maailmalla

Alkalikiviainesreaktion historia osoittaa, että kyse ei ole viime vuosien tai edes viime vuosikymmenten löydöstä, vaan jo sangen vanhasta tunnetusta ilmiöstä. AKR kuvattiin kirjallisuudessa (7) ensimmäistä kertaa Yhdysvalloissa vuonna 1940, jolloin Thomas E. Stanton osoitti

Kaliforniassa 1920- ja 1930-lukujen betonirakenteissa havaitun halkeilun pääasiassa johtuneen sementin ja kiviaineksen ominaisuuksista ja että reaktioiden aiheuttajina olivat korkean alkalipitoisuuden sementit yhdessä opaalisien kiviaineksen kanssa.

Mutta varhaisempiakin alkalireaktioon viittaavia havaintoja löytyy. Tanskassa Insinööri-lehden numerossa 31 vuodelta 1914 insinööri A. Poulsen kirjoitti betonin vaurioitumisesta kuvaten, että siihen syntyy vuotavia halkeamia, betonin lohkeilua ja sementtikivi on tummaa (8).

USA:sta 1940-luvulla käynnistynyt AKR-tutkimus on levinnyt maailmalle ja tänä päivänä AKR onkin ilmiönä tunnistettu jo yli 50 maassa. Lisäksi alkalikiviainesreaktiota käsittelevää, säännöllisesti neljän vuoden välein järjestettävää, kansainvälistä symposiumia on pidetty vuodesta 1974.

Tänä päivänä Euroopassa on lähes kahdeskymmenessä maassa kansallinen standardi ja vaatimukset alkalikiviainesreaktion estämiseksi. Suomessa standardia tai vaatimuksia ei ole.

Jokaisessa pohjoismaassa on kuljettu pitkä tie ensimmäisistä havainnoista kansalliseen ohjeistukseen; hyvänä esimerkkinä Tanska. Kun tutkimustulokset USA:sta levisivät 1940-luvun lopulla Tanskaan, alettiin asiaa 1950-luvun alussa tutkia ja päädyttiin siihen lopputulokseen, että Tanskassa esiintyy kyseistä reaktiota betonirakenteissa. 1954 perustettiin asiaan vihkiytynyt toimikunta ja tutkimusprojekteja asian selvittämiseksi ja lopulta, vuonna 1961, valmistui ohje (9) vaurioiden ehkäisemiseksi. Ohje rajoitti reaktiivisen kiviaineksen



1

1 Alkalikiviainesreaktion synnyttämää halkeilua infrarakenteissa.

2 AKR halkeilua betonipilarissa ulkona.

3 Ulkona olevassa seinärakenteessa olevaa AKR-halkeilua.

Kuvat: Vahanen ja kansainvälinen kuvapanikki



2



3

4 Tanskan AKR-luokituksen mukaiset vaatimukset sementin ja betonin alkalisuudelle ja kiviaineksille eri ympäristöluokissa (11).

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	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$	$\leq 0,40$

Notes to Table:

- 1) Alkali content in the cement may be higher than 0.8% and the alkali content in the concrete may be higher than 3.0 kg/m³ if the following conditions are fulfilled: Sand: Class A + expansion max. 0.1% after 20 weeks (or max. 1.0% reactive aggregates). Coarse aggregate: Max. 1.0% with density below 2500 kg/m³.
- 2) The contribution from microsilica and fly ash is not included.
- 3) Class P sand is allowed if the cement is marked EA or LA and the total alkali content in the concrete is below 1.8 kg/m³.

määräksi 2%. Reaktiivista kiviainesta käytettiin kuitenkin edelleen ja tilanteeseen herättiin uudelleen vasta 1980-luvun alussa, jolloin asiaa ryhdyttiin jälleen tutkimaan ja selvittämään. Vuonna 1987 julkaistussa ohjeessa "Basisbetonbeskrivelse for bygningskonstruktioner" (10) uudistettiin vaatimus reaktiivisen kiviaineksen rajoittamiseksi hiekkalajitteessa 2% määrään kohtuullisessa ja aggressiivisessa ympäristöluokassa. Ja, kuten tanskalaiset ovat todenneet vuoden 1961 ja 1987 välisestä ajanjaksosta, että "25 vuotta meni (odotellessa ja) miljardien (kruunujen) vaurioita syntyen" (8). Tänä päivänä Tanskassa on selkeät vaatimukset kiviaineksille, sementille ja betonille ympäristöluokittain (kuva 4)

On syytä todeta, että tanskalaiset kiviainekset poikkeavat sekä koostumukseltaan että rakenteeltaan täysin suomalaisista kiviaineksista. Yleisesti tanskalainen kiviaines koostuu kalkki-, liitu- ja piipitoisesta sedimenttikivestä, kun suomalainen kiviaines on graniittista syväkiveä.

Norjassa AKR:n kanssa on edetty hyvin samalla tavalla kuin Tanskassa. Ensimmäinen norjalainen alkalireaktiota käsittelevä artikkeli on vuodelta 1962, jolloin tehtiin tutkimus saviliuskeen mahdollisesta reagoimisesta alkalien kanssa. Vuonna 1978 julkaistiin tutkimustuloksia uima-altaiden rakenteista ja vesivoimalaitosten turbiinien perustuksista. Näissä päädyttiin tulokseen, että alkalikiviainesreaktio oli syynä vaurioihin molemmissa tapauksissa. Varsinainen systemaattinen alkalireaktiotutkimus käynnistyi vuonna 1988 ja nykyisin Norjassa on käytössä oma kansallinen luokitusmenetelmä, jonka perustana on kiviainesten petrografinen luokitus (12).

Ruotsissa ohjeistuksen laatiminen on käynnissä.

Alkalikiviainesreaktion lyhyt oppimäärä

Alkalikiviainesreaktio on yksinkertainen ja samalla monimutkainen ilmiö. Reaktiosta, sen reunaehdoista sekä reaktion mekaniikasta on julkaistu hyvin selkeä ja seikkaperäinen suomenkielinen raportti vuonna 2011 (4), joten tässä yhteydessä mekanisme ei sen yksityiskohtaisemmin käydä läpi. Lyhyesti kyse on kiviaineksen tiettyjen mineraalien ja sementtikiven huokosveden sisältämien alkalien (Na⁺ and K⁺) ja hydroksyyli- (OH⁻) ionien välisestä kemiallisesta reaktiosta.

Yksinkertaistettuna alkalikiviainesreaktio vaatii toteutuakseen kolmen ehdon täyttymistä betonissa:

- Reaktiivista kiviainesta
- Suhteellisen korkeaa alkalisuutta
- Vettä / kosteutta betonissa

Ja ehdot ovat niin yksinkertaiset, että jos yksikin ehto puuttuu, ei reaktio käynnisty. Ja toisaalta, jos yksikin tekijä reaktion aikana muuttuu alle tai yli kynnysarvon reaktio pysähtyy.

Hieman laajemmin osa-aineiden vaatimuksia tarkasteltaessa voidaan todeta, että:

- Jokaisella reaktiivisella kiviaineksella on tietty määrätaso betonissa, jossa reaktio on voimakkain
- Jos reaktiivinen kiviaines on kokonaan reagoinut, reaktio pysähtyy
- Kiviainekset reagoivat tietyllä alkalisuuden tasolla, joka on suhteellisen korkea
- Jos alkalisuus alenee, reaktio voi pysähtyä

- Kun kiviaineksen reaktiivisuus kasvaa, geelin muodostus voi tapahtua pienemmäläkin alkalimäärällä, jolloin AKR:n torjumiin ei sementtivalinnalla (alhaisemman alkalitason sementti) yksin päästä
- Myös ulkoiset tekijät voivat toimia lisäalkalilähteenä. Tällaisia ovat mm. liukkauden torjuntaan käytetyt suolat ja lipeä
- Edellytys reaktiolle on, että betonin kosteus on yli noin 80%RH
- Lisäksi korkea lämpötila lisää reaktioherkkyttä

Edellä esitetyn pohjalta helpoin tapa pysäyttää AKR olemassa olevassa rakenteessa on pudottaa RH:n taso alle 80%. Hyvä esimerkki veden roolista ovat uimahallit. Allashuoneissa Suomessa AKR on todettu rakenteissa, jotka ovat jatkuvasti kosketuksissa veteen tai roiskealueella. Itse huonetilan korkeakaan suhteellinen kosteus ei riitä AKR:n syntyyn.

Missä nyt mennään

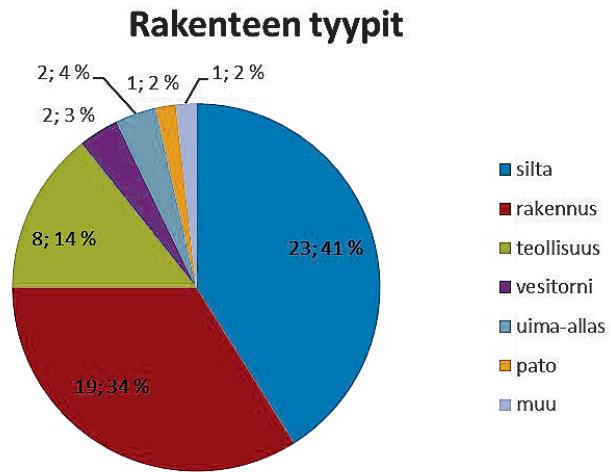
Kun ensimmäinen kansallinen alkalikiviainesreaktiota käsittelevä seminaari vuonna 2011 järjestettiin VTT:llä, tehtiin siihen liittyen kysely kaikille Suomessa betonitutkimuksia tekeville laboratorioille (4). Kyselytutkimuksen tuloksena saatiin 56 AKR:n aiheuttamaa vauriotapausta suomalaisissa betonirakenteissa viimeisen 15 vuoden tutkimusajanjakson aikana. Vaurioiden jakautuminen rakenteittain on esitetty kuvassa 5.

Edellä mainitun seminaarin ajankohdan jälkeen on yksin Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriossa tehdyissä tutkimuksissa vuosina 2011 – 2018 todettu alkalikiviainesreaktio yhteensä 48 tutkimuskohteessa Yksi

5 Vuoden 2011 kyselytutkimuksessa raportoitujen AKR-tapausten jakautuminen rakenteittain (4).

6 Alkalikiviainesreaktion synnyttämää halkeilua betonijulkisivussa.

7 Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriotutkimuksissa 2011–2018 todettujen alkalikiviainesreaktiokohteiden jakautuminen rakenteittain.



5

esimerkki AKR:n aiheuttamasta vauriosta on kuvassa 6. Vaurioiden aste on vaihdellut lievistä voimakkaaseen. Kuvassa 7 on esitetty näissä tutkimuksissa todettujen vaurioiden jakautuminen rakenteittain.

Huomionarvoista on, että edellä mainitussa VTT:n vuoden 2011 seminaarin kyselyssä saatiin kaikilta suomalaisilta betonitutkimuslaboratorioilta 15 vuoden ajalta (vuoteen 2011 saakka) raportit 56 AKR-kohteesta, ja että vuosina 2011–2018, siis 7 vuoden aikana on yhdessä laboratoriossa todettujen AKR-tapausten määrä lähes sama: 48 kappaletta.

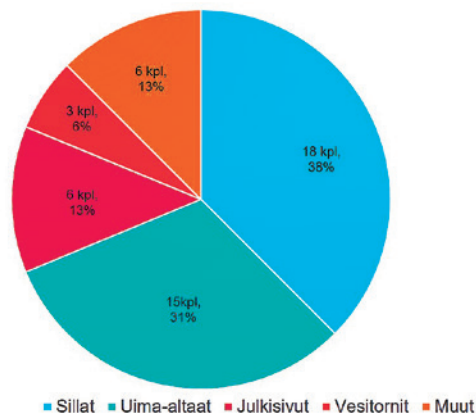
Kun ensimmäinen seminaari pidettiin, pelkona oli, että kun kissa (AKR) nostetaan pöydälle, niin sitten padot murtuvat, ja hieman niin tässä on näyttänyt myös käyvän. Valitetavan usein raporteissa on havaittavissa tietynlaista AKR-hysteriaa sekä ”vieraan ilmiön” ennakkointia. Esimerkiksi kun betonissa on käytetty kiviaineksena kalliomursketta, on odotettavissa, että osassa kiviainesrakeita on sisäisiä halkeamia ja säröjä, jotka toki näyttäivät tyyppillisiltä AKR:n aiheuttamilta halkeamilta, tällaisista halkeamista on vedetty suoria yhteyksiä AKR:ään, vaikka kiviaines olisi varmasti riskitöntä, halkeamat eivät jatkuisi betoniin tai betonissa olisi käytetty seosaineena lentotuhkaa tai masuunikuonaa, jotka jo sellaisenaan ehkäisivät AKR:n synnyn. Näitä ei tulisi raportoida AKR:nä.

Lisäksi raporteissa esiintyy hyvin epämääräisiä havaintoja ja mainintoja alkavasta AKR:stä, kuten: ”Näytteessä esiintyy satunnaisesti runkoaineskappaleita, joissa esiintyy viitteitä mahdollisesta alkavasta alkalisilika-reaktiosta. Kappaleiden sisäosat vaikuttavat



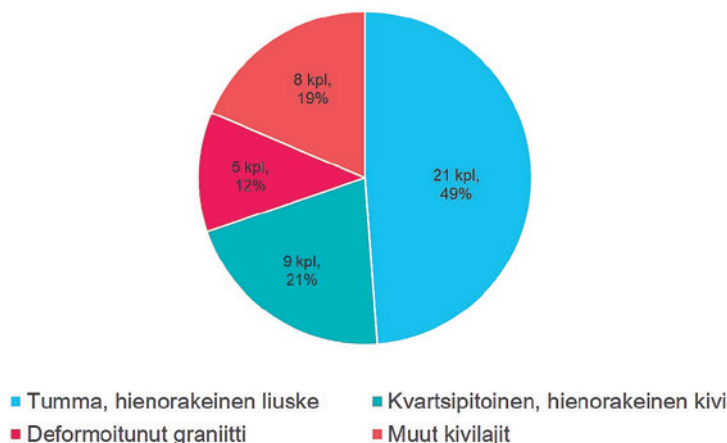
6

Vahanen Rakennusfysiikka Oy, AKR-kohteet 2011 - 2018, 48 kpl



7

Vahanan Rakennusfysiikka Oy,
kivilajit 2011 - 2018 AKR-tapauksissa, 43 kpl



käyttäytyvän hauraasti ja niistä vaikuttaa liuenneen aineesta”. Eli siis mitä?

Lisäksi tulee muistaa, että kun tutkitaan vanhoja betonirakenteita erilaiset spekulatiot AKR:n tilasta ja asteesta ovat vaarallisia; kuten arvio siitä, että ”AKR on vasta alkuvaiheessa, eikä ole vielä kehittynyt voimakkaaksi”. Kyseessä saattaa olla AKR, joka on alkanut parikymmentä vuotta sitten ja päättyneet kymmenen vuotta sitten, kun olosuhteet, tai reaktion edellyttämät reunaehdot ovat muuttuneet. Toisaalta reaktio on voinut alkaa joitakin vuosia sitten ja jatkuu edelleen. Kertatutkimuksella on mahdotonta arvioida AKR:n kehitystä tulevaisuudessa, ellei esim. lisäksi selvitetä rakenteen kosteusolosuhteita. Ja jos ei-pitkälle edennyt AKR todetaan ja rakenteelle tehdään vaikka korjaus, jossa se kuivuu ja tulee pitkään pysymään kuivana, ei lievä AKR itse vaadi toimenpiteitä.

Miten tästä eteenpäin

Alkalikiviainesreaktioon liittyvää tieteellistä tutkimusta on Suomessa tehty hyvin vähän. Meillä on suuri määrä tutkimusaineistoa erilaisista betonirakenteiden kuntotutkimuksista hyvin monilla tutkimustahoilla. Tiedetään esimerkiksi varsin hyvin ne rakenteet, joissa reaktioita on eniten ja ne kivilajit, joiden on todettu meillä olevan reaktiivisimpia ja aiheuttaneen meillä eniten vaurioita (kuvat 8 ja 9).

Se, mikä meiltä puuttuu, on kansallinen ohjeistus ja kansalliset vaatimukset. Tämä ei ole ratkaistavissa kopioimalla ohjeet jostain ulkomailta. Syynä tähän on se, että eri maissa on erilaiset materiaalit (sementti, kiviainekset), erilaiset ympäristöolosuhteet, lämpötilat ja rasitukset. Lisäksi eri mailla on käytössään erilaisia koestusmenetelmiä.

Viimeistään nyt Suomessa tulisi koota jo olemassa oleva tutkimustieto yhteen ja tehdä lisäksi tarvittavat tutkimukset ja selvitykset niin, että kansallinen ohjeistus ja vaatimukset saadaan aikaan. AKR ei Suomessa varmasti-kaan ole, eikä tule olemaan merkittävä beto-

nivaurioiden aiheuttaja, mutta niin kauan, kun ilmiöstä ei ole tarkkaa tietoa, spekulatiot ilmiön ympärillä voivat olla todellisuutta voimakkaampia.

Lähteet

1. Betonin kiviainekset, by 43. 2008 Suomen Betoniyhdistys
2. Pyy, Hannu. 1992. Finska potentiellt reaktiva bergarter. Nordic Miniseminar ”Alkalikiselnsyrreaktioner”. Cement och Betong Institutet, Stockholm 22 Maj 1992. 4 s.
3. Punkki, J. & Suominen, V. 1994. Alkalikiviainesreaktio Norjassa – ja Suomessa? Betonilehti, 2/1994, s. 30–32.
4. Pyy, H., Holt, E., Ferreira, M. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa. VTT. Helsinki Asiakasraportti VTT-CR-00554-12/FI. 27 s.
5. Lahdensivu, J. & Aromaa, J. 2014. Betonin alkalikiviainesreaktiosta kärsivän uima-altaan korjaus – case Tampereen uintikeskus. Betonilehti, 2/2015, s. 46–52.
6. Lahdensivu, J. & Husaini, D. 2015. Alkalikiviainesreaktio Etelä-Suomen silloissa. Betonilehti 3/2015, s. 66–70.
7. 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 s.
8. Bent Grelk. 2014. Alkalireaktioner. Betonhåndbogen, 19 Betons holdberhed. Dansk betonforening, s.19.1-1...19.1-16.
9. Plum, N.M. 1961. Foreløbig vejledning i forebyggelse af skadelige alkalikiselreaktioner i beton. København, SBI forlag, 60 s.
10. Basisbetonbeskrivelse for bygningskonstruktioner 1986. 1987. Publikation nr 89. Byggestyrelsen. Tanska, 44 s.
11. Danish Standard DS481. 1999. Dansk Standard
12. Alkali Aggregate reaction in Concrete, Test Methods and Requirements to Laboratories. 2013. Norwegian Concrete Association, Publication no.32. 48 s.

8 AKR-tapauksissa reagoineiden kivilajien jakautuma kivilajityypeittäin. Vahanan Rakennusfysiikka Oy:n tutkimukset 2011–2018.

Alkali-aggregate reaction

The alkali-aggregate reaction was described in literature for the first time in the United States already in 1940. Thomas E. Stanton proved that in California in the 1920s and 1930s, the cracking of concrete structures was mainly due to the properties of the cement and the aggregate, and the reactions were caused by low alkali cements combined with opal aggregates.

Today the alkali-aggregate reaction has been identified in more than 50 countries, and an international symposium dedicated to this reaction has been organised every four years since 1974.

In Europe, national standards as well as requirements for the prevention of the alkali-aggregate reaction have been issued in almost twenty countries. There are no standards or requirements in Finland.

Scientific research related to the alkali-aggregate reaction has been very limited in Finland. Numerous research organisations have compiled a large amount of research data from various condition surveys of concrete structures. For example, the structures most susceptible to these reactions are well known, as are also the aggregate types which have been shown to be the most reactive in our conditions and having caused the most damage.

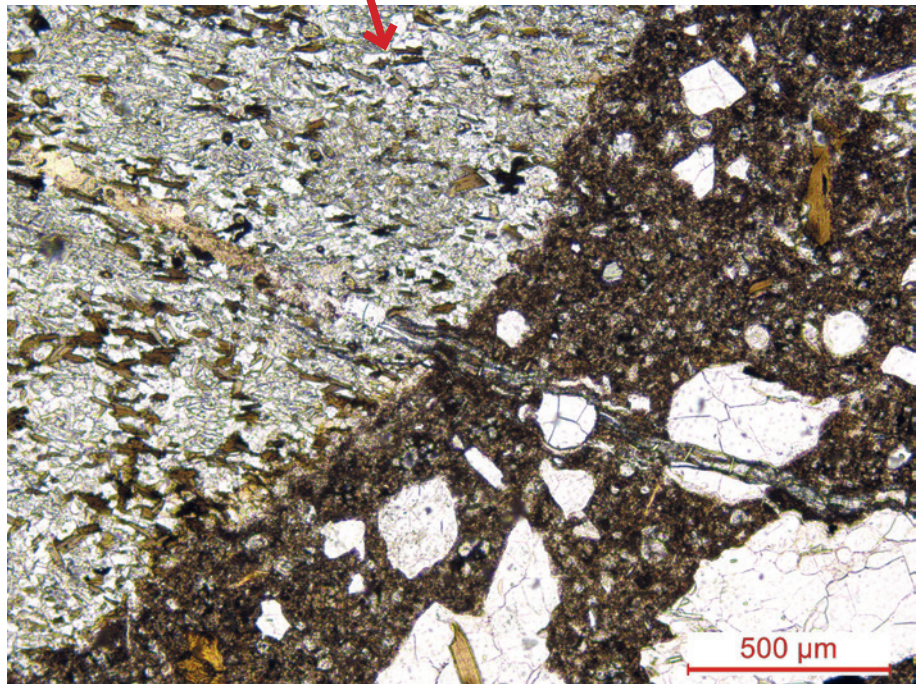
However, national guidelines and national requirements are lacking in Finland. They cannot be copied from other countries, because different countries have different materials, environmental conditions, temperatures and stresses. The test methods used also differ from one country to the next.

The existing research data should now be compiled in Finland and supplemented through necessary studies and analyses to make it possible to prepare national guidelines and requirements. The alkali-aggregate reaction is by no means a significant cause of concrete damage in Finland, nor will it become one, but as long as there is no exact data on this phenomenon, speculations can exceed reality.

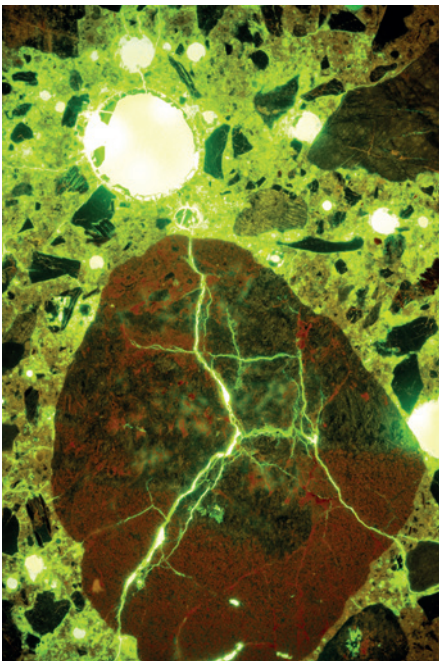
9 Tavanomaisin Suomessa tavattava alkalireaktiivinen kivilaji: tumma, hienorakeinen liuske ja sen aiheuttamaa halkeilua kiviainesrakeissa ja sementtikivessä. Kyseinen "lakritsikivi" on hyvin yleinen Tampereen ja Oulun seudulla.



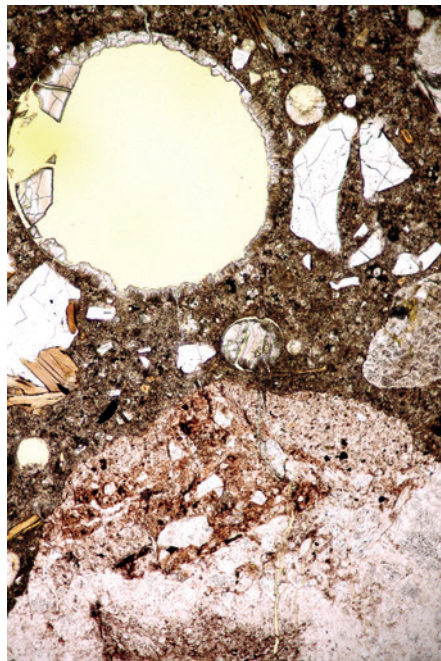
9a



9b



7



8

10 Reagoinut ja halkeillut kivirae

11 Reagoinut kivirae vasemmalla ja reaktiossa syntynyttä alkaligeeliä betonin huokosissa (keltaiset pallurat).