

Alkalno-silikatna reakcija v betonu

Alkali-Silica Reaction in Concrete

A. Mladenovič¹, N. Vižintin, ZRMK, Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-11-22

Alkalno-silikatna reakcija (ASR) je kemična reakcija med alkalijami, ki se sproščajo ob hidrataciji cementa, in reaktivnimi minerali oziroma kamninami v zrnih agregata. Pri reakciji nastaja nabrekli gel, ki povzroča poškodbe betona. Reaktivne komponente so zlasti kamnine in minerali, ki vsebujejo aktivni silicijev dioksid. V članku povzemamo rezultate preiskav metamorfnih silikatnih kamnin v prodnatih nanosih Mure in Drave, ki so jih spodbudila nova spoznanja o mehanizmih in vzrokih ASR v svetu.

Ključne besede: agregat, reaktivni minerali in kamnine, cement, alkalno-silikatna reakcija

Alkali silica reaction (ASR) is a chemical reaction between alkalies in cement and certain responsive minerals and rocks types in the aggregate. The reaction produces an expansive gel which can cause expansion and cracking of concrete. Reactive components are rocks and minerals containing metastable silica. Some more detailed data are provided about possible reactive components in the sand and gravel of the rivers Mura and Drava, based on new knowledge about ASR.

Key words: aggregate, reactive minerals and rocks, cement, alkali-silica reaction

1 Uvod

Beton je nedvomno eden od najpomembnejših gradbenih materialov. Njegova kakovost je odvisna od kakovosti sestavin (agregat, cement, voda, dodatki) ter tehnologije izdelave in vgradnje. Pri poškodbah betona je zato vpliv posameznega dejavnika pogosto težko razmejiti. Pri betonih, ki so izpostavljeni atmosferskim vplivom, je kot možen vzrok potrebno obravnavati tudi alkalno-silikatno reaktivnost (ASR). Natančno poznavanje zakonitosti reakcije in sestavin betona sta pogoja za oblikovanje preventivnih smernic, na podlagi katerih bi bilo možno omenjeno reakcijo v betonu preprečiti ali omiliti.

Z namenom, da bi ugotovili, ali lahko steče ASR v betonih tudi pri nas, so bile že pred časom opravljene sistematične raziskave^{5,6,7}. Tedaj smo ugotovili, da je, ob spremljanju sestave prodnatih in drobljenih agregatov ter kontroli cementov, verjetnost poškodb betonov zaradi ASR razmeroma majhna.

Naraščanje vsebnosti alkalij v cementu, uporaba betonov z več cementa, uporaba kakovostno mejnih agregatov in zlasti vedno nova poročila o poškodbah betonov, izdelanih iz agregatov, ki so še do nedavno veljali za razmeroma stabilne, so bili povod za ponovno presojo nevarnosti ASR v Sloveniji. V članku podajamo preliminarnе rezultate preiskav.

2 Teoretične osnove

Alkalno-silikatna reakcija (ASR) je kemična reakcija med zrnimi kamenega agregata, ki vsebuje reaktivne komponente in alkalnimi hidroksidi^{1,2}.

Potencialno reaktivne komponente so vse silikatne sestavine v agregatu. Izjemno hitro in močno reagirajo z

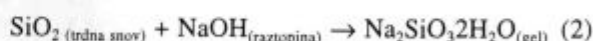
alkalijami predvsem minerali, ki jih gradi metastabilna kremenica (opal, tridimit, kristobalit) in vulkansko steklo. Nekoliko manj reaktivni so kalcedon in kriptokristalni do mikrokristalni različni kremena (reaktivnost je sorazmerna številu mej med zrnji na površinsko enoto³) ter kremen z deformirano kristalno mrežo ali sekundarnimi vključki. Po analogiji so potencialno nevarne za beton tako tudi vse kamnine, v katerih nastopajo omenjeni minerali ali vulkanska stekla (kisle predornine in njihovi tufi, roženec, metamorfozirane kamnine s kremenom, zeoliti itd.).

Alkalna raztopina se v porni prostor cementne paste sprošča ob hidrataciji portland cementa. Vsebnost alkalij v cementu kvantitativno izražamo kot Na₂O ekvivalent v % m/m in jo določimo na osnovi enačbe:

$$(\text{Na}_2\text{O})_e = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \times (\text{K}_2\text{O}) \quad (1)$$

Alkalije se lahko izlužujejo tudi iz dodatkov betonu, iz zrn agregata, ali pa so v beton vnesene kasneje, ko je izpostavljen delovanju različnih soli.

Po Frenchu³ je poenostavljena razlaga mehanizma alkalno-silikatne reakcije v betonu izražena z enačbo:



Aktivni SiO₂ reagira z alkalnimi hidroksidi, pri čemer nastaja alkalno-silikatni gel, ki ima sicer nekoliko variabilno sestavo. Ta je odvisna od količine alkalij v cementu in od aktivne kremenice, ki je na razpolago. Vlaga in temperatura sta katalizatorja reakcije. Gel ima neomejeno sposobnost sprejemanja vode. Povečanje prostornine gela in s tem prostornine betona spremlja pojav notranjih pritiskov, ki vodijo do tvorbe karakterističnih mrežastih razpok, iz katerih se izloča gel v obliki belega prahu. Poškodbe, nastale zaradi alkalno-silikatne reakcije, znižajo trdnostne in elastične lastnosti in pospešujejo druge škodljive procese v betonu. Skozi nastale razpoke je omogočen dostop vodi z različnimi škodljivimi reaktanti, ki pospešujejo propadanje objekta.

¹ Ana MLADENVIČ, dipl.inž.geol.
Zavod za gradbeništvo - ZRMK
1000 Ljubljana, Dimičeva 12

3 Eksperimentalni del z rezultati

Pri oceni potencialne nevarnosti ASR v betonu so podatki o cementu in agregatu najpomembnejši parametri.

V **tabeli 1** podajamo vsebnost alkalij (kot Na_2O ekvivalent) v naših cementih:

Tabela 1: Vsebnost alkalij v slovenskih portland cementih

TIP CEMENTA	$(\text{Na}_2\text{O})_e$ % m/m	
	min.	max.
PC 45	0,83	0,90
PC 15z45T	0,88	0,94
PC 30dz45T	0,85	1,02
PC 15z45A	0,82	0,94
PC 30dz45A	0,94	1,00

Vsebnost alkalij v cementih pri nas ni omejena s standardi ali pravilniki. Na mednarodni ravni je na podlagi eksperimentalnih raziskav¹ in terenskih opazovanj oblikovan kriterij oziroma smernica, po kateri je pri cementih, ki vsebujejo manj kot 0,6% m/m $(\text{Na}_2\text{O})_e$, nevarnost reakcije s silikatnim agregatom zanemarljiva. Količina alkalij v naših portland cementih presega omenjeno vrednost in jih moramo zato obravnavati kot potencialno reaktivno komponento betona.

Za pripravo betonskih agregatov uporabljamo v Sloveniji drobljene karbonatne kamnine iz kamnolomov tehničnega kamna in prodnat material iz gramoznic. Z mineraloško-petrografskimi analizami po JUS B.B8.004⁸, ki jih opravljamo v okviru certificiranja frak-

cij kamenega agregata za beton in asfalt, ugotavljamo, da je prod porečij Save, Soče in Savinje pretežno karbonaten z zelo malo silikatnih primesi. V dravskemrodu količina silikatnih sestavin niha med 40 in 60% m/m. Murski prod je v celoti sestavljen iz silikatnih sestavin. V **tabeli 2** je predstavljena mineraloško-petrografska sestava prodnatih materialov s porečij Save, Drave in Mure.

Sestavine, sumljive za ASR, so vsi magmatski različki, med sedimentnimi kamninami roženec in tuf, od metamorfni kamnin pa predvsem tiste, ki vsebujejo kremen (gnajs, kvarcit, blestnik).

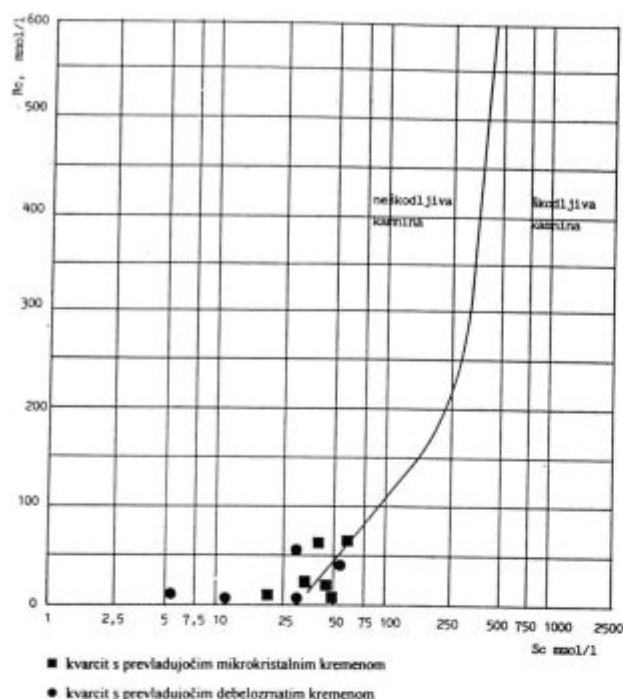
Odločitev, da smo težišče raziskav ASR usmerili na metamorfne sestavine v dravskem in murskemrodu, izhaja iz treh dejstev:

- pri betonih, v katerih je kot agregat uporabljen dravski ali murski prod, se občasno pojavljajo poškodbe, in v splošnem veljajo za manj obstojne v primerjavi z betoni, v katerih je uporabljena druga vrsta agregata
- vsebnost metamorfni komponent sicer niha, občasno pa doseže tudi 40% m/m
- preveriti želimo, ali ugotovitve, da procesi metamorfoze deformirajo kristalno mrežo kremenca v kamninah, kar povečuje topnost kremenca v alkalijah², in ugotovitve, da se topnost kremenca povečuje z zmanjševanjem velikosti zrn⁴, veljajo tudi za metamorfne različke v naših prodih.

V prvi fazi smo ugotavljali, kako hitro in v kakšnem obsegu reagirajo z alkalijami zrna kvarcita. Z optičnim

Tabela 2: Petrografska sestava prodov in peskov v Sloveniji

Reka Sestavine (%)	SAVA				DRAVA				MURA			
	prod		pesek		prod		pesek		prod		pesek	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
MAGMATSKÉ KAMNINE												
keratofir, porfir	0,0	1,0	0,0	0,4	0,0	1,3	0,0	0,4				
andezit			0,0	1,1	0,1	0,8						
SEDIMENTNE KAMNINE												
apnenec, dolomit	80,4	91,9	71,2	84,7	15,0	37,7						
peščenjak	4,8	11,4	4,1	7,9	4,1	19,9	5,5	10,7	3,5	9,7	1,4	5,3
meljevec	0,8	3,8	1,7	4,3	0,2	3,7	1,5	4,6	0,0	6,5	0,0	3,5
skrilavec	0,0	1,1	0,0	1,8								
lapor	0,0	1,5	0,4	2,2	0,0	1,7	0,4	1,0				
roženec	0,0	1,4	0,3	2,5	0,1	2,4	0,8	2,5				
konglomerat					0,0	3,4						
tuf	0,5	3,5	0,6	3,1								
METAMORFNE KAMNINE												
kvarcit	0,0	0,4	0,0	0,9	3,0	10,5	2,0	6,3	1,3	12,5	1,5	3,6
gnajs					4,9	10,3	1,3	4,4	13,7	26,6	6,6	19,7
amfibolit					1,0	6,8	0,8	3,5	0,0	2,5	0,0	2,4
filit					0,0	1,1	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,0
blestnik					0,0	2,9	0,1	1,7	0,1	2,9	0,0	1,6
serpentin					0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,5
MINERALI												
kremen	0,3	3,2	3,2	7,8	29,3	51,7	53,6	61,8	56,0	75,1	71,5	82,4
sljuda			0,0	0,9	0,2	0,8	0,6	4,8	0,1	0,4	0,7	3,0



Slika 1: Rezultati kemične analize
Figure 1: Results of chemical test

mikroskopom smo ločili zrna kvarcita z ozirom na velikost zrn kremenca.

S kemijsko metodo po standardu JUS B.B8.056⁹ smo nato ločeno analizirali debelozrnate in mikrokristalne različke. Rezultate podajamo na diagramu (slika 1), kjer je Sc količina raztopljenega SiO₂, Rc pa zmanjšanje alkalnosti raztopine NaOH. Kriterij v obliki krivulje je določen eksperimentalno in je podan v standardu.

4 Diskusija rezultatov

Iz dobljenih rezultatov (slika 1) ugotavljamo, da kvarcit v prodnatih nanosih Mure in Drave ni alkalno inertna kamnina. Izražena je rahla tendenca povečane topnosti v alkalijah pri mikrokristalnih različkih. Na podlagi

veljavnih kriterijev smo ga uvrstili med mejne kamnine, ki zahtevajo nadaljnjo presojo uporabnosti po metodi JUS B.B8.057¹⁰, s katero skozi daljše obdobje spremljamo raztezke cementnih prizem in zaznamo tudi morebitne zakasnele reakcije.

5 Sklep

V prodnatih agregatih s porečij Drave in Mure so prisotne kamnine in minerali, ki v betonu v optimalnih okoliščinah reagirajo z alkalijami. To so predvsem metamorfozirani petrografski različki z visoko vsebnostjo kremenca. Preiskave smo razširili tudi na druge kamnine in kremenov pesek, istočasno pa simuliramo obnašanje reaktivnih komponent v cementnih prizmicah v daljšem časovnem obdobju.

6 Literatura

- ¹ D. W. Hobbs, *Alkali-silica reaction in concrete*. Thomas Telford, London, 1988, 183 str.
- ² L. Dolan-Mantuani, *Handbook of Concrete Aggregates*. Noyes Publications, New Jersey, 1983, 345 str.
- ³ P. E. Grattan-Bellew, Microcrystalline quartz, undulatory extinction the alkali-silica reaction. *The 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. London, 1992, 383-394
- ⁴ W. J. French, Reactions between aggregates and cement paste - an interpretation of the pessimum. *Q. J. eng. Geol. London*, 13, 1980, 213-247
- ⁵ B. Zatler, V. Ocepek, *Uporaba mineralnih agregatov z ozirom na namembnost in tehnološko tehnično vrednotenje za betone, malte, asfalte in tampone*. ZRMK, Ljubljana, 1980, 89 str.
- ⁶ B. Zatler, V. Ocepek, N. Vižintin, Ispitivanje alkalno silikatne reaktivnosti agregata u betonu. *Savetovanje Alkalna reaktivnost agregata u betonu*, Beograd 1984, 61-69
- ⁷ B. Zatler-Zupančič, A. Mladenovič, Alkali reactive components in the sand and gravel of the river Danube and its tributaries. *The 9th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*. London, 1992, 1121-1128
- ⁸ JUS B.B8.004, Kamni agregat, Ispitivanje mineraloško-petrografskog sastava. Savezni zavod za standardizaciju, Beograd 1986, 4 str.
- ⁹ JUS B.B8.056, Kamen i kamni agregat, Određivanje alkalno-silikatne reaktivnosti, Hemijska metoda, Savezni zavod za standardizaciju, Beograd 1986, 7 str.
- ¹⁰ JUS B.B8.057, Kamni agregat, Ispitivanje alkalno-silikatne reaktivnosti metodom sa malter prizmicama. Savezni zavod za standardizaciju, Beograd 1986, 6 str.