

# ONKO SUOMESSA ONGELMA NIMELTÄ ALKALI-KIVIAINESREAKTIO?

Hannu Pyy, tekn.lis., erikoistutkija,  
VTT Expert Services Oy  
Erika Holt, tekn.tri, erikoistutkija, VTT



Suomalainen kiviaines tunnetaan mekaanisesti lujuana ja kemiallisesti kestäväenä. Koostumuksestaan se on pääasiallisesti graniittista sora tai kalliomurskettä. Yleisesti uskotaan, että alkali-kiviainesreaktioita ei maassamme esiinny. Tutkimustulokset ovat kuitenkin osoittaneet, että tämä käsitys on virheellinen. Siksi olisikin tärkeää tutkia niitä mekanismeja ja kivilajeja, jotka Suomessa aiheuttavat alkali-reaktiota sekä oppia paremmin tunnistamaan ilmiö ja erottamaan se muista vaurioita aiheuttavista tekijöistä, jotta tulevaisuudessa osattaisiin välttää alkali-kiviainesreaktion mahdollisuus.

## TAUSTAA

Tietyillä kiviainestyypeillä on suuri riski liueta, kun ne joutuvat kosketuksiin betonissa olevien, esimerkiksi sementin reaktiossa vapautuvien, alkaliain kanssa. Kosteissa olosuhteissa reaktiossa muodostuu geeliä kiviainesrakeiden ympärille. Tämä geelin muodostuminen aiheuttaa tilavuuden kasvua, joka voi johtaa betonin halkeiluun. Alkali-reaktion synnyttämä halkeilu puolestaan tarjoaa muille vaurioitaville mekanismeille pääsyn betoniin ja lopputuloksena voi olla betonin hyvinkin voimakas rapautuminen.

Ilmiö tunnetaan yleisesti nimellä *alkali-kiviainesreaktio (AKR)* (engl. *alkali aggregate reaction, AAR*). Ylivoimaisesti yleisin AKR:n muoto on *alkali-piidioksidireaktio (ASR)* (engl. *alkali silica reaction, ASR*), jossa reagoivana kiviaineksena on piidioksidin eri kiteytymisastetta olevat muodot. Toinen, erittäin harvinainen AKR:n muoto on *alkali-karbonaattireaktio (ACR)* (engl. *alkali carbonate reaction, ACR*). Reaktiosta on käytetty myös nimitystä alkali-dolomiittireaktio, sillä reagoivana kiviaineksena on dolomiittinen kalkkikivi.

Jotta ASR voisi tapahtua, tulee seuraavat kolme ehtoa täyttyä:

- 1) betonissa on reaktiivista piidioksidia (kiviainesta),
- 2) alkaleja on kyllin runsaasti ja
- 3) kosteutta on riittävästi tarjolla.

Ilman kyllin suurta kosteutta ( $RH > 80\%$ ) reaktiota ei tapahdu. Myös korkeat lämpötilat kiihdyttävät reaktiota. Siksi ASR on esim. Etelä-Euroopassa huomattavasti yleisempää kuin mikä on tilanne Pohjoismaissa. Suomessa riskialttiimpia, suuren kosteuden ja korkean lämpötilan rakenteita ovat kylpylöiden ja uimahallien betonirakenteet. Suomessa alkalireaktion syntyy ulko-olosuhteissa kuluu maamme alhaisesta lämpötilasta johtuen huo-

mattavan pitkä aika. Ja koska ASR edellyttää kaikkien kolmen ehdon täyttymistä, voidaan olettaa, että kuivissa ja lämpimissä sisäolosuhteissa ei reaktiota esiinny, vaikka käytetty kiviaines olisikin reaktiivista ja sementti alkalipitoista.

ASR:n voimakkuus on myös hyvin riippuvainen kiviaineksen geologisesta koostumuksesta. Suotuisissa olosuhteissa ja erittäin reaktiivisen kiviaineksen ollessa kyseessä, saattaa ASR ilmetä jo muutamassa vuodessa. Toisaalta esim. Norjassa on havaittu, että reaktion kehittymiseen kuluu tyypillisesti 15-30 vuotta, ennen kuin se on niin voimakas, että vaurioituminen tulee rakenteessa näkyviin. Reaktiivisimmat kiviainekset sisältävät opaalia, kalsedonia, tiettyjä sertin/limsiön muotoja, vulkaanista lasia tai erilaisia piipitoisia epäpuhtauksia. Riskikivilajeihin kuuluvat myös muut erittäin suuren piidioksidipitoisuuden omaavat hienorakeiset kivilajit, ruhjeiset ja epästabiilit kvartsin muodot jne.

Ensimmäiset ulospäin näkyvät ASR:n merkit ovat epäsäännöllinen tai verkkomainen halkeilu betonin pinnalla. Tällöin betonissa on jo niin voimakas painun seurauksena syntynyt sisäinen halkeilu, että halkeamat ulottuvat pintaan. Kun tällaista betonia tutkitaan sisältä nähdään reagoineiden kivirakeiden pinnalla reaktiokehä sekä halkeilua ja geelin muodostumista.

ASR:n synnyttämä halkeiluverkosto tarjoaa esim. klorideille helpon tien betonin sisäosiin. Samoin veden pääsy rakenteeseen helpottuu ja sitä kautta pakkasvaurioiden riski kasvaa. Yleisesti riskialttiimpia rakenteita ovat sillat, padot, pysäköintitalot ja perustukset. Nämä ovat kohteita, joissa reaktion vaatimaa kosteutta on runsaasti tarjolla. Kun rakenteessa on todettu ASR, voidaan erilaisilla toimenpiteillä hidastaa tai pysäyttää reaktion eteneminen. Toimenpiteet täytyy kohdistaa niihin kolmeen ehtoon, joilla reaktio toimii. Koska kiviainekseen ei enää voida valmiissa rakenteessa vaikuttaa, vaikutetaan kahteen muuhun tekijään. Tällaisia toimenpiteitä ovat:

- tehostetaan vedenpoistoa
- käytetään pinnoitteita märillä alueilla
- injektoidaan halkeamat
- estetään suolojen (alkalien) pääsy betoniin

Todettujen ASR -tapausten määrän lisääntymisen maailmalla johtuu useistakin syistä. Kiviaineslähteissä on ympäristösyistä tapahtunut muutoksia, ja aina ei ole tiedostettu uusien kiviainesesiintymien ASR-riskiä. Sementit, joiden alkalipitoisuus on

1 Alueet, joilla Suomessa on todettu rakenteissa alkali-kiviainesreaktioita.



2

korkea ovat lisänneet riskiä. Lisäksi ASR -tapaukset osataan nykyisin tunnistaa entistä paremmin muita vaurioista. Aiemmin ASR:n aiheuttama halkeilu sekoitettiin usein pakkasvaurioon.

Merkittävin ero ASR:n ja pakkasvaurion välillä on vaurioissa syntyvän halkeilun rakenne. Pakkasvaurioissa halkeilu on voimakkainta ulkopinnan lähellä ja heikkenee syvemmälle mentäessä, kun taas ASR:ssä halkeilu syntyy syvemmällä betonissa aiheuttaen tasaisen halkeiluverkoston koko rakenteeseen. Vaikka molemmissa vaurioissa saattaa rakenteen ulkopinnalla olla hyvinkin samanasteinen halkeiluverkosto, voi ASR:n aiheuttama vaurio olla betonin sisällä selvästi suurempi kuin pakkasvauriossa. Ainoa keino ASR:n toteamiseksi rakenteesta on analysoida betonin koostumus ja rakenne esim. ohuthietutkimuksella. Oleellista on, että näytteet porataan mahdollisimman syvältä rakenteesta, eikä vain läheltä (50-60 mm) ulkopintaa. Tällöin vältetään se mahdollisuus, että kosteusliikkeet ovat "pumpanneet" halkeamia geelin betonin pinnalle ja jäljelle jääneet tyhjät halkeamat tulkitaan pakkasvaurioksi. Toisaalta pinnankin lähellä olevat reagoineet kivirakeet kertovat osaltaan tapahtuneista reaktioista.

Uusien materiaalien alkalireaktiivisuutta voidaan testata mm. seuraavilla menetelmillä:

- 1) kiviainesten petrograafinen analyysi (esim. SFS-EN 932-3),
- 2) nopeutettu laasti-prismatesti (14 vrk testi, esim. RILEM AAR-2 tai ASTM C1260) tai
- 3) 1 vuoden betoniprismatesti (esim. RILEM AAR-3 tai ASTM C1293).

Kaikilla näillä menetelmillä on omat rajoituksensa.

2

Silta, jossa on todettu voimakas alkali-kiviainesvaurio.

3

Kuvan 2 sillasta porattu betoninäyte, jossa ison kivirakeen pinnassa reaktiokehä.

4

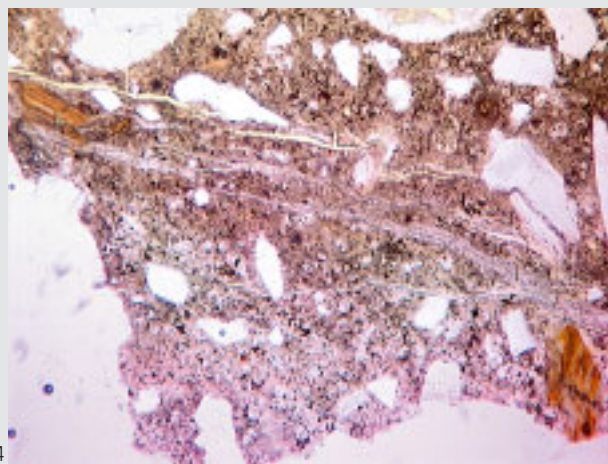
Alkaligeelin täyttämiä halkeamia sementtikivessä. Kuvan korkeus vastaa noin 1,5 mm näytteessä.

5

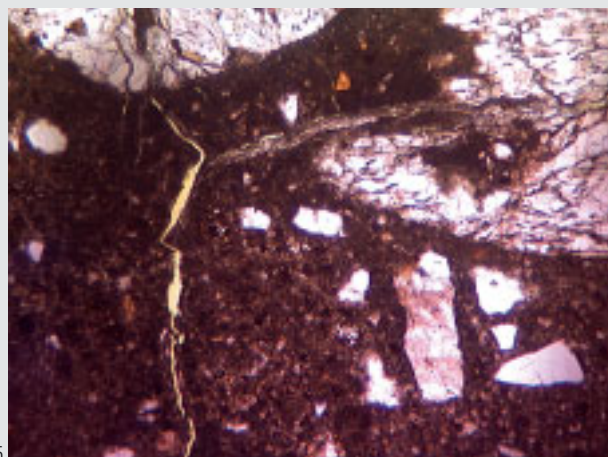
Kaksi reagoivaa kiviainesraetta ja niistä lähtevät halkeamat, jotka ovat osaksi geelin täyttämiä. Kuvan korkeus vastaa noin 1,5 mm näytteessä.



3



4



5



Norjan Betoniyhdistys on 15 vuoden kansainvälisen yhteistyön tuloksena julkaissut ohjeen /1/, jossa määrittäjinä ovat kivilajityyppi, hienon ja karkean kiviaineksen suhde, suhteitus, sideaineen alkalipitoisuus sekä lentotuhka ja kuona. Yleisesti kirjallisuudessa esitetään sallitun alkalimäärän rajoina 2,5 - 4,5 kg/m<sup>3</sup> laskettuna natriumoksidi ekvivalenttina (Na<sub>2</sub>O<sub>e</sub>).

#### TILANNE SUOMESSA

Suomen kallioperän ja irtomaalajien yleinen geologinen koostumus ja alueellinen esiintyminen ja jakautuminen tunnetaan varsin hyvin. Sen sijaan yksittäisten kiviaineseesiintymien ASR-potentiaali tunnetaan yleisesti varsin huonosti.

Betonikiviainesten mekaanisia ja kemiallisia ominaisuuksia on testattu pitkään. Alkalikiviainesreaktioiden toteamisen mahdollistavia ohutietutkimuksia on VTT:llä tehty vuodesta 1982 ja betonirakenteiden systemaattista kuntotutkimusta noin 25 vuoden ajan. Tutkimukset ovat kohdistuneet lähinnä rakennusten julkisivuihin, parvekkeisiin sekä siltoihin ja laiturirakenteisiin.

VTT:n ohutietutkimuksissa on viimeisen 10 vuoden aikana todettu alkali-kiviainesreaktioita noin 10 sillassa eri puolilla Suomea (kuva 1). Tämä edustaa noin 2 % kaikista ohutietekniikalla tutkituista siltakohteista. ASR:n aiheuttama vaurioaste on näissä kohteissa vaihdellut matalasta korkeaan. Useimmiten ASR:n aiheuttama vaurio on ollut muihin tekijöihin, lähinnä pakkas- ja kloridivaurioon, nähden pieni. Muutamassa kohteessa ASR:n merkitys on ollut huomattava. Ilmasto-olosuhteistamme johtuen ASR:n kehitys on meillä hidasta, ja vaurioita voidaan yleisesti odottaa todettavan vasta yli 30 vuoden ikäisissä rakenteissa.

ASR raportoidaan varmuudella vain kohteista, joissa näytteissä esiintyy ASR:ssä syntyvää geeliä. Vaurioiden tuntomerkit ovat tyypillisesti reaktiokehän esiintyminen kiviainesrakeiden ympärillä, halkeamat kiviainesrakeissa ja sementtipastassa sekä geelin esiintyminen kiviainestartunnoissa ja halkeamissa. Esimerkki Suomalaisesta AKR -kohteesta on kuvissa 2 - 5.

Suomessa ASR liittyy selvästi tiettyihin kivilajeihin, ei niinkään maantieteellisiin alueisiin. Tyypillisimpiä suomalaisia kivilajeja, joissa on todettu ASR ovat kiillepitoiset, kvartsirikkaat liuskeet ja vahvasti metamorfoituneet tai ruhjeiset kvartsiittiset tai kvartsirikkaat liuskeet. Näiden kivilajien raekoko on usein alle 0,1 mm. Lisäksi joissakin olo-

suhteiltaan poikkeavissa kohteissa on todettu muidenkin kivilajien alkalireaktiivisuutta. Näissä kohteissa ASR on riippunut kvartsin rakenteesta, raekoosta, kiven metamorfoosista jne.

#### MITÄ JATKOSSA

Tutkimustulokset osoittavat, että alkali-kiviainesreaktioita tavataan myös Suomessa, niin kuin kaikkialla muuallakin ympärillämme. Samoin on selvää, että meillä ongelma ei ole suuri, mutta se tulee tiedostaa ja ennalta ehkäistä, sillä pahoissa ASR:stä johtuvissa vauriotapauksissa korjaus-/uusimiskustannukset ovat huomattavat.

Tulevaisuuden uhkana ovat lähinnä kiviainesvaurioiden ehtyminen ja sen seurauksena siirtymisen käyttämään uusia kiviaineslaatuja, joiden ominaisuuksista ei ole tietoa. Sideaineiden osalta uhkana on uusien vaihtoehtoisten sideaineiden tai korkea-alkalisempien sementtien käyttö. Lisäksi erilaisten kierrätysmateriaalien käyttö voi lisätä ASR:n mahdollisuuksia.

ASR:n riskit Suomessa voidaan minimoida oikein suunnatuilla toimenpiteillä, joita ovat:

- betonirakenteiden ASR -kartoitus alueilla, joilla ASR on todettu sekä todettujen kohteiden osalta käytettyjen kiviaineseesiintymien paikallistaminen
- Suomeen soveltuviin ASR -testien sekä tulosrajojen määrittäminen
- kenttätutkimusohjeiden luominen betonirakenteiden kuntotutkimuksiin niin, että ASR -kohteet voitaisiin tunnistaa mahdollisimman ajoissa
- aiheeseen liittyvän koulutuksen toteuttaminen.

#### VIITTEET:

- [1] Durable concrete with Alkali Reactive Aggregates. Publication no. 21. Norwegian Concrete Association. 2008. 16 p. + app. 16 p.

#### DOES FINLAND HAVE AN ALKALI-AGGREGATE REACTION PROBLEM?

*Certain aggregate types have a high risk of dissolution when interacting with the alkalis released during the hydration of portland cement. In wet conditions, this reaction causes a gel around the aggregate particles that can crack the concrete and provide further paths for deleterious materials. The reaction is referred to as Alkali Aggregate Reaction (AAR). The most common form of reaction occurs between alkalis and certain forms of silica. This reaction is called Alkali Silica Reaction (ASR). Another less common form of reaction is Alkali Carbonate Reaction.*

*The three conditions required for AAR to occur include: 1) reactive silica (from aggregate), 2) sufficient alkalis (mainly from portland cement), and 3) sufficient moisture. Without a high moisture content (> 80% RH), ASR will not occur. Higher temperature also accelerates AAR. The rate of AAR reaction is also very dependent on an aggregate's geological composition. Some times AAR can be seen after a couple of years. Yet in other cases it can take 15-30 years until AAR damage becomes evident. The only way to identify AAR from an existing structure is analyze the interior of the concrete, such as by petrographic analysis.*

*In Finland, the highest risk environment is a very moist and warm environment, exemplified by modern indoor spa and pool facilities. Exterior concrete structures in Finland are also at risk of AAR, though the deterioration may take longer to appear. The structures most at risk for AAR damage are bridges, hydraulic structures, exposed frames (i.e. open multi-storey car parks) and foundations.*

*It has often been believed that the chemical reaction between Finnish aggregates and their surrounding environment is quite low. Yet recent in-situ structural concrete assessments have shown otherwise. It is during the past 10 years that AAR has been identified in about 10 bridges from various locations around Finland. This represents about 2 % of all concrete durability assessments by thin-section microscopy on bridges done at VTT in the past 10 years. In these cases the level of damage varies from low to high. Often the role of AAR has been smaller than the role of other damaging forces. In 2 - 3 of these cases, AAR has played a major role. In Finland AAR is more connected to certain rock types than to certain geographical areas. The Finnish rock types associated with AAR are fine grained stressed and strained mica bearing quartz rich shists and quartzites. The grain size is very often under 0.1 mm. Also some fine grained cataclastic rocks have reacted.*

*It is necessary for Finland to have knowledge and guidelines about how AAR may contribute to structural durability, assess test methods that can be used for AAR, with Finnish materials and establish acceptance limits for AAR test results.*