

Studium a možnosti prevence alkalicko-křemičité reakce v betonech pro CBK

Autor: Ing. Martin Janča



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ CHEMICKÁ
V BRNĚ

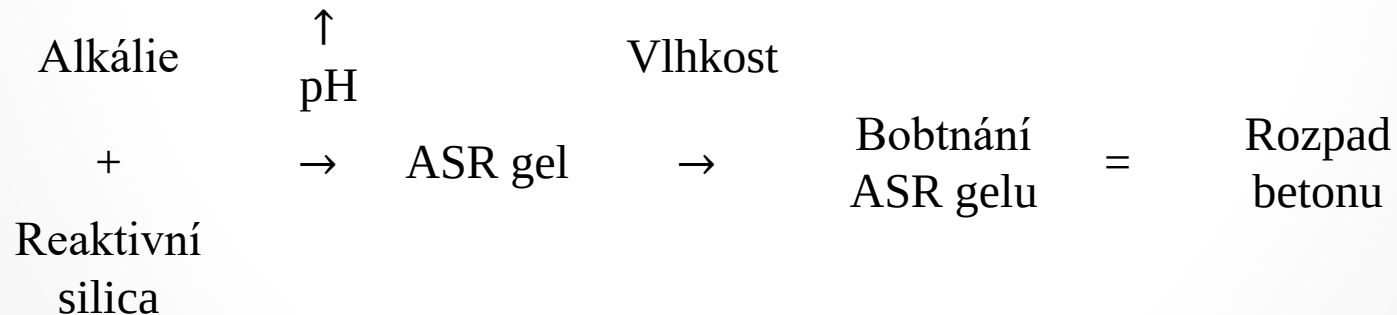
Obsah

- Alkalicko-křemičitá reakce
- Identifikace alkalicko-křemičitá reakce
- Hodnocení vzniku alkalicko-křemičité reakce
- Experimentální testování uvolňování alkálií z cementu
- Závěr

Alkalicko-křemičitá reakce

Tři složky nutné pro vznik ASR

- Reaktivní forma křemičitanu (kamenivo)
- Zdroj alkálií (cement, SCM, vnější zdroj)
- Vlhkost



Dopady vzniku ASR

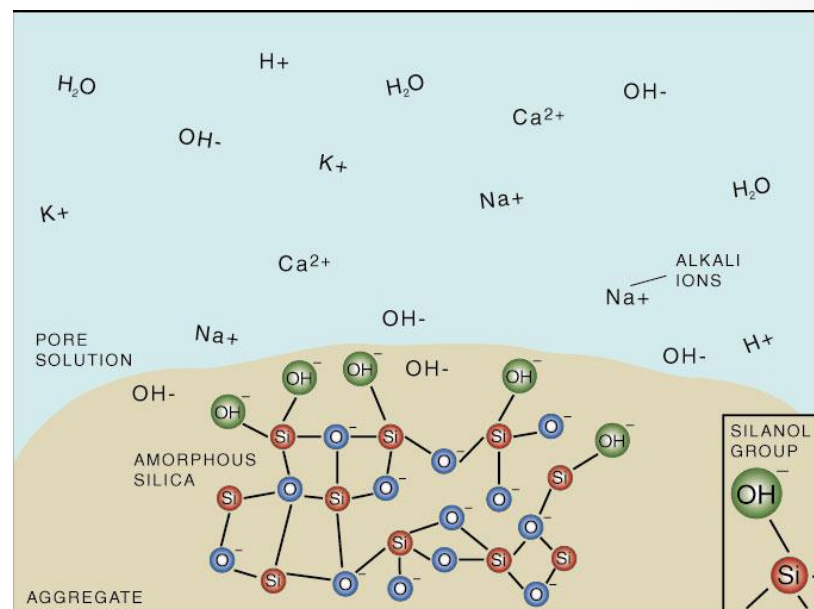
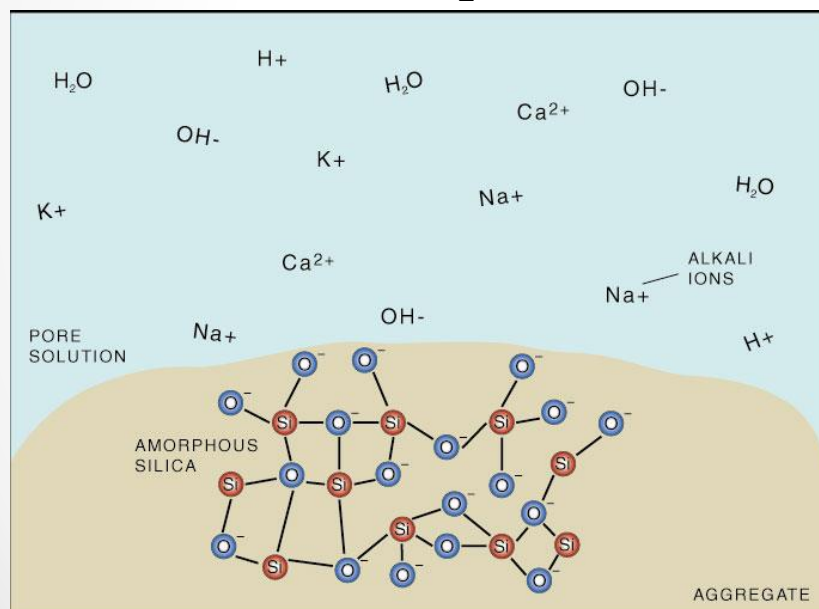
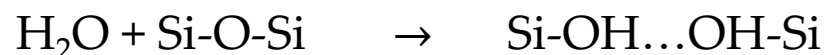
Důsledek na kvalitu betonu

- Ztráta pevnosti, tuhosti, nepropustnosti
- Předčasné selhání betonových konstrukcí

Ekonomické a environmentální dopady

- ASR snižuje životnost betonu
- Doprava nereaktivního kameniva

Reakce probíhá mezi OH ionty v pórovém roztoku a reaktivní formou křemičitanů.

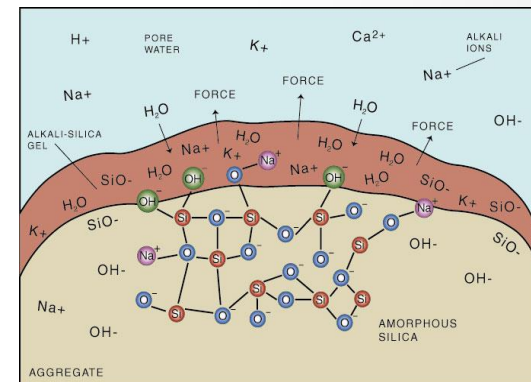
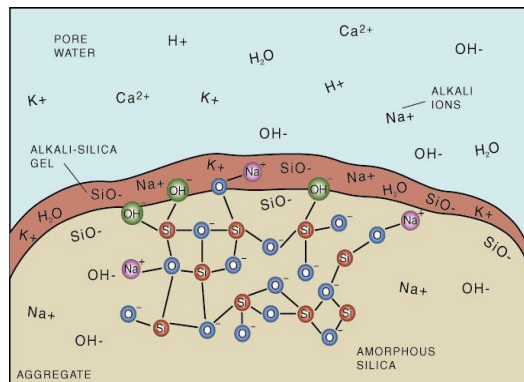
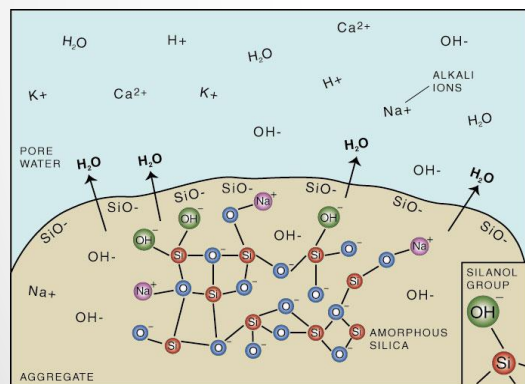


Zdroj: *Courtney Collins, Jason Ideker et al.

Dochází k rozpouštění reaktivního SiO_2 .

Rozpuštěné křemičitany se kombinují s alkáliemi za vzniku ASR gelu.

ASR gel absorbuje vodu a vzniká napětí.



Zdroj: *Courtney Collins, Jason Ideker et al.

Identifikace ASR

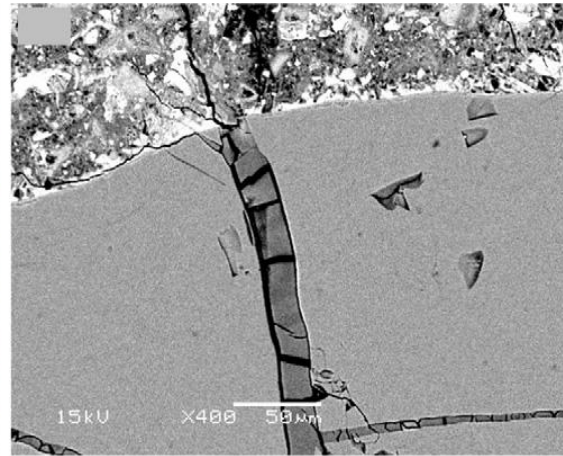
- Porušování betonové matrice se často popisuje jako mapové praskání.



*Dufresne, A., Arayro, J., Zhou, T., Ioannidou, I., Ulm, F.J., Pellenq, R., & Béland L. K. *J. Chem. Phys.* 149 (2018) 70

Identifikace ASR

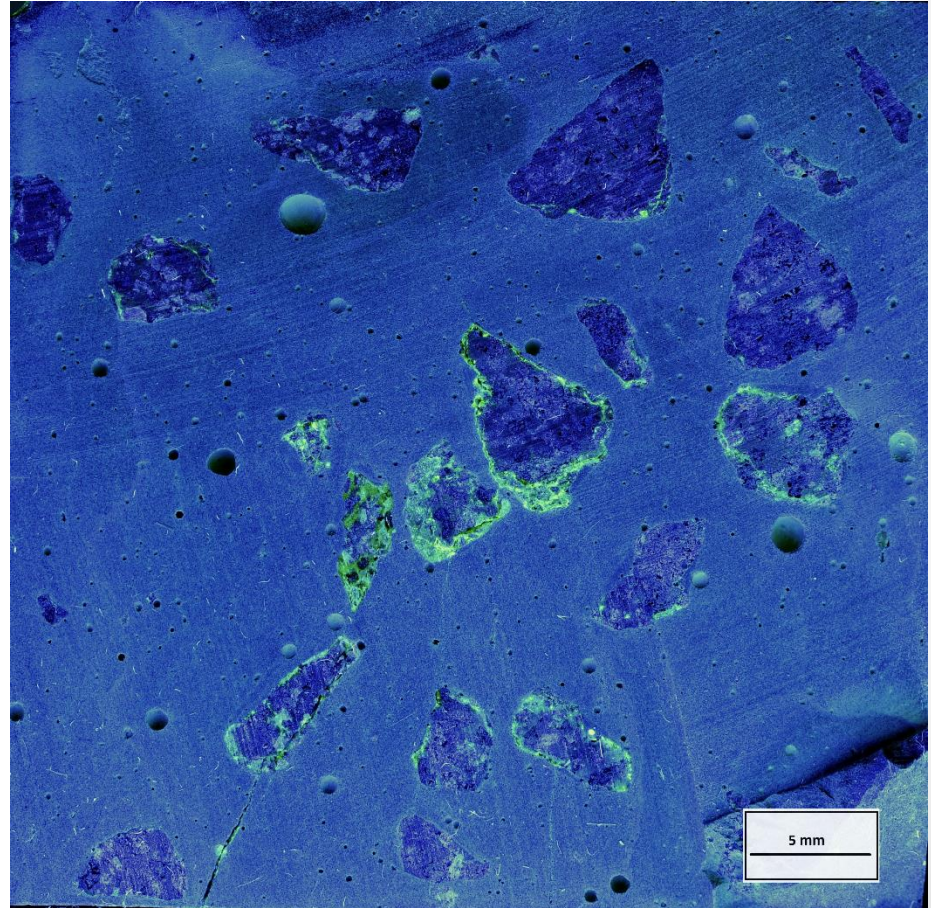
- ASR může probíhat jak na povrchu tak i prostřednictvím mikrotrhlin do středu kameniva.
- Vlevo rohovec a žulovité kamenivo, napravo sodno-vápenaté sklo.



*Farshad Rajabipour, Eric Giannini , Cyrille Dunant , Jason H. Ideker, Michael D.A. Thomas Cem Concr Res 76 (2015) 130 - 146

Identifikace ASR

- Uranyl acetátová metoda



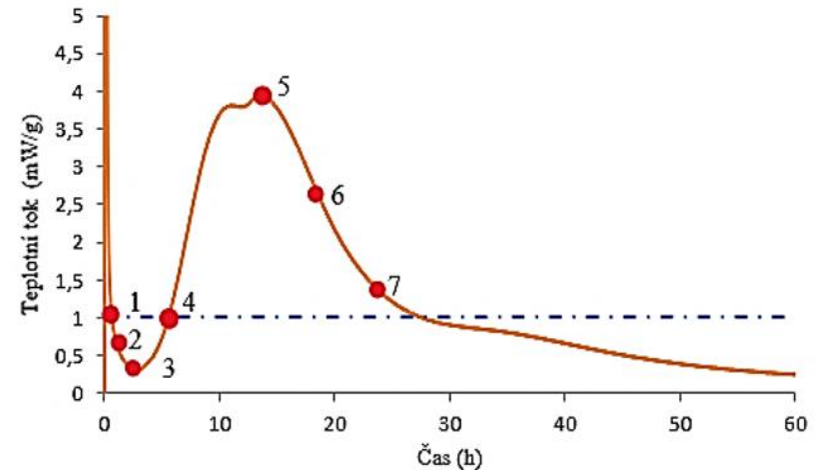
Hodnocení možnosti vzniku ASR

Analýza vstupních surovin.

- Sledování množství amorfní fáze v kamenivu
- Stanovení množství alkálií v použitém cementu
- Sledováno postupné uvolňování alkálií dle průběhu hydratace

Vzorek cementu	Zaokrouhlené časy pro daný odběr (h)					
	1	2	3	4	5	6
A CEM I 42,5 R	0:23	0:36	1:42	4:00	9:06	17:18
B CEM I 42,5 R	0:29	1:06	1:30	3:42	8:48	14:00
B CEM II/B-S 32,5 R	0:26	1:12	2:06	4:12	9:36	17:42
C CEM I 42,5 R (ra)	1:15	2:10	2:18	2:54	9:30	15:24
C CEM II/B-S 42,5 N	0:31	1:00	1:54	3:24	9:12	13:06
D CEM I 42,5 R	0:29	1:06	1:54	3:18	8:36	12:18
E CEM I 42,5 R	0:34	1:36	2:48	5:42	10:42	13:24
E CEM II/B-S 32,5 R	0:33	2:36	3:42	6:48	11:36	15:12
A CEM II/B-S 32,5 R	0:20	1:24	2:24	5:54	10:12	15:06
D CEM III/A 42,5 N	0:23	0:42	2:00	3:36	8:00	9:54

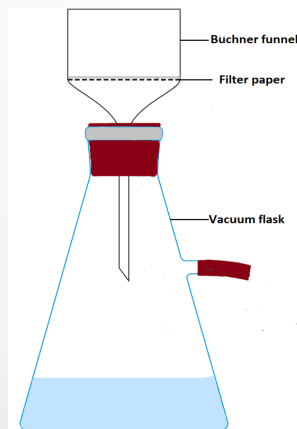
Odběry
po 1, 3 a
7 dnech



Analyzované cementy

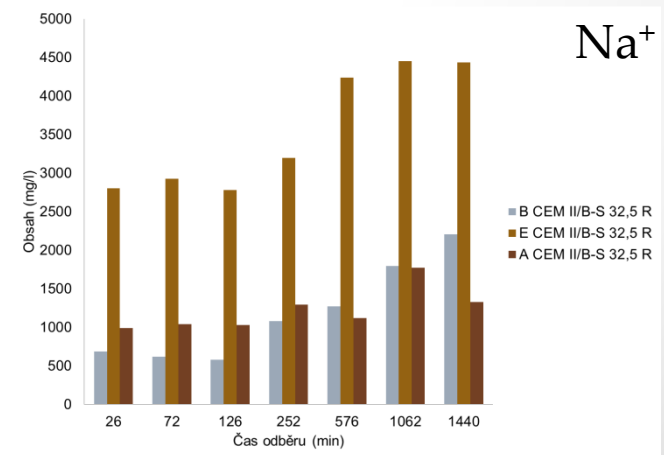
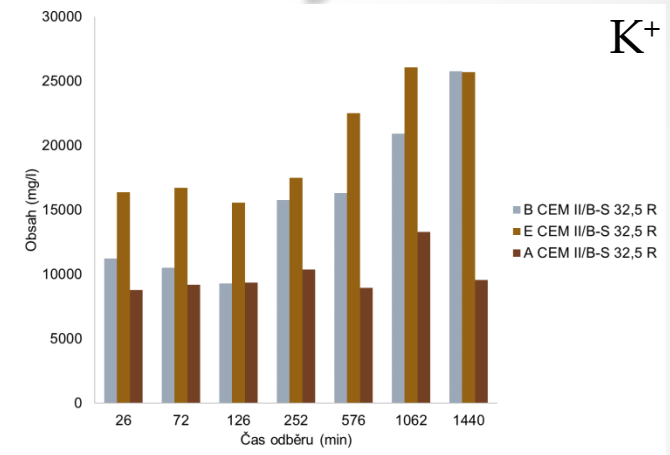
- Rozřazeny do dvou skupin dle pevnostních tříd.
- Odběr vzorku probíhal filtrací, případně lisováním v pozdějších fázích hydratace
- Koncentrace iontů měřena pomocí ICP-OES

Cement	Sodný ekvivalent (Na ₂ O eq.)
A CEM II/B-S 32,5 R	0,75
B CEM II/B-S 32,5 R	0,75
E CEM II/B-S 32,5 R	0,91
A CEM I 42,5 R	0,64
B CEM I 42,5 R	0,64
C CEM I 42,5 R (ra)	0,63–0,73
C CEM II/B-S 42,5 N	nevedeno
D CEM I 42,5 R	nevedeno
D CEM III/A 42,5 N	nevedeno
E CEM I 42,5 R	0,82



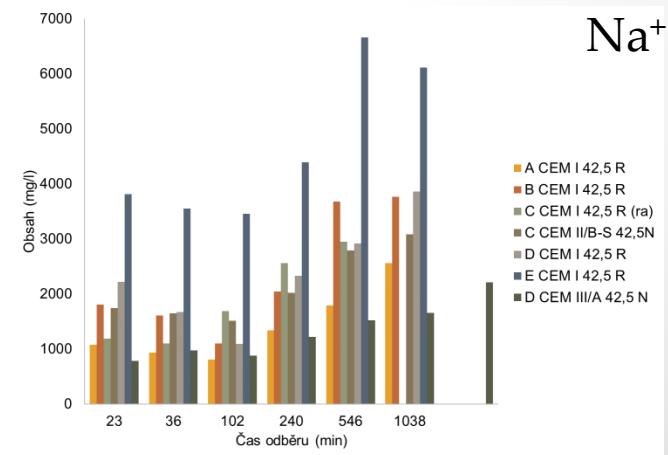
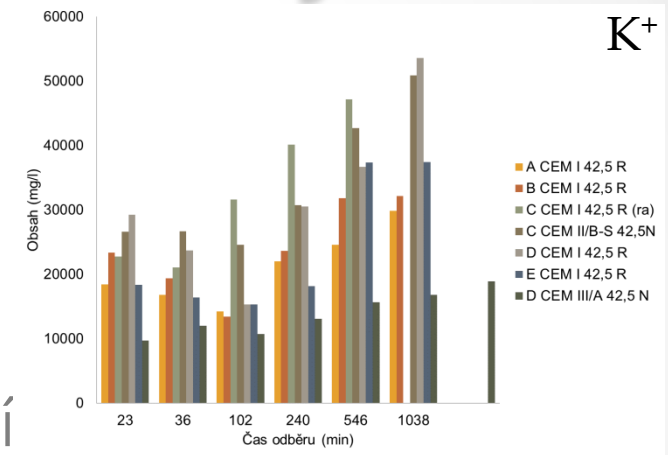
Cementy pevností třídy 32,5

- Nejvyšší hodnoty naměřeny u cementu E CEM II/B-S
- B a C dochází nárůstu alkálií
- A hodnoty alkálií kolísají, což může být způsobeno vysokou stupně sycení sírou nebo nepřesností měření



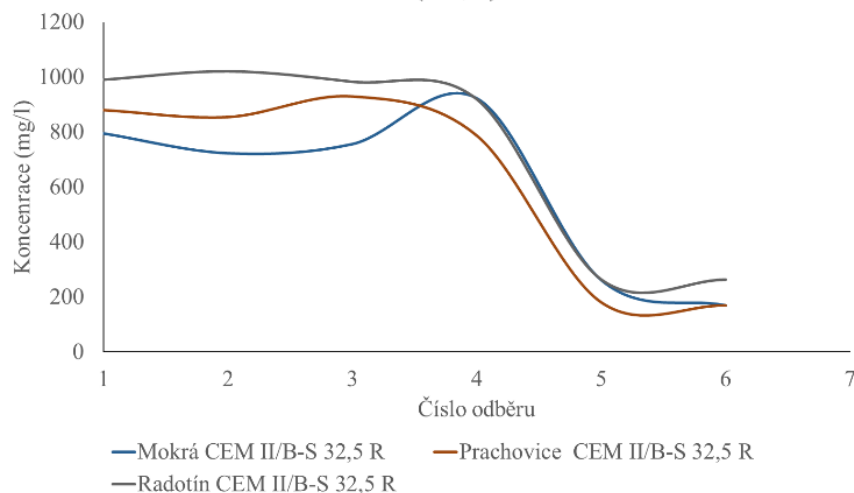
Cementy pevností třídy 42,5

- Nejnižší obsah alkálií vysokopecní cement D CEM III
- U cementů C došlo po druhém odběru k otočení poměru alkálií
- Nejvyšší hodnoty draselných alkálií dosáhnul cement D CEM I
- Nejvyšší hodnoty sodných alkálií dosáhnul cement E CEM I

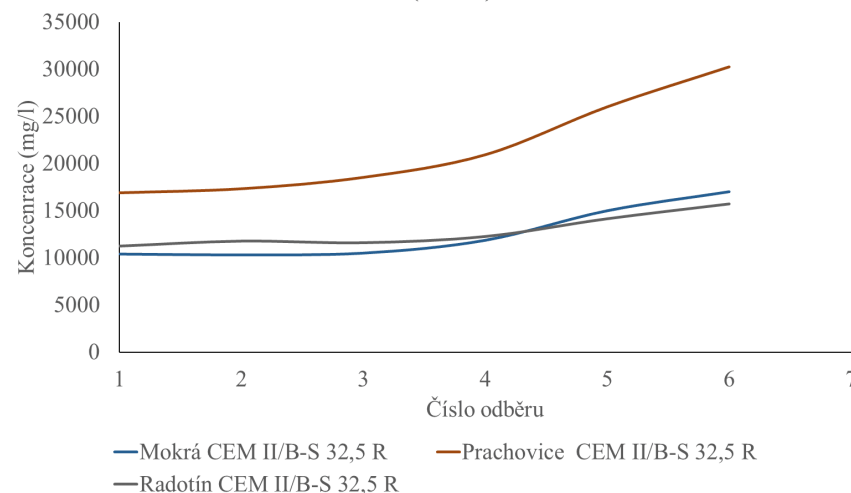


Vývoj koncentrace iontů u směsných cementů 32,5.

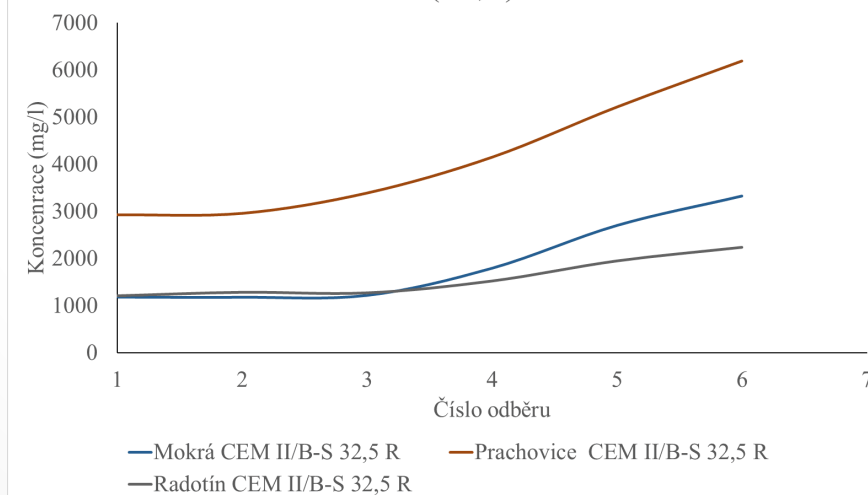
Ca (32,5)



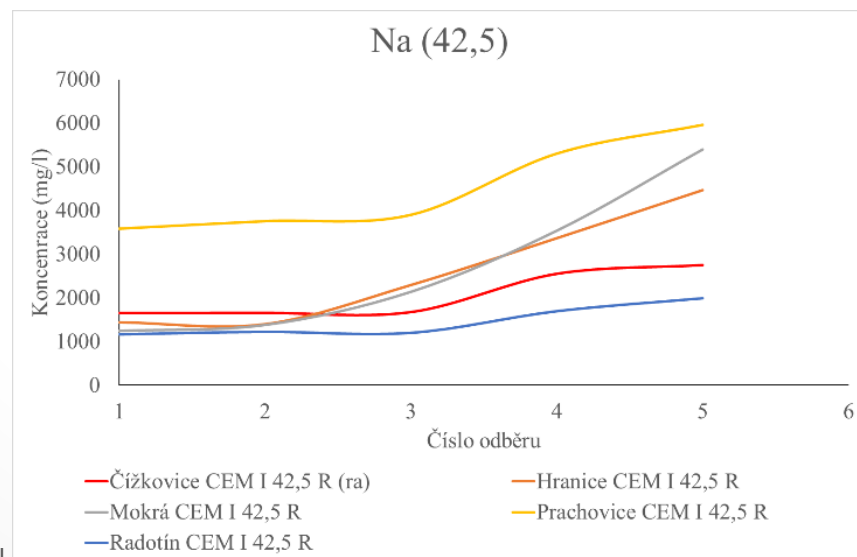
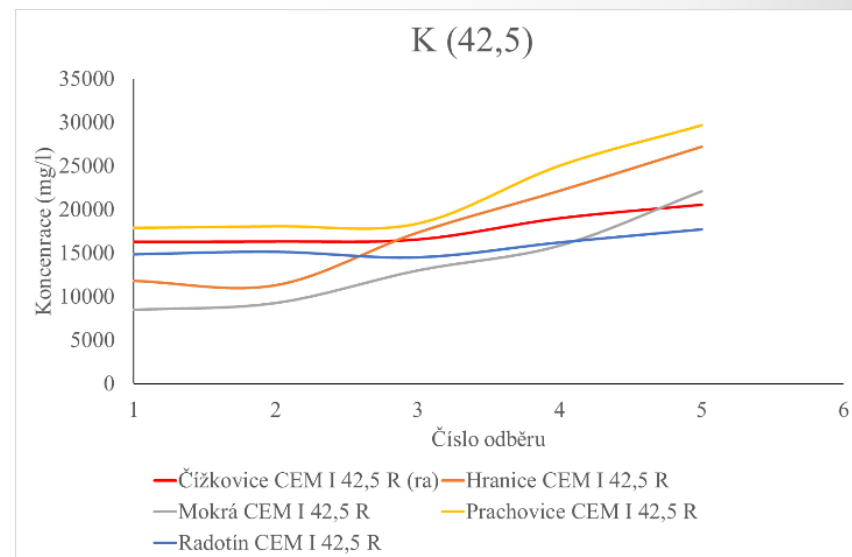
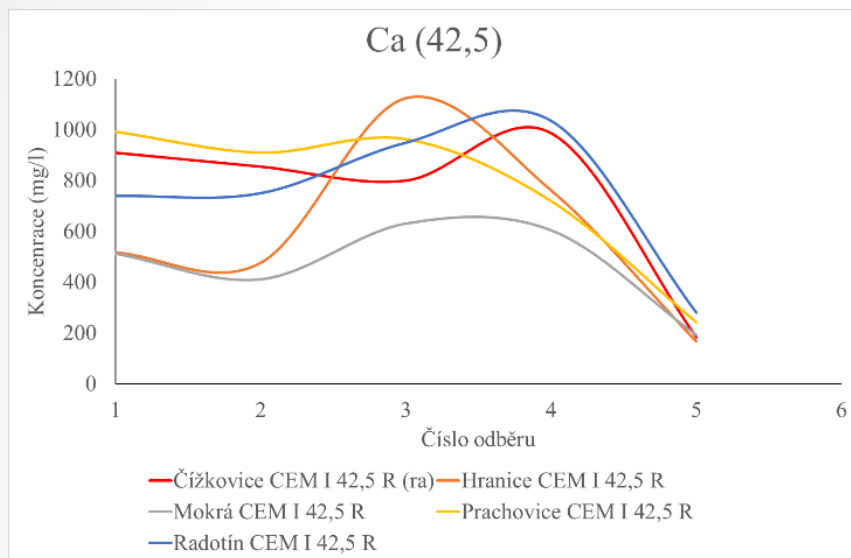
K (32,5)



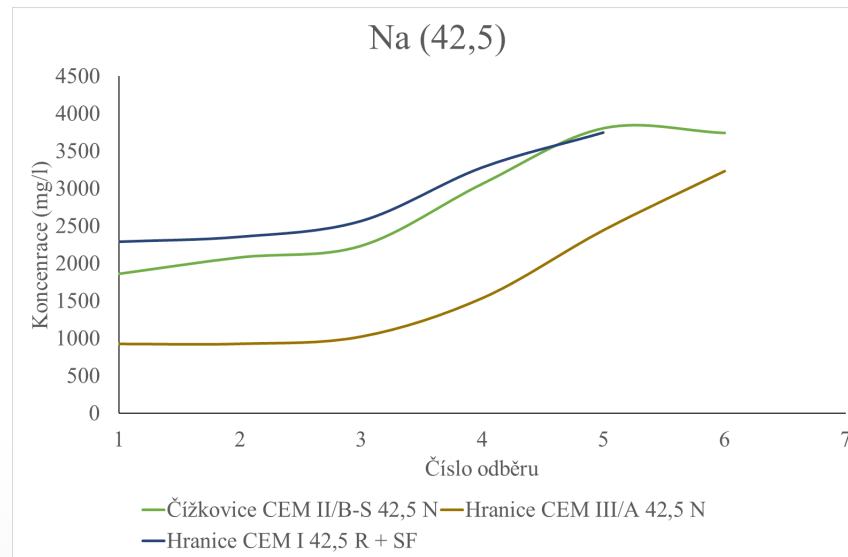
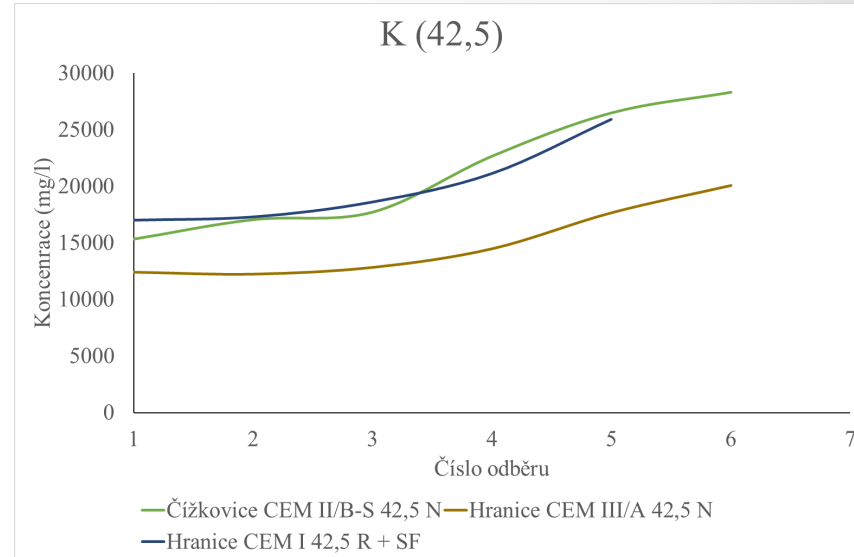
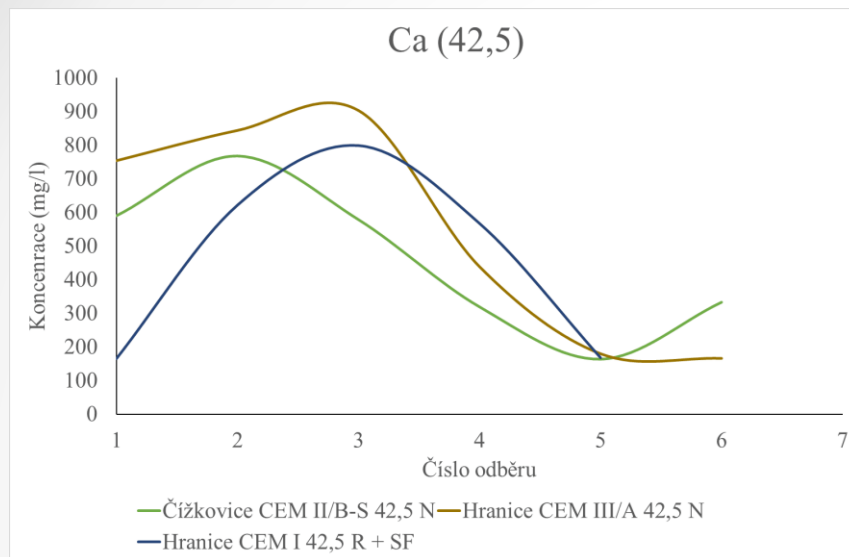
Na (32,5)



Vývoj koncentrace iontů u cementů CEM I 42,5 R

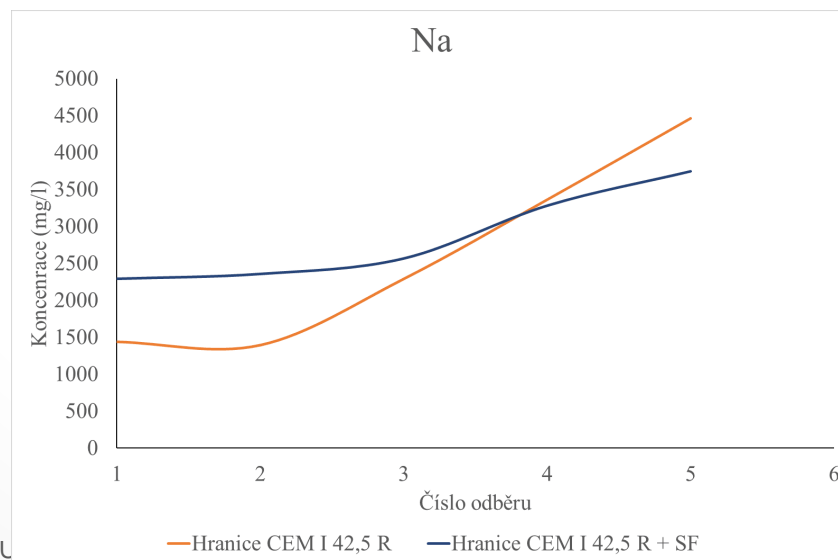
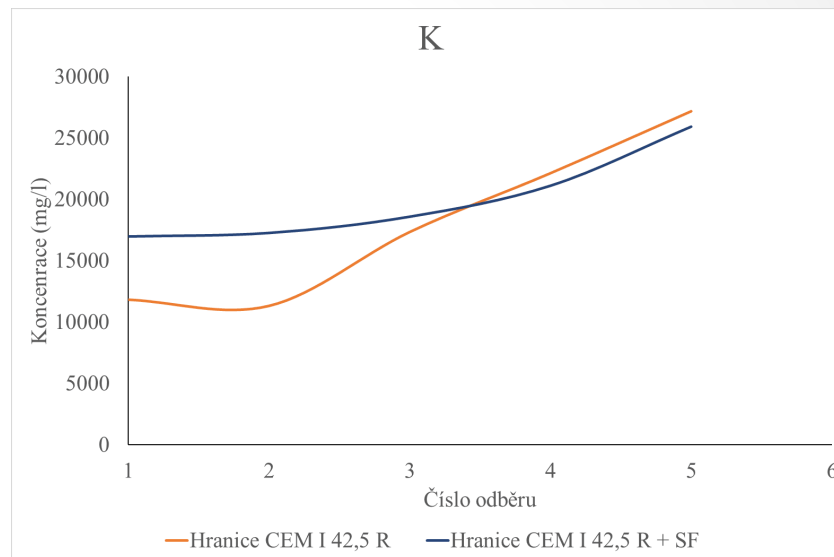
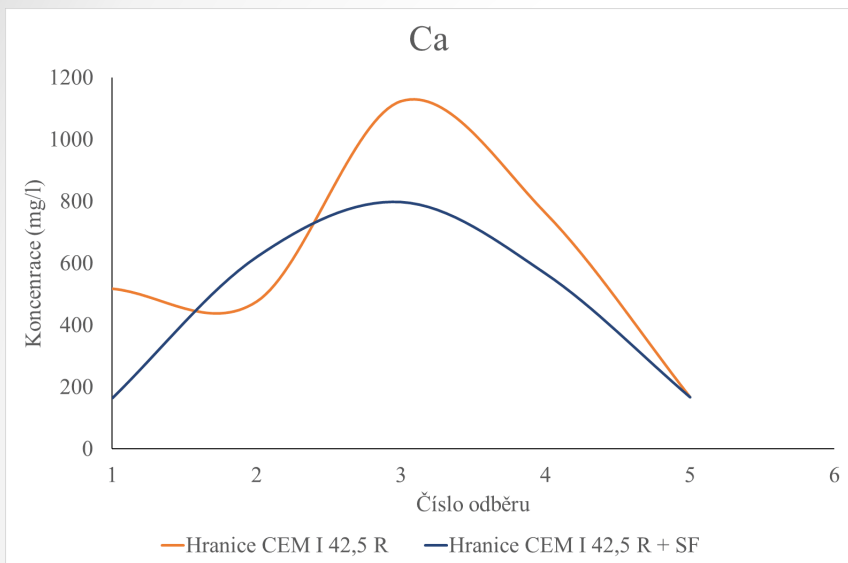


Vývoj koncentrace iontů u směsných cementů 42,5 R



Porovnání uvolňování iontů u cementu Hranice CEM I 42,5 R při 10% náhradě

cementu mikrosilikou.



Závěr

- U všech cementů byl naměřen přibližně 10 x vyšší obsah draselných než sodných alkálií.
- Okamžité uvolnění alkálií v prvních odběrech byly připsány síranům, jež se v cementu běžně nacházejí a mají velmi vysokou rozpustnost.
- Následné pozvolnější nárůsty byly vyhodnoceny jako postupné uvolňování ze slínkových fází, kde tyto ionty mohou vstupovat do struktury jako intersticiální atomy.
- Dalším důležitým faktorem je vyšší stupeň hydratace cementu v čase, což má za následek snížení obsahu volné vody v pórovém roztoku.

Děkuji za pozornost

Poděkování: Výsledky této práce byly dosaženy s podporou projektu (Zvýšení trvanlivosti cementobetonových krytů (CBK) pozemních komunikací omezením vlivu alkalicko-křemičité reakce TH04010207) a spoluprací s Výzkumným ústavem maltovin Praha s.r.o.