

Alkali-kiviainesreaktion mahdollisuus julkisivuissa ja parvekkeissa

Jukka Lahdensivu

tekn. toht., dosentti
Tampereen yliopisto
jukka.lahdensivu@tuni.fi

Elina Lahdensivu

dipl.ins.
A-Insinöörit Suunnittelu Oy
elina.lahdensivu@ains.fi

Suomea on viime vuosiin saakka pidetty Euroopan viimeisenä alkali-kiviainesreaktio-vapaana (AKR) maana Suomen erinomaisen vanhan kallioperän vuoksi [1]. Viimeisen kymmenen vuoden aikana on kuitenkin raportoitu yli 200 AKR-tapausta eri puolelta Suomea [2, 3, 4, 5, 6]. Suurelta osin havainnot ovat silloista, uima-altaista sekä muista betonirakenteista. Varsin harvoin on raportoitu alkali-kiviainesreaktioista julkisivujen tai parvekkeiden osalta. VTT:n esitutkimuksessa vuodelta 2012 [2] 56 havainnosta rakennuksissa oli 19. AKR havainnot vanhoissa betonirakenteissa johtivat kansallisen ohjeen laatimiseen alkali-kiviainesreaktion estämiseksi uudisrakennuksissa. Betoniyhdistyksen julkaisema ohje by74 [7] perustuu suurelta osin RILEMin sekä ruotsalaisten ja norjalaisten ohjeistuksiin.

Tässä artikkelissa tarkastellaan alkali-kiviainesreaktion mahdollisuutta suomalaisten betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa betonin mikrorakennetutkimuksissa tunnistettujen kivilajien ja julkaisussa by74 esitetyn kiviaineksen reaktiivisuusluokituksen perusteella.

Alkali-kiviainesreaktio

Alkali-kiviainesreaktiossa hydratoituneen sementin alkalit aiheuttavat piipitoisten kiviainesten paisumista betonissa [8]. AKR on aiemmin tyypillisesti jaettu kolmeen eri luokkaan reaktiomekanismin perusteella [9], mutta sekä jaottelu että jopa niiden olemassaolo on kyseenalaistettu ja vain alkali-piidioksidireaktion (ASR) on todettu aiheuttavan betonin paisumista [10]. ASR on yleisin alkali-kiviaines-

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden säilyvyysominaisuudet ovat parantuneet merkittävästi 1990-luvun rakennustuotannosta lähtien. Alkali-kiviainesreaktiossa hydratoituneen sementin alkalit aiheuttavat piipitoisten kiviainesten paisumista betonissa. Artikkelissa tarkastellaan alkali-kiviainesreaktion mahdollisuutta suomalaisissa betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa.

reaktiotyyppi. Reaktiossa sementtipastan alkalinen natrium- ja kaliumhydroksidipitoisuus huokosvesi ja kiviaineksen sisältämä reaktiivinen piidioksidi reagoivat muodostaen voimakkaasti hygroskooppista (vettä imevää) geeliä. Reaktiossa syntyvä geeli laajenee imiessään vettä, aiheuttaen kasvavaa sisäistä painetta, joka lopulta rikkoo kiviaineksen ja lopulta betonin huokosrakenteen. Kun laajenevan geelin aiheuttama sisäinen paine kasvaa suuremmaksi kuin betonin vetolujuus, pääsee suhteellisen pehmeä reaktiossa syntynyt geeli tiikhumaan halkeamien läpi [11].

Alkali-piidioksidireaktion syntyy vaaditaan kolme asiaa: reaktiivista piidioksidia sisältävää kiviainesta, korkea alkalipitoisuus (pH) huokosissa ja riittävästi kosteutta ($RH > 80\%$ [12]). Jos yksikin näistä puuttuu, ei reaktio käynnisty. Toisaalta reaktio pysähtyy, jos yksikin tekijä reaktion aikana muuttuu alle tai yli kynnsarvon.

AKR aiheuttaa yleensä betonin vaurioitumista. Vaurionopeus riippuu vallitsevista olosuhteista, kuten kosteudesta ja lämpötilasta, sekä kiviaines- ja sementtityypistä. Silloissa reaktio etenee hitaasti, tyypillisesti sitä on havaittu mikroskooppitutkimuksissa 40–45 vuoden ikäisissä rakenteissa. Uima-altaissa reaktio etenee huomattavasti nopeammin, tyypillisesti halkeilua havaitaan noin 20 vuoden ikäisissä rakenteissa. [7] Kuvassa 3 kuntotutkimuksen yhteydessä irrotetun poralierion katkaisupinnalla silmin havaittavia merkkejä alkali-kiviainesreaktiosta.

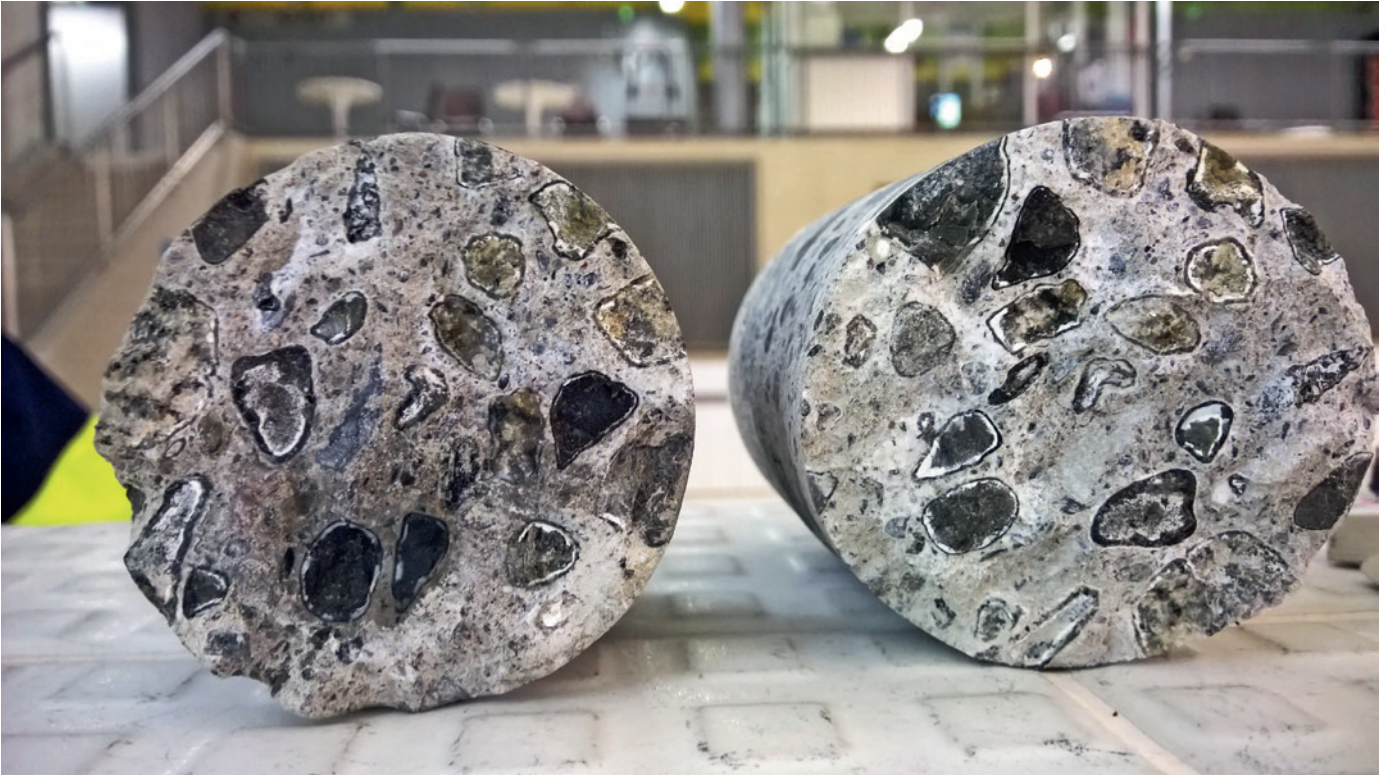


1

1 By74 ohjeen tavoitteena on antaa ohjeistusta AKR:n välttämiseen uudisrakentamisessa sekä ohjeistusta olemassa olevien betonirakenteiden AKR-riskin tunnistamiseen sekä rakenteiden korjaamiseen. Ohje pohjautuu RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) ohjeeseen.

2 Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden säilyvyysominaisuudet ovat parantuneet merkittävästi 1990-luvun rakennustuotannossa.





3

Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto koostuu betonijulkisivujen ja -parvekkeiden kuntotutkimusten yhteydessä otettujen betonilieriöiden mikrorakennetutkimuksessa tunnistetuista kiviaineksista. Aineisto on koottu Tampereen yliopiston ja A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kuntotutkimusraporteista. Mikrorakennetutkimusnäytteitä oli yhteensä 2503 kpl. Rakennusvuodet ovat välillä 1920–1999, ja kuntotutkimukset oli suoritettu välillä 1993–2022. Keskimäärin rakennusten ikä oli 28 vuotta kuntotutkimushetkellä vaihteluvälin ollessa 7–81 vuotta. Kuntotutkimusraporteissa kolmen näytteen kohdalla oli maininta alkali-kiviainesreaktiosta. Kahdessa kivilajia ei tunnistettu tarkemmin, se oli sedimentistä alkuperää ja kolmannessa kivilajiksi tunnistettiin serti. Molemmat havainnot kuuluvat luokan III kivilajeihin. Maininta AKR:sta piti etsiä näytteiden yksityiskohtaisesta analyysistä, sitä ei ollut nostettu laboratorion tulosten yhteenvetoon.

Ohuthietutkimuksessa tunnistettuja kivilajeja verrattiin by74 julkaistuun luokitukseen kiviainesten alkalireaktiivisuudesta, ks. taulukko 1.

Tunnistetut kiviainekset

Petrograafisessa analyysissä kiviaines on tunnistettu 3681 kertaa. 221 raportissa kiviaineksia ei ollut tunnistettu tai raportoitu. Yleisimmät kivilajit suomalaisissa julkisivu- ja parvekebetoneissa ovat graniitti (1251 mainintaa), gneissi (874) sekä kvartsi tai kvartsiitti (442). Toden-

näköisesti reagoiva kiviaines (luokka III) oli raportoitu 255 kertaa, jolloin kiviaines on ollut fylliitti (164), erilaiset liuskeet (75), serisiittikvartsi (6) tai savikivi (6). Mahdollisesti reagoiva kiviaines (luokka II) oli raportoitu 470 kertaa. On kuitenkin huomattava, että toiseksi yleisin kivilaji gneissi (874) voi kuulua joko luokkaan I tai luokkaan III riippuen kivessä olevan kvartsin kiderakenteesta. Hienojakoisena se kuuluu luokkaan III. Valitettavasti aineistossa on raportoitu ainoastaan kivilajit, ei niiden tarkempaa kiderakennetta tai niiden mahdollista reaktiivista osuutta.

Aiemman tutkimuksen [6] mukaan uimahalleissa tyypillisin reagoiva kivilaji on gneissi ja suurimman halkeilun aiheuttaa fylliitti. Tällä perusteella julkisivujen ja parvekkeiden AKR-potentiaali on suuri näytteiden gneissi- ja fylliittipitoisuuden vuoksi. Lähes kaikki näytteet sisälsivät gneissia. Aineistosta tehtiin kuitenkin vain kolme AKR-havaintoa. Merkittävin syy tälle on se, että betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa betonin kosteus on korkealla (>80 %) vain syyskuusta maaliskuuhun. Tällöin myös ilman lämpötila on alhainen, mikä osaltaan hidastaa kemiallisia reaktioita.

AKR:n mahdollisuus eri ikäisissä rakennuksissa

Ennen vuotta 1990 valmistuneissa betonijulkisivuissa ja -parvekkeissa kiviainekset kuuluvat suurelta osalta (60–80 %) alkalireaktiivisuuden suhteen luokkaan I. Luokissa II ja III on 20–40 % rakennuksista, ks. kuva 5. Vuosina

3 Kiviaineksen kehärakenteet ovat yleensä merkki alkali-kiviainesreaktiosta.

4 Mahdollinen alkali-kiviainesreaktio julkisivussa.

5 Määränäköinen ruutumainen teräsiä seuraava verkkohalkeilu on nähtävissä siltapilarissa.

Taulukko 1

Kiviainesten alkalireaktiivisuusluokitus [7]

Luokka I AKR erittäin epätodennäköinen	Luokka II AKR mahdollinen	Luokka III AKR todennäköinen
Kiven kvartsipitoisuus on alle 15 %, esimerkiksi • gabro • dioriitti • diabaasi • emäksinen vulkaniitti TAI Kiven kvartsin raekoko on >0,2 mm, esimerkiksi • graniitti • granodioriitti	Kivet, joissa kvartsin raekoko alle 0,2 mm TAI Kvarts on kiderakenteeltaan heikosti kiteytynyttä tai häiriintynyttä ja määrä yli 15 %, esimerkiksi • graniitti, granodioriitti, tonaliitti, muut granitoidit • vulkaniitit • erilaiset gneissit ja liuskeet • metavulkaniitit • kvartsiitit • karsikivi • hiekkakivi, silttikivi	Kivet, jotka sisältävät hyvin hienojakoista kvartsia (pääasiassa alle 0,06 mm) JA Kvarts on kiderakenteeltaan heikosti kiteytynyttä tai häiriintynyttä ja määrä yli 15 %, esimerkiksi • alhaisen asteen metamorfiset sedimenttikivet ja vulkaaniset kivet • fylliitti • mustaliuske • grauvakka • hapen-intermediäärinen vulkaniitti, tuffiitti • serti • myloniitti

Ramboll Finland Oy



4

Väylävirasto

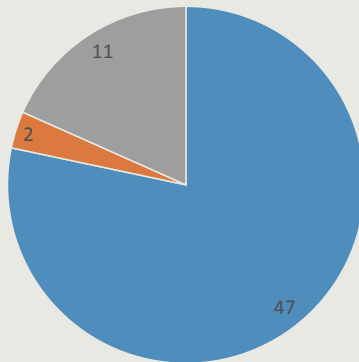


5

Kuva 5

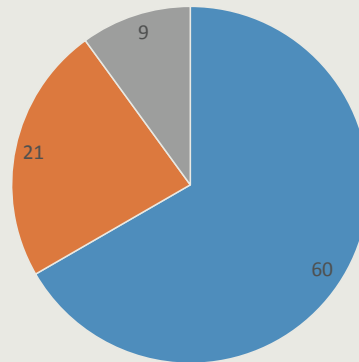
Kiviaineksen alkalireaktiivisuusluokka
1920–1989 rakennetuissa asuinkerrostaloissa.

Alkalireaktiivisuusluokka 1920-1959 (n=60)



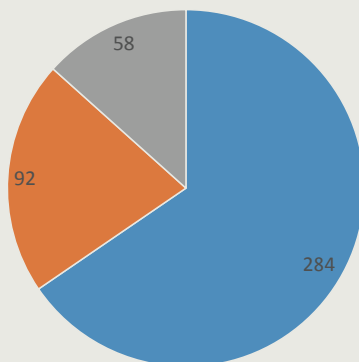
■ Luokka I ■ Luokka II ■ Luokka III

Alkalireaktiivisuusluokka 1960-1969 (n=90)



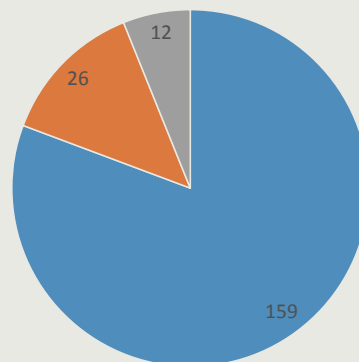
■ Luokka I ■ Luokka II ■ Luokka III

Alkalireaktiivisuusluokka 1970-1979 (n=434)



■ Luokka I ■ Luokka II ■ Luokka III

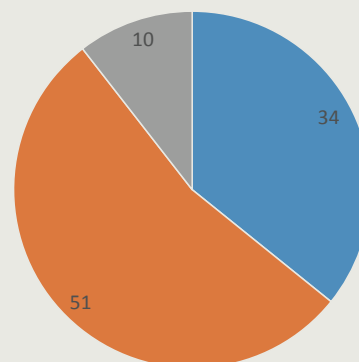
Alkalireaktiivisuusluokka 1980-1989 (n=197)



■ Luokka I ■ Luokka II ■ Luokka III

Kuva 6

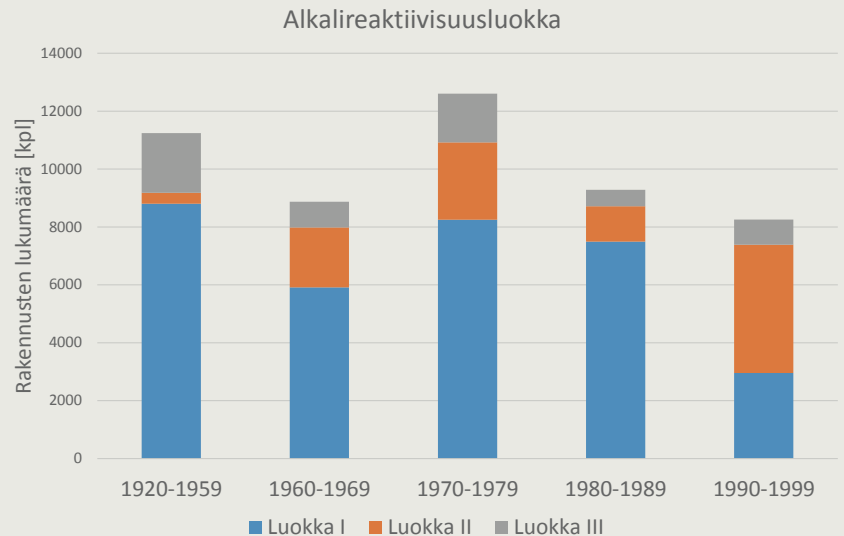
Kiviaineksen alkalireaktiivisuusluokka
1990–1999 (n=95) rakennetuissa
asuinkerrostaloissa.



■ Luokka I ■ Luokka II ■ Luokka III

Kuva 7

Kiviaineksen
alkalireaktiivisuusluokka
asuinkerrostalokannassa.



1990–1999 rakennetuissa asuinkerrostaloissa mahdollisuus alkali-kiviainesreaktioon on huomattavasti suurempi, sillä vain kolmannes tutkimusaineiston rakennuksista kuuluu luokkaan I ja yli puolet luokkaan II, ks. kuva 6.

Vuosina 1920–1999 Suomeen on rakennettu yhteensä 50 250 asuinkerrostaloa. Jos havainnot tutkimusaineiston kiviaineksen alkalireaktiivisuusluokituksista muutetaan koko tuota asuinkerrostalokantaa vastaavaksi, saadaan kuvan 7 mukainen kuvaaja. Luokan I kiviaines on yhteensä 33 413 asuinkerrostalossa, luokan II 10 773 kerrostalossa ja luokan III 6067 kerrostalossa. Alkali-kiviainesreaktion mahdollisuus on siten yhteensä 16 839 asuinkerrostalon julkisivuissa ja parvekkeissa.

Betonijulkisivujen ja -parvekkeiden säilyvyysominaisuudet ovat parantuneet merkittävästi 1990-luvun rakennustuotannossa. Raudotteiden peitepaksuudet alittavat vain harvoin tavoitearvon ja betonin pakkasenkestävyys on yleisesti onnistunut huomattavasti paremmin kuin aiempien vuosikymmenten rakennuksissa [13]. 1990-luvun betonirakenteiden kuntotutkimuksissa on kuitenkin tutkittava muiden vauriomekanismien lisäksi systemaattisesti alkali-kiviainesreaktion mahdollisuus.

Lähteet:

- Richardson, M. G. 2002. Fundamentals of durable reinforced concrete. London. Spon Press. 260 p.
- Pyy, H., Holt, E., Ferreira, M. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa. VTT. Helsinki. Report VTT-CR-00554-12/FI. 27 s.
- Lahdensivu, J., Aromaa, J. 2015. Repair of alkali aggregate reaction damaged swimming pool. Case Studies in Construction Materials. vol. 3. pp. 1-8
- Lahdensivu, J., Kekäläinen, P., Lahdensivu, A. 2018. Alkali-silica Reaction in Finnish Concrete Structures. Nordic Concrete Research. Vol. 59. pp. 31-44
- Lahdensivu, J., Köliö, A., Husaini, D. 2018. Alkali-silica reaction in Southern-Finland's bridges. Case Studies in Construction Materials. vol. 8. pp. 469-475
- Lahdensivu, J., Kekäläinen, P. 2019. Alkali-silica reaction in Finnish swimming pools. Book of abstracts for the 2019 fib International Symposium in Krakow. pp. 565-567 + 8 pages in memory stick.
- by74 Ohje betonin alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi 2022. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys. 49 s.
- Thaulow, N., Andersen, K.T. 1988. Ny viden om alkali-kisel reaktioner. Dansk Beton 1. pp. 14-19.
- Gilliot, J. E. 1975. Practical implications of the mechanisms of alkali-aggregate reactions. In Proceedings. Third international conference on alkali-aggregate reaction. Reykjavik
- Jensen V. 2012. The controversy of alkali carbonate reaction: state of art on the reaction mechanism. Proceedings. 14th Int. Conference on AAR. Texas. USA

- West, G. 1996. Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges. London. Thomas Telford Publications. 163 p.
- Poole, A.M. 1991. Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete. In Swamy, R.N. (editor) The alkali-silica reaction in concrete. Taylor & Francis Group. pp. 1-29.
- Lahdensivu, E. 2022. Betonielementtikerrostalojen julkisivujen ja parvekkeiden vaurioituminen 1990-luvun rakennustuotannossa. Diplomityö. Tampereen yliopisto. 91 s.



Väylävirasto

8

Summary

In Central Europe and Scandinavia, alkali-aggregate reaction typically occurs in massive concrete structures such as bridges and dams, as well as in concrete roads and parking buildings. Despite the similarities between the bedrock of Sweden and Finland, unlike Sweden, Finland has been considered an alkali-aggregate reaction (AAR) free country, due to the exceptional quality of its rock. More than half of the bedrock in Finland consists of granitoids, usually considered non-reactive or low reactive. However, approximately 200 AAR cases have been reported in Finland during last ten years. AAR has been found all over Finland and all kinds of structures which are in continuous water contact or exposed to long lasting high moisture. Initiation time is relatively long, 20–30 years in swimming pools and 40–50 years in bridges. Based on these findings, a national guideline for handling AAR in Finland has been published 2022.

The purpose of this study was to survey the possibility of AAR in existing Finnish concrete facades and balconies based on thin section analyse reports made during 1993 and 2022. The

research data consists of 2503 petrographic thin section analysis reports made during condition investigations of concrete facades and balconies.

The most common aggregates were granite, gneiss and quartz/quartzite. Despite very likely alkali-reactive rocks (gneiss and quartzite), only three samples AAR was detected. Also, phyllite and different schists were reported a lot, so there is plenty of potentially reactive rocks in facades and balconies. The AAR potential is the highest at the concrete facades and balconies build during 1990 and 1999.

8 Määränsäköinen ruutumainen teräsiä seuraava verkkohalkeilu saderasitetuissa pinnoissa.

9 Alkali-kiviainesreaktiossa hydratoituneen sementin alkalit aiheuttavat piipitoisten kiviainesten paisumista betonissa. Reaktiossa sementtipastan alkalinen natrium- ja kaliumhydroksidipitoinen huokosvesi ja kiviaineksen sisältämä reaktiivinen piidioksidi reagoivat muodostaen voimakkaasti hygroskooppista (vettä imevää) geeliä. Reaktiossa syntyvä geeli laajenee imiesseen vettä, aiheuttaen kasvavaa sisäistä painetta, joka lopulta rikkoo kiviaineksen ja lopulta betonin huokosrakenteen.

Huomioitavaa on, että määrällisesti eniten betonirakenteiden korjaustarvetta aiheuttavat raudoitteiden korroosio ja betonin pakkasrapautuminen.

