

## Abstrakt

Alkalicko-silikátová reakce (ASR) je reakce charakteristická pro prostředí betonových a maltových konstrukcí obsahujících reaktivní formy  $\text{SiO}_2$ . Za extrémně vysokého pH a dostatečné vlhkosti dochází k rozpouštění  $\text{SiO}_2$  a ke vzniku alkalicko-křemičitých gelů. Alkalicko-křemičité gely jsou schopny sorbovat molekuly vody, zvětšovat svůj objem a následně způsobit mechanické porušení betonu. Hlavními makroskopickými projevy ASR jsou: bílé nebo průhledné gelovité povlaky (při vysoušení ojedinele tmavnoucí), síť trhlin a drobení a odpadávání povrchových částí betonu. Způsobem jak zabránit ASR může být vedle chemických přísad do betonu i omezení použití alkalicky reaktivního kameniva. K přesné identifikaci reaktivních forem kameniva jsou zpravidla používány dilatometrické a petrografické metody.

Předložená disertační práce má za cíl propojit petrografické metody, používané geology, s ASR potenciálem kameniva měřeným na experimentálních vzorcích i v přirozeně vzniklých betonových konstrukcích.

Vznik ASR v betonových konstrukcích nacházejících se v České republice, byl zkoumán za použití petrografických metod (optické mikroskopie, petrografické analýzy obrazu a elektronové mikroskopie kombinované s energiově disperzním spektrometrem - SEM/EDS) s cílem určit rozsah poruch způsobených ASR, mikroskopicky identifikovat hlavní projevy ASR a určit hlavní typy alkalicky reaktivního kameniva.

Stejně petrografické metody byly použity ke studiu těžného kameniva (křemenných písků a štěrkopísků těžných v oblastech v okolí řek Cidlina, Dyje, Ohře, Sázava a především v Polabí) a ke studiu experimentálních maltových těles obsahujících stejné vzorky kameniva. Experimentálně stanovený ASR potenciál kameniva tak bylo možné porovnat s petrografickými vlastnostmi kameniva. Zároveň bylo možné pozorovat vznik ASR za experimentálních podmínek a přímo identifikovat reaktivní složky kameniva.

Z maximálně reaktivních forem kameniva byly popsány rohovec bohaté vápence, představující hlavní složku hrubého kameniva v betonu odebraném ze svodidel dálničního úseku v Praze. Rohovec, velmi jemnozrnná až amorfnní forma  $\text{SiO}_2$ , je světově známým typem kameniva s maximální reaktivností. Jeho vysoký stupeň náchylnosti k ASR se v betonu projevuje intenzivní sítí ASR trhlin a dutin, částečně nebo úplně vyplněných alkalicko-křemičitými gely. Jelikož nebyly ve svodidlech pozorovány jiné alkalicky reaktivní složky kameniva, lze předpokládat, že vznik alkalicko-křemičitých gelů v objemu 2,3 - 4,9 obj. % je

způsoben křemičitými vápenci o objemu 4,0 - 7,0 obj. %. Ve vzorcích betonu ze svodidel bylo identifikováno vysoké množství dalších vápencových úlomků (22,0 - 27,4 obj. %). Přesné stanovení podílu křemičité složky ve vápencích je za použití optického mikroskopu značně komplikované a lze proto předpokládat variabilní podíl křemičité složky i v těchto úlomcích, stejně tak jako jejich účast při vzniku alkalicko-křemičitých gelů.

Křemenem bohaté typy kameniva (např. křemenem bohaté sedimentární horniny, metasedimenty a metamorfity) jsou nejrozšířenější skupinou kameniva přítomnou ve vzorcích betonu a zároveň hlavní složkou laboratorně zkoušených křemenných písků a šterkopísků. Experimentálně byly tyto typy kameniva klasifikovány jako potencionálně reaktivní (resp. středně reaktivní). K upřesnění jejich náchylnosti k ASR přispělo zejména použití petrografických metod při studiu maltových zkušebních těles a petrografický výzkum betonu. Intenzita projevů ASR křemenných typů kameniva do značné míry závisí na stáří vzorků. Maximální stupeň ASR (0,5 - 0,9 obj. % alkalicko-křemičitých gelů a výrazně vyvinutá síť ASR trhlin poškozující cementové pojivo i kamenivo) byly pozorovány ve vzorcích betonu pocházejících z 1. poloviny minulého století. U mladších vzorků betonu stupeň poškození v důsledku ASR klesá.

Velmi malé až nulové projevy ASR byly pozorovány ve spojitosti s některými typy magmatických hornin, obzvláště pak s granitoidy, bazaltoidy a serpentinity. Tyto typy kameniva byly identifikovány ve vzorcích písků a šterkopísků stejně tak jako v některých vzorcích betonu, kde tvoří hlavní složku hrubého kameniva.

Porovnání projevů ASR v betonu s projevy v maltových tělesech ukázalo na hlavní faktory mající vliv na ASR. Vliv času (stáří vzorků) se projevil v nejstarších vzorcích betonu v podobě částečné "krystalizace" alkalicko-křemičitých gelů. Zároveň lze v betonu pozorovat vyšší intenzitu ASR trhlin. Naopak velmi mladá experimentální maltová tělesa ukazují méně intenzivní porušení v důsledku ASR trhlin ale vyšší podíl alkalicko-křemičitých gelů. Vliv chemismu okolního prostředí (chemické složení cementového pojiva a urychlujících roztoků) se projevuje především v silně proměnlivém poměru  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  v alkalicko-křemičitých gelech. Pozorování vzniku trhlin bylo ve všech vzorcích provedeno pouze kvalitativně. V budoucím výzkumu ASR v České republice bude proto nutné této problematice věnovat zvýšenou pozornost.

Druhým tématem, vhodným k intenzivnímu výzkumu v budoucnosti, a částečně otevřeným během této disertační práce je problematika ASR potenciálu křemenem bohatých typů kameniva ve spojitosti s jejich strukturálními, deformačními i rekrystalizačními vlastnostmi. Alkalická

reaktivita křemene je celosvětově nedořešeným tématem a v minulosti v České republice řešena nebyla. Vybrané vzorky písků a štěrkopísků, stejně jako vzorky betonu, byly podrobeny detailní analýze strukturně-deformačních, rekrystalizačních a zrnitostních vlastností. Nejvyšší stupeň ASR byl pozorován ve spojitosti s velmi jemnozrnnými křemennými úlomky, ve kterých docházelo během jejich geologického vývoje ke vzniku většího množství několik  $\mu\text{m}$  velkých křemenných zrn hromadících se podél staršího hrubozrnného křemene. Tento jev je v literatuře přisuzován rekrystalizačnímu mechanismu bullging, vznikajícímu za nízkých teplot během nedokonalé rekrystalizace. Lépe rekrystalizované křemenné úlomky charakteristické pro výše teplotní rekrystalizační režimy (mechanizmy subgrain rotation a grain boundary migration) obsahují křemenná zrna o vyšším průměru. Jejich ASR potenciál je zároveň nižší. Vzhledem k malému počtu analyzovaných vzorků, je průkaznost vztahu mezi uvedenými petrografickými vlastnostmi a reaktivitou vzorků velmi nízká a je nutné ji ověřit v budoucnosti.

Posledním přínosem této studie je snaha propojit získané výsledky s testování kameniva v praxi. Nově vyvinutá metodika petrografického výzkumu maltových zkušebních těles byla navržena k doplnění do novelizované verze Technického předpisu TP 137 upravujícího zkoušení kameniva a jeho náchylnosti k ASR v České republice.