Alkalikiviainesreaktio Etelä-Suomen silloissa

Artikkelin valokuvat: Liikennevirasto

Jukka Lahdensivu, tekn. toht.
David Husaini, tekn. kand.
Tampereen teknillinen yliopisto,
Rakenteiden elinkaaritekniikka
www.tut.fi/elinkaari

Suomessa on suunnilleen 14700 Liikenneviraston hallinnoimaa siltaa. Kun siihen lisätään kaupunkien ja kuntien omistamat sillat, niin Suomen kokonaissiltamäärä on luokkaa 30000 kappaletta. Eri aikakausina rakennetuissa silloissa on käytetty kantavien osien rakennusmateriaalina luonnonkiviä, puuta, betonia ja terästä. Suurimmalta osaltaan Suomen sillat ovat melko nuoria - yli 95 % sillastosta on rakennettu 1960 luvulla tai sen jälkeen. Suurimmalta osin sillat on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin koko muukin Suomen infrastruktuuri on suurelta osin tehty. Suurimmalta osin siltojen kantavana rakenteena ja vielä suuremmalta osin kannen rakenteena on käytetty erilaisia teräsbetonirakenteita. Jännitettyjen ja teräsbetonisiltojen osuus on 67 % koko siltakannasta. [1]. Tämän lisäksi teräsbetonirakenteet muodostavat merkittävän osan puu- ja terässiltojen alusrakenteista, mikä tarkoittaa betonin vielä suurempaa osuutta koko siltakannassa.

Suomen siltakannalle tehdään säännöllisesti viiden vuoden välein silmämääräinen tarkastus selkeän ohjeistuksen mukaan. Sillantarkastuksen tiedot kootaan Siltarekisteriin, mistä on mahdollista saada ajantasaista tietoa siltakannan korjaustarpeista. Sillantarkastuksessa havaittujen vaurioiden perusteella tarkastaja voi esittää sillalle tehtäväksi erikoistarkastusta, minkä perusteella käynnistetään korjaushanke. [2]. Tässä artikkelissa tarkastellaan sillan erikoistarkastusraporttien ohuthietutkimusten perusteella alkalikiviainesreaktion yleisyyttä Etelä-Suomen silloissa sekä alkalikiviainesreaktioon johtaneita tekijöitä.

Alkalikiviainesreaktioista

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 kestävää. VTT Expert Services Oy:n esiselvityksessä on viime vuosina kuitenkin todettu useita AKR-tapauksia. [3]. Havaintojen takia epävarmuus kiviaineksen yleisesti erinomaista laatua kohtaan on kasvanut ja AKR:n esiintymisestä ja ilmiön laajuudesta Suomessa on noussut huoli.

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. Jo 1940-luvulla Yhdysvalloissa on havaitusta alkalikiviainesreaktiosta tunnistetaan kolme erilaista tyyppiä: alkalipiidioksidireaktio, alkalisilikaattireaktio ja alkalikarbonaattireaktio. [4].

Yleensä alkalikiviainesreaktio tarkoittaa betonin hidasta vaurioitumista. Vaurioitumisnopeuteen vaikuttavat reagoivan kiviaineksen lisäksi sementin määrä ja tyyppi sekä betonirakenteen vallitsevat olosuhteet. Kirjallisuuden mukaan pii-pitoisilla kiviaineksilla vaurioituminen etenee nopeammin, jopa 2-5 vuodessa, kun hitaasti reagoivilla hiekka- ja

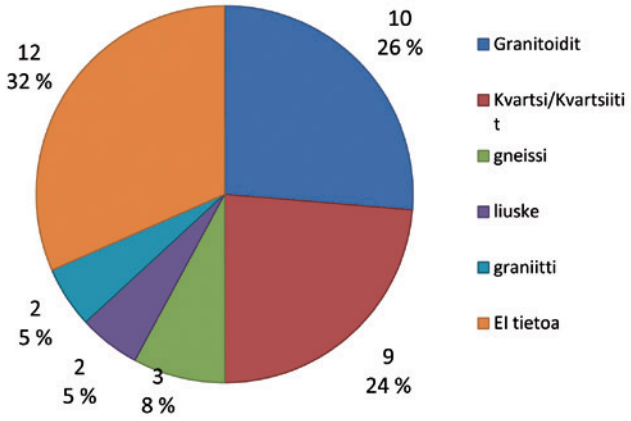
1 Alvettulan silta on teräsbetoninen, vuonna 1916 valmistunut suojeltu kaarisilta Hämeenlinnan Hauholla, Alvettulan kylässä. Silta on 2-kaarinen ja sen kokonaispituus on 71,5 metriä ja hyötyleveys 5 metriä. Sen rakennustapa on erikoinen: silta on koottu betonisista onteloharkoista.

2 Ratinan silta korjauksen jälkeen vuonna 2013. Ratinan silta on 1959 valmistunut, Tampereella sijaitseva betonirakenteinen holvikaarisilta, joka ylittää Tammerkosken Ratinanniemen kohdalla. Sillan pituus on 152 meträ josta 50 metriä tulee siltakaaren osalle. Siltaan liittyy Nalkalan puolella 61,8 metriä pitkä kuusiaukkoinen maasilta ja Ratinanniemen puolella 40,4 metriä pitkä neliaukkoinen maasilta. Sillan leveys on 30 metriä josta ajokaistoille on 21 metriä ja keveyen liikenteen väylille 8,5 metriä.. Ratinan sillan suunnitteli professori *Herman Ossian Hannelius.*

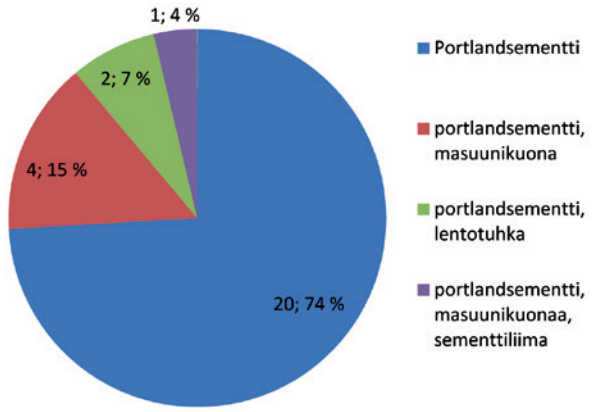
1

2

Kuva A. Ohuthietutkimuksissa havaitut reagoivat kiviainekset.



Kuva B. Sementtityppijakauma silloissa, joissa havaittiin ASR.



kalkkikivillä reaktio voi kestää 10-20 vuotta. [4]. Suomalaisissa aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että meidän ilmastossa ja suomalaisilla betonilaaduilla alkalikiviainesreaktiota on havaittu vasta 30–40 vuoden käyttöiän jälkeen. [5, 6]

Tutkimusaineistona siltojen erikoistarkastusraportteja

Tämän tutkimuksen aineisto koostui 97 sillan erikoistarkastusraportista. Tutkimukset oli tehty vuosina 2001–2014 Etelä-Suomessa sijaitseviin betonisiltoihin, jotka olivat valmistuneet välillä 1912–1999. Pääosa silloista on vuosilta 1960–1979.

Sillan erikoistarkastuksen pääasiallisena tavoitteena on tuottaa tietoa sillankorjauksen suunnittelun lähtöaineistoksi. Tätä tutkimusta varten raporteista haettiin seuraavia tietoja:

- missä silta sijaitsee
- esiintyykö kohteessa alkalikiviainesreaktiota
- minkä ikäinen silta oli havainnon tekoaikana
- sementin ja reagoivan kiviaineksen tyyppi.

Alkalipiidioksidireaktio yllättävän yleistä 1970-luvun silloissa

Kaikkiaan 27 sillan ohuthietutkimuksissa oli havaittu alkalikiviainesreaktiota. Jokaisessa kohteessa reaktiotyypiksi oli tunnistettu alkalipiidioksidireaktio. Reaktion astetta tai laajuutta ei raporttien perusteella ollut mahdollista saada selville. Kokonaisuutena reaktiota havaittiin 28 % tutkimusaineistosta. Yleisintä sekä määrällisesti että suhteellisesti AKR oli 1970-luvulla rakennetuissa silloissa, 42 % koko tutkimusaineistosta. Yllättävä havainto oli, että suhteellisesti toiseksi eniten AKR taoauksia oli 1980-luvulla rakennetuissa silloissa (37 %) ja vasta sitten 1960-luvun silloissa (18). Koko havaintoaineistossa sillan ikä oli 39 vuotta AKR:n havaintohetkellä.

Reagoiva kiviaines vaihteli huomattavan paljon. Suurimman yksittäisen ryhmän tunnistetuista kiviaineksista muodosti erittäin stabiilina pidetyt granitoidit ja toisen suuren ryhmän kvartisi/kvartsiitti. Huomionarvoista oli myös se, että 32 % reagoiva kiviaines oli jäänyt tunnistamatta (ks. kuva A). Silloissa esiintyi alkalipiidioksidireaktiota koko sillä alueella, josta tutkimusraportit oli koottu, joten paikallinen kiviaines ei ollut merkittävä selittäjä havaintoihin.

Portland-sementti yleisimmin mukana reaktiossa

Tyypillisin ohuthietutkimuksissa havaittu sementtityyppi oli Portland-sementti (OPC), jonka osuus oli peräti 77 % tapauksista. Toisaalta tämä on hyvinkin oletettavaa, sillä vanhoissa silloissa se on ollut yleisimmin käytetty sementti. Toiseksi yleisin reagoiva sementti oli masuunikuonasementti (15 %) ja kolmantena lentotuhkaa sisältävä sementti (7 %). On hyvä muistaa, että masuunikuonaa ja lentotuhkaa sisältävät sementit sisältävät kuitenkin vähintään 50 % Portland-sementtiä.

Portland-sementtiklinkkerin alkalipitoisuus koostuu natriumista ja kaliumista, jotka ovat peräisin raakamateriaalista sekä klinkkerinpolton epäpuhtauksista. Sementin alkalipitoisuus ilmoitetaan yleensä Na_2O-ekvivalenttina [%]:

$$Na_2O_{EQ} = Na_2O\ \% + 0{,}658\ K_2O\ \% \qquad (1)$$

Suomalaisen Portland-sementin Na_2O_{EQ} on välillä 0,80-0,95 %, kun ulkomaisissa ohjeissa alkalikiviainesreaktioriskin kannalta ylärajana pidetään 0,6 %. Seossementeillä tehdyissä betonirakenteissa alkalikiviainesreaktiota on havaittu vähemmän kuin Portland-sementeillä

2

3

4

5

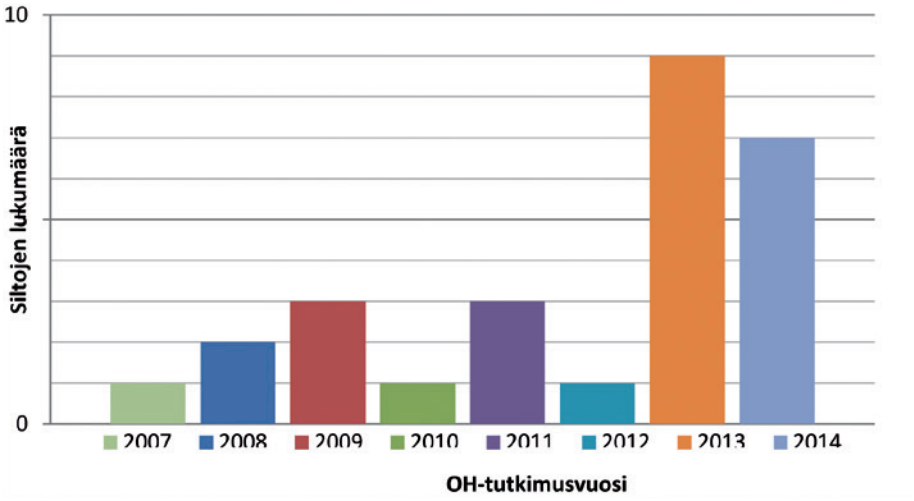
2 Särkijärven silta Tampereella yhdistää Vuoreksen ja Lahdesjärven kaupunginosat ylittäen Särkijärven.Silta valmistui vuonna 2011. Sillan pituus on 310 metriä ja leveys 12 metriä. Rakenteeltaan silta on kolmijänteinen teräsbetonikantinen liittorakenteinen teräspalkkisilta. Sillan pilareiden jännevälit ovat 72, 96 ja 72 metriä. Sillan on suunnitellut Pontek Oy ja sillan on rakentanut Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy.

3 Havaitut ASR tapaukset Etelä-Suomessa.

4 Siltarakenteen kuntotutkimus käynnissä.

5 Sillan päällysteen korjaaminen.

Kuva C. Havaittujen ASR tapausten määrä eri vuosina.



tehdyissä rakenteissa pienemmän reagoivan alkalimäärän vuoksi (Punkki & Suominen 1994).

Päätelmiä

Alkalikiviainesreaktio ei Suomessakaan ole enää täysin tuntematon ilmiö. Myös suomalainen kiviaines reagoi korkeassa kosteus- ja alkalipitoisuudessa rapauttaen betonia. Reaktion esiintymistä edesauttaa suomalaisen sementin varsin korkea alkalisuus sekä Portland-sementin suuri käyttö vanhoissa rakenteissa. Reaktiot ovat kuitenkin erittäin hitaita johtuen varsin kylmästä ilmastosta ja siitä, että betonirakenteet pääsevät välillä myös kuivumaan. Ilmaston muuttuessa tulevaisuudessa nykyistä sateisemmaksi voidaan ennustaa myös alkalikiviainesreaktiohavaintojen lisääntyvän samaan aikaan ikääntyvän siltakannan kanssa.

Lähteet

[1] Tiesillat 1.12010. Liikennevirasto tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. 2010. Helsinki. Liikennevirasto, Liikennevirasto tilastotietoja 3/2010. 90 p.

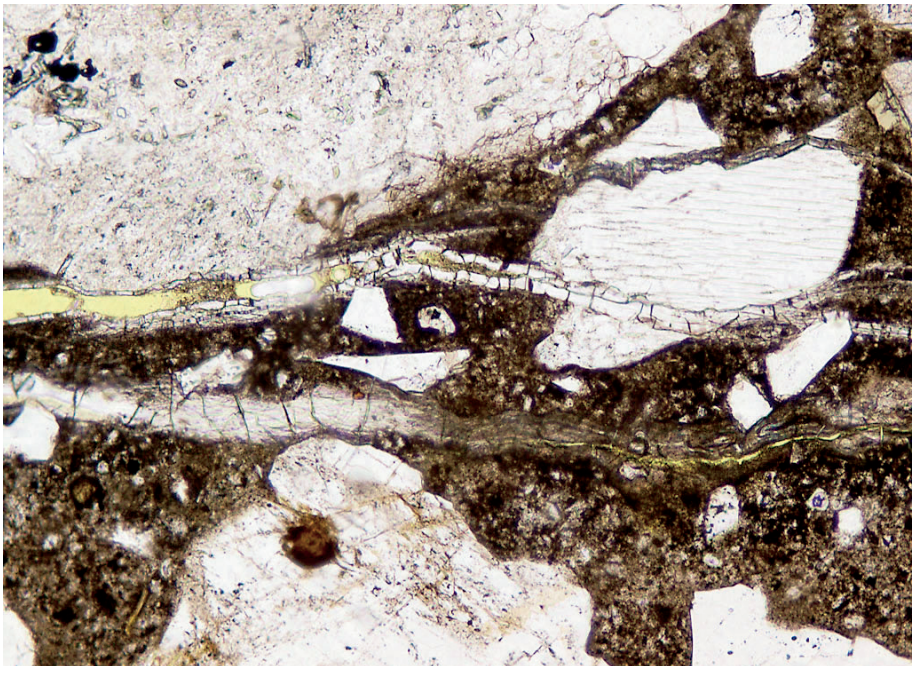
[2] Sillantarkastuskäsikirja. 2013. Helsinki. Liikennevirasto, Liikennevirasto ohjeita 26/2013. 142 p.

[3] Pyy, H., Holt, E., Ferreira, M. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa. VTT. Helsinki. Report VTT-CR-00554-12/FI. 27 s.

[4] Gjørv, O. E. 2009. Durability design of concrete structures in severe environments. Taylor & Francis. 220 p.

[5] Punkki, J., Suominen, V. 1994. Alkalikiviainesreaktio Norjassa – ja Suomessa? Betoni 2/1994. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy. s. 30-32.

[6] Lahdensivu, J., Aromaa, J. 2015. Repair of alkali aggregate reaction damaged swimming pool. Case Studies in Construction Materials. Vol. 3. Pp. 1-8.



TTY

6 ASR ohuthieessä. Kuva Arto Koskiahde/Betonialan ohuthiekeskus FCM Oy.

Alkali-aggregate reaction in bridges in southern Finland

The alkali-aggregate reaction (AAR) is a chemical reaction which occurs between certain minerals found in aggregates and the alkaline and hydroxyl ions contained in the pore water of the cement paste.

The Tampere University of Technology studied the alkali-aggregate reaction in 97 bridges. AAR was found in 28% of the research material. AAR is most commonly found, both quantitatively and proportionally, in bridges built in the 1970s; these accounted for 42% of the entire material. A surprising finding was that the second highest number of AAR cases were found in bridges built in the 1980s, more than in bridges from the 1960s. In the entire research material, the average bridge age when AAR was observed was 39 years.

AAR is quite poorly known in Finland. It is a common belief that the alkali-aggregate reaction does not occur in Finland and that the aggregates are strong and durable in physical, mechanical and chemical terms. However, several AAR cases were identified in the pre-study carried out by VTT Expert Services Oy.

So Finnish aggregates also do react at high humidity and alkali levels, causing weathering of concrete. The fairly high alkalinity of Finnish cement and the wide use of Portland cement in old structures also contribute to the occurrence of the reaction.

However, the reactions are extremely slow due to the cold climate and the fact that concrete structures are not wet all the time. With the ageing of bridge decks and the simultaneous increase in precipitation, we can expect a higher number of identified alkali-aggregate reaction cases.