

MECHANICKO-FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI CEMENTOVÝCH MALT MODIFIKOVANÝCH MIKROPLNIVEM

Aleš Kratochvíl, Jaroslav Urban, Rudolf Hela

Úvod

Při použití vhodného kameniva je cementová malta tou součástí betonu, která rozhoduje o jeho výsledných mechanicko-fyzikálních vlastnostech. Rozvoj technologie samozhutňujících betonů (SCC – Self-compacting concrete) vedl v posledních letech k nutnosti využívat betonové směsi s cementovými maltami obsahujícími tzv. mikroplniva, tj. plniva, jejichž společnou charakteristickou vlastností je relativně vysoký měrný povrch. Prostřednictvím těchto jemných komponentů jsou, ve spojení s dalšími technologickými opatřeními, ovlivňovány především reologické vlastnosti betonové směsi. Sekundárně však přítomnost mikroplniva modifikuje i další parametry betonové směsi i výsledného betonu.

V počátcích technologie SCC byly jako mikroplnivo využívány především extrémně jemné křemičité úlety s měrným povrchem až $300\,000\text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$ [1]. Použití tohoto materiálu je však ekonomicky odůvodnitelné pouze pro SCC s požadavkem vysoké konečné pevnosti betonu. Pro samozhutňující betony s nižšími nároky na výsledné pevnosti lze jako jemných komponentů s úspěchem použít i materiálů hrubších. Proto jsou dnes betonové směsi pro SCC vyráběny například s využitím elektrárenských popílků nebo velmi jemně mleté strusky. Dobrých výsledků je dosahováno rovněž při použití jemně mletého vápence a fillerů vznikajících při výrobě drceného kameniva.

Jako mikroplnivo do betonových směsí pro SCC je tedy možné použít celou řadu materiálů **různého druhu a původu**. Tyto hmoty se kromě již zmíněného měrného povrchu liší i v celé řadě dalších parametrů. Logicky tedy vzniká otázka, jakým způsobem druh, resp. obsah mikroplniva určitého druhu, ovlivní výsledné vlastnosti cementové malty. Pro porovnání některých mechanicko-fyzikálních parametrů cementových malt modifikovaných mikroplnivem byl proveden soubor dále popsaných experimentů.

Sledované vlastnosti a způsob jejich stanovení

Jednou ze základních vlastností cementové malty, která je nesporně přítomností mikroplniva ovlivněna, je její **trvanlivost**. Obecně je přijímán předpoklad, že s nárůstem obsahu jemných částic dochází zvýšením hutnosti malty k redukci jejího pórového systému, a tím k omezení kapilárních jevů. Snížení možnosti průniku vody a agresivních látek z okolního prostředí kapilárním systémem zatvrdlé malty tak zvyšuje její životnost [2]. Proti tomuto efektu však mohou působit jak primární trvanlivost použitého mikroplniva, tak vlastnosti komplexních sloučenin vznikajících v maltové směsi za jeho účasti v průběhu hydratace. To v případě, kdy použité mikroplnivo je materiálem s latentně hydraulickými vlastnostmi. Porovnání trvanlivosti cementových malt obsahujících různé

Ing. Aleš Kratochvíl

Centrum dopravního výzkumu

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Tel.: 0504/415522

Fax: 0504/412140

e-mail: kratochvil@cdv.cz

Ing. Jaroslav Urban

Centrum dopravního výzkumu

Líšeňská 33a, 636 00 Brno

Tel.: 05/48423768

Fax: 05/48423712

e-mail: urban@cdv.cz

Ing. Rudolf Hela, CSc.

FAST VUT Brno

Veveří 95, 662 00 Brno

Tel.: 05/41147508

Fax: 05/41147502

e-mail: hela.r@fce.vutbr.cz

druhy mikropnliva bylo provedeno prostřednictvím stanovení jejich **mrazuvzdornosti a odolnosti proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek**. Sledovány byly rovněž **pevnosti** zkoušených malt a jejich **nasákavost**. Při výrobě zkušebních těles pro zkoušky pevností jsme u maltových směsí stanovili **počátky a doby tuhnutí**.

Pro zjištění vybraných mechanicko-fyzikálních parametrů porovnávaných malt byly zvoleny **standardní normové zkušební postupy** [3, 4, 5, 6 a 7]. Všechny zkoušky ztvrdlé malty byly realizovány na trámečcích o rozměrech 40x40x160 mm.

Složení experimentálních maltových směsí

Celkem bylo zkouškám podrobena 11 různých maltových směsí. Prvních pět receptur se lišilo druhem použitého mikropnliva, přičemž jeho obsah v každé maltové směsi byl konstantní a činil 10 % z celkového obsahu plniva ve směsi. Zbývajících šest receptur bylo rozděleno na dvě skupiny. Pro každou skupinu byl vybrán jeden druh mikropnliva a jeho dávky v jednotlivých směsích skupiny byly upraveny tak, aby obsahy mikropnliva v každé skupině činily vždy 6, 12 a 14 % z celkového obsahu plniva ve směsi. Návrh složení zkoušených maltových směsí byl dále podřízen tomu, aby **výsledné reologické vlastnosti malt v čerstvém stavu**, vyjádřené v tomto případě jejich pohyblivostí, **byly konstantní**. Úprava pohyblivosti směsí na konstantní hodnotu byla, při shodné dávce superplastifikační přísady u jednotlivých směsí, prováděna změnou dávky záměsové vody. Superplastifikační přísada (ViscoCrete 5 – 600 firmy Sika CZ, a.s.) byla do všech směsí dávkována v maximálním výrobcem doporučeném množství, tj 1 % z dávky cementu.

Dalším kritériem uplatněným při návrhu složení malt byl požadavek, aby se svým složením i svou pohyblivostí **maximálně přibližovaly cementovým maltám obsaženým v samozhutňujících betonech** [8].

Pohyblivost směsí byla měřena metodou rozlití kužele. (Kůžel o rozměrech: vnitřní průměr dolní základny 116 mm, horní základny 58 mm, výška 175 mm).

Jako záměsová voda byla použita běžná pitná voda z vodovodního řádu. Pojivo - cement ČSN EN 197-1 CEM I 42,5 R z cementárny Mokrá a plnivo - křemičité písky PR 30 a PR 33 z lokality Provodín odpovídaly příslušným státním [9], resp. podnikovým normám [10].

Použitá mikropnliva

Pro modifikaci složení maltových směsí u prvních pěti receptur byly použity tyto materiály:

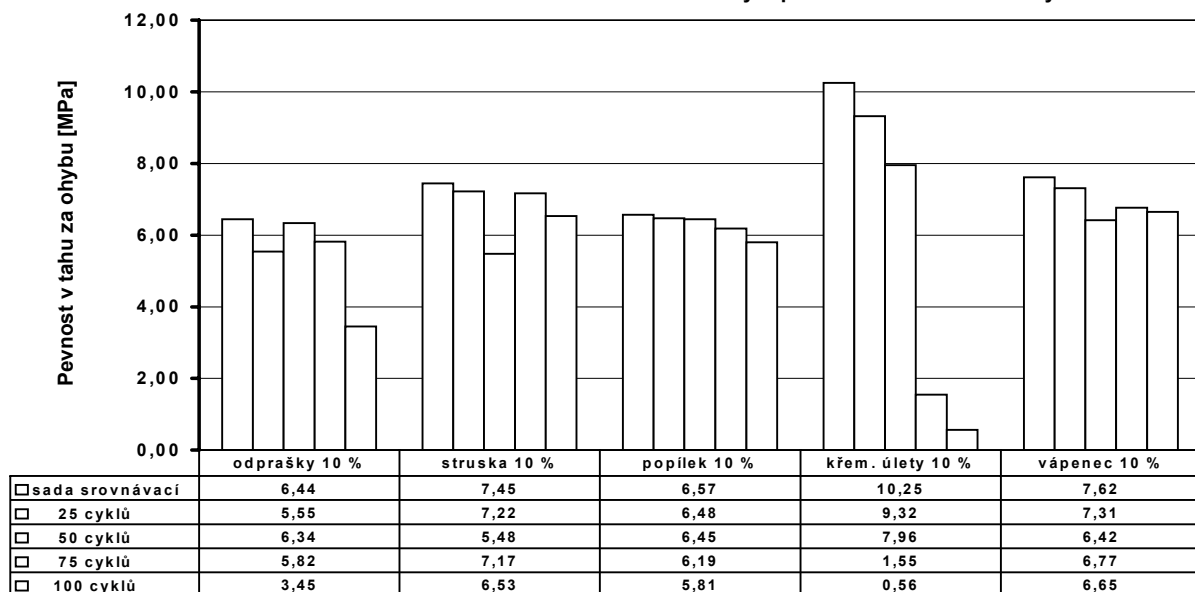
- křemičité úlety (mikrosilica), Oravské ferozliatinárske závody, a.s., Istebné (Slovensko), měrný povrch 230 568 cm².g⁻¹
- velmi jemně mletá struska, Kotouč Štramberk, měrný povrch 3 629 cm².g⁻¹
- jemně mletý vápenec, měrný povrch 4 857 cm².g⁻¹
- elektrárenský popílek, elektrárna Chvaletice, měrný povrch 2 426 cm².g⁻¹
- kamenné odprašky, z lomu Želešice, měrný povrch 4 345 cm².g⁻¹

Ke zkouškám zaměřeným na stanovení vlivu obsahu mikropnliva na vlastnosti malty byly pro první skupinu malt zvoleny jako mikropnlivo kamenné odprašky. Malty druhé skupiny byly vyrobeny s příměsí jemně mletého vápence.

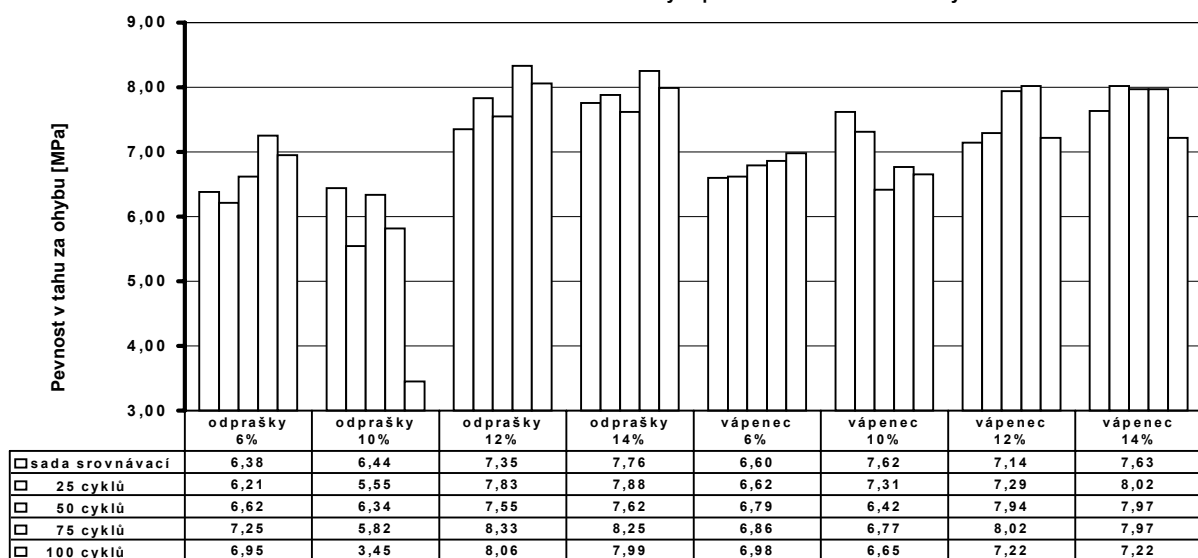
Výsledky zkoušek

Pro porovnání mrazuvzdorností byly zkoušené malty podrobeny čtyřem zmrazovacím etapám, z nichž každá reprezentovala 25 zmrazovacích cyklů. Sledovány byly změny pevností malty v tahu za ohybu i v tlaku. Jak vyplývá z grafů na obrázcích č. 1 až 4 **nedošlo u většiny malt vlivem působení mrazu k výrazným změnám pevností**. Hodnoty součinitele mrazuvzdornosti vypočtené po etapách pro jednotlivé maltové směsi z pevností v tahu za ohybu (viz obr. č. 1 a 2) kolísají převážně v intervalu od 0,84 do 1,09. Tyto hodnoty reprezentují velmi dobrou odolnost malty proti působení mrazu zejména pokud jsou stanoveny při vyšším počtu zmrazovacích cyklů. Mezní hodnotě mrazuvzdornosti podle [3] nevyhověly z celého zkoušeného souboru pouze malta obsahující 10 % plniva ve formě kamenných odprašků (po 100 zmrazovacích cyklech) a malta

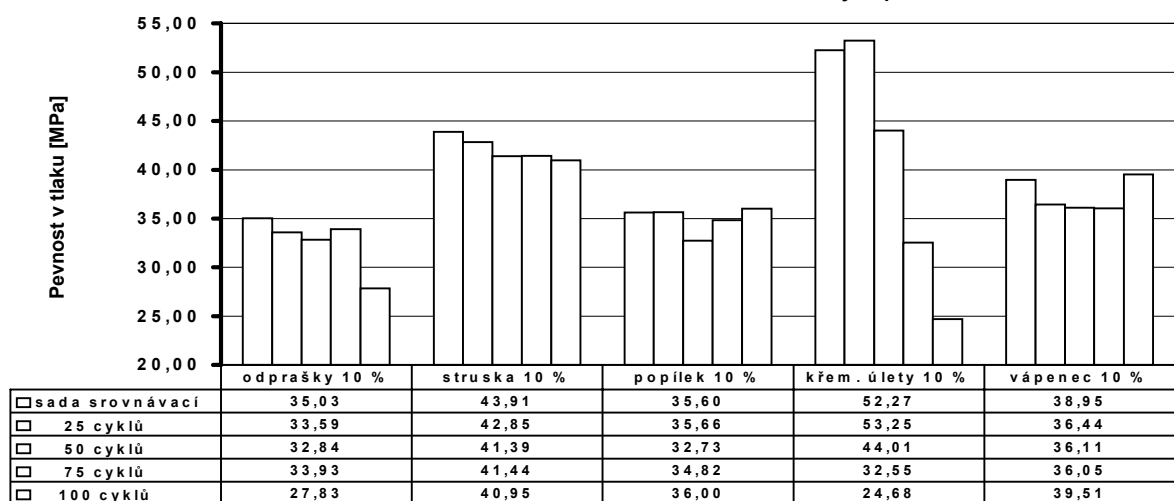
Obr. č.1: Stanovení mrazuvzdornosti malty - pevnost v tahu za ohybu



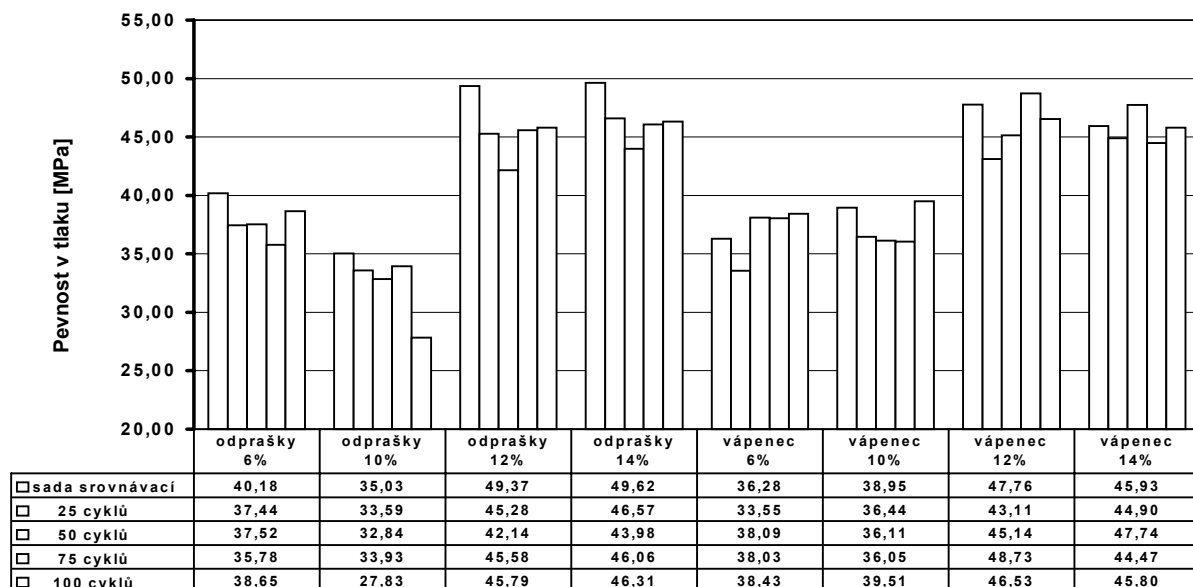
Obr. č.2: Stanovení mrazuvzdornosti malty - pevnost v tahu za ohybu



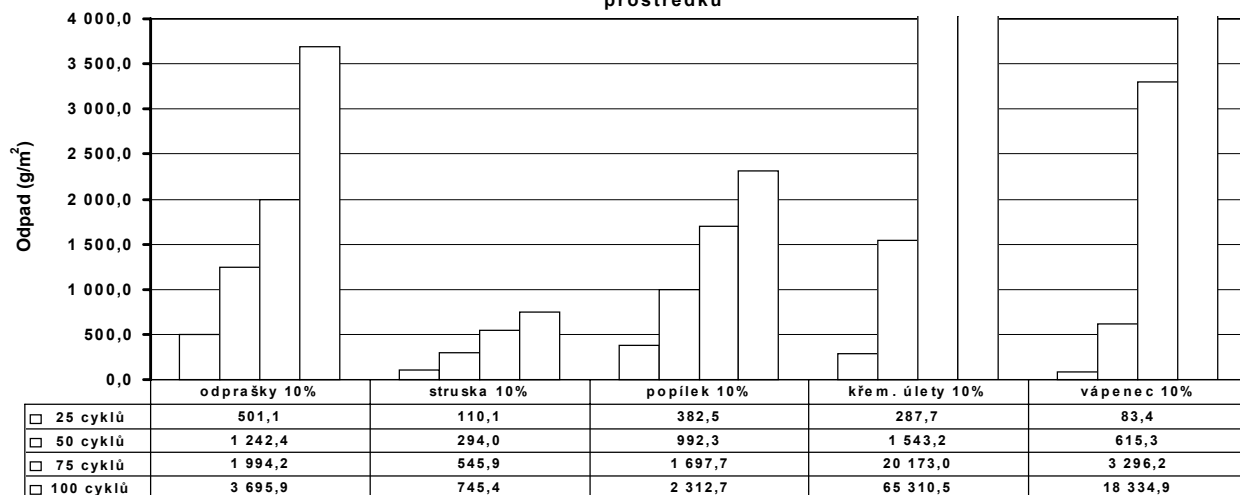
Obr. č.3: Stanovení mrazuvzdornosti malty - pevnost v tlaku



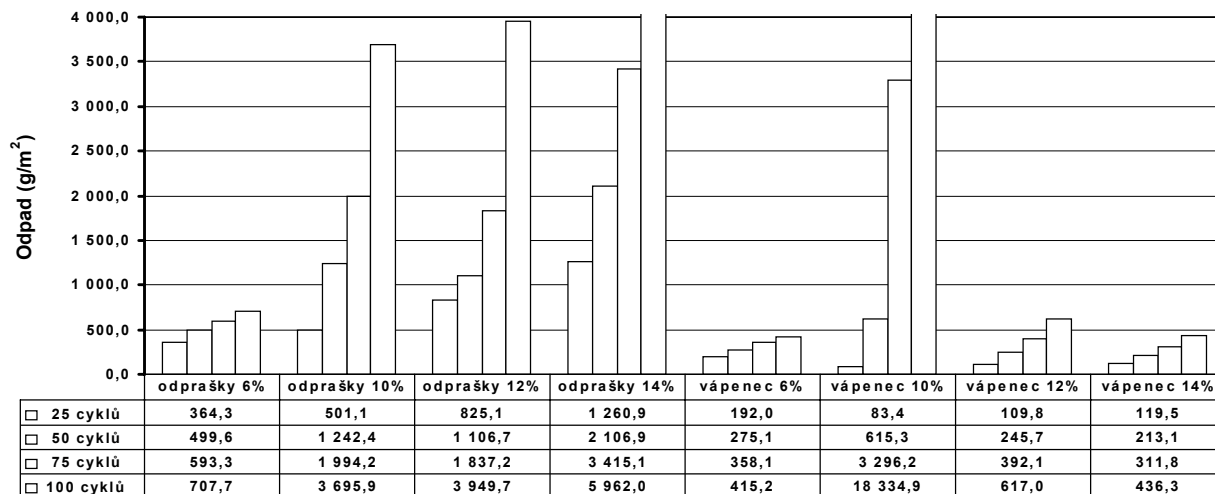
Obr. č. 4: Stanovení mrazuvzdornosti malty - pevnost v tlaku



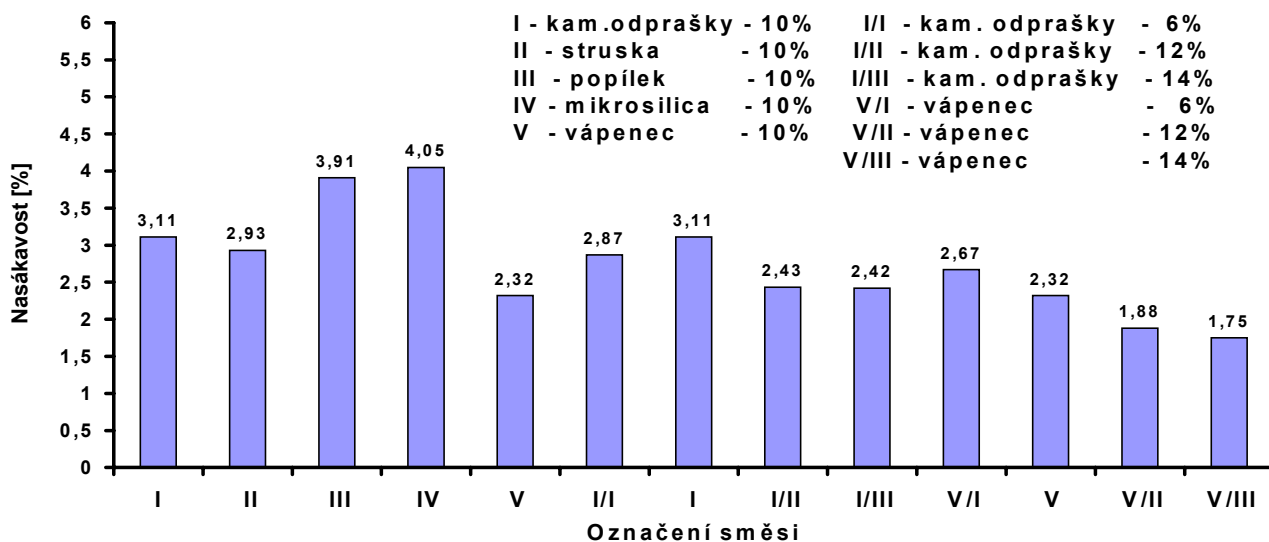
Obr. č.5: Stanovení odolnosti malty proti působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků



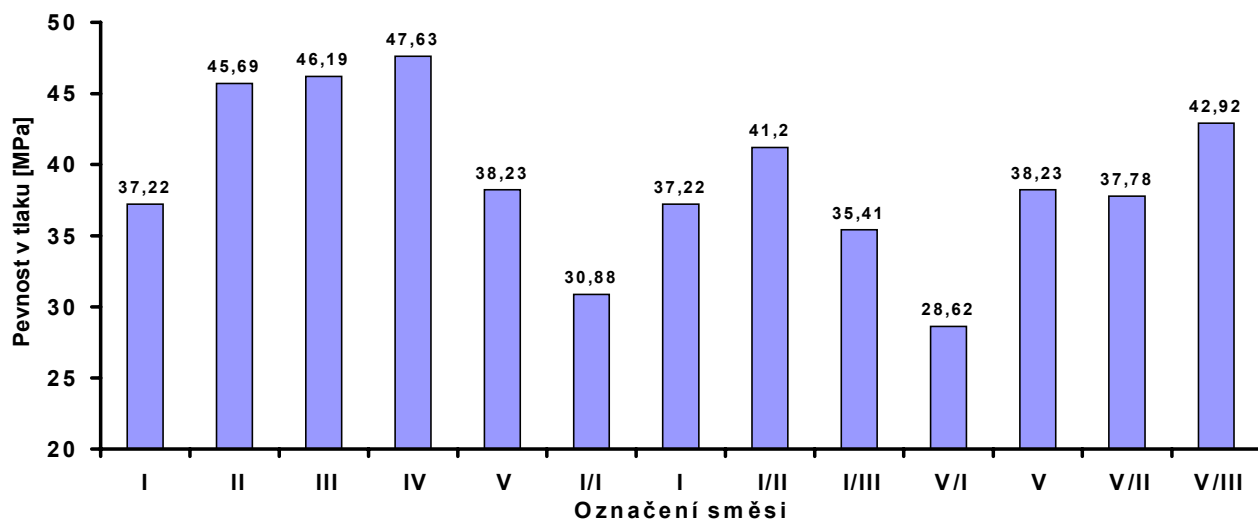
Obr. č. 6: Stanovení odolnosti malty proti působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků



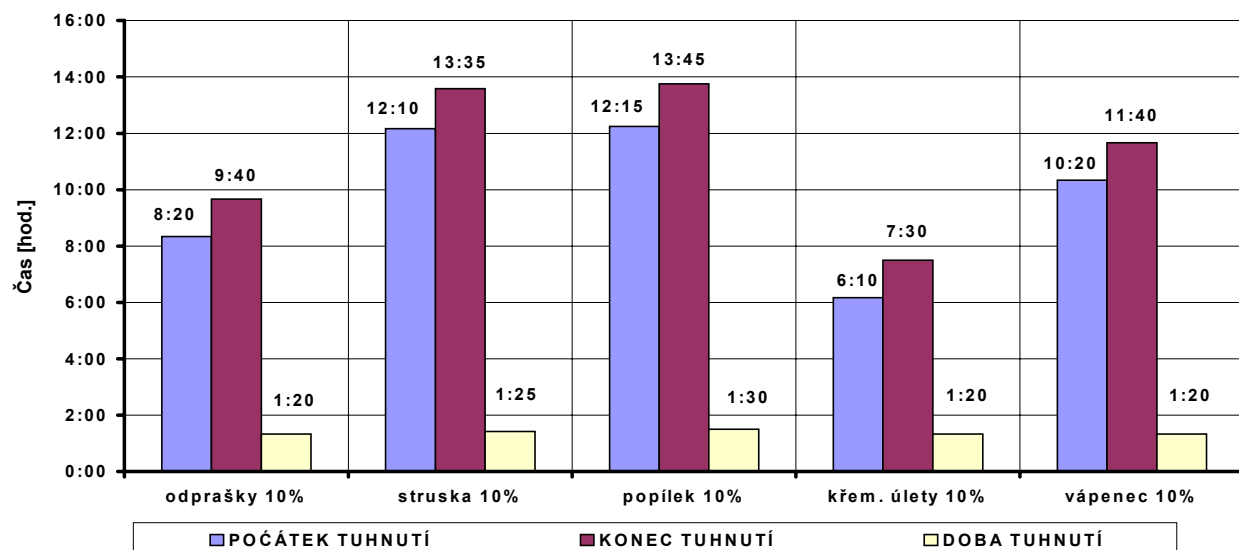
Obr. č.7: Nasákavost cementových malt modifikovaných mikroplynivem



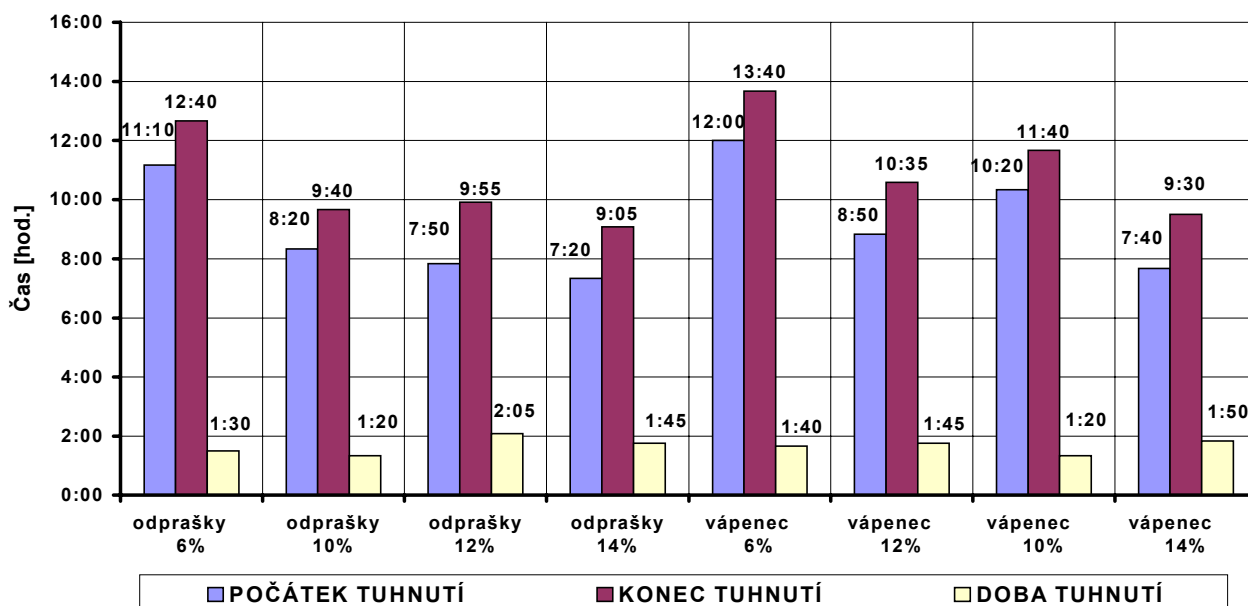
Obr. č. 8: Pevnosti v tlaku porovnávaných cementových malt po 28 dnech normálního zrání



Obr. č. 9: Počátek a doba tuhnutí cementových malt modifikovaných mikroplynivem



Obr. č. 10: Počátek a doba tuhnutí cementových malt modifikovaných mikroplnivem



modifikovaná přídatkem 10 % křemičitých úletů (po 75 a 100 zmrazovacích cyklech). V tomto případě stojí za pozornost dramatické snížení pevností mezi 50. a 75. zmrazovacím cyklem. Obdobné skutečnosti vyplývají i z vyhodnocení součinitelů mrazuvzdornosti stanovených z pevností malt v tlaku (obr. č. 3 a 4).

Chemická odolnost sledovaných malt byla ověřována prostřednictvím působení 3% roztoku NaCl, a to při střídavém zmrazování a rozmrazování zkušebních těles. Korozní napadení vzorků bylo měřeno po každých 25 zmrazovacích cyklech. **Nejvyšší rezistenci vůči působení chloridu sodného vykázala malta obsahující 10 % strusky** (viz graf na obr. č. 5). Po sto zmrazovacích cyklech byl zjištěný odpad přepočtený na 1 m² 745,4 g, což je s ohledem na jemnozrnný charakter zkoušené malty výsledek v pravdě vynikající. Naopak **u malt modifikované křemičitými úlety došlo již po 75 zmrazovacích cyklech k rozsáhlému porušení zkušebních těles** a tento proces byl dovršen prakticky **totálním rozpadem vzorků** po 100 cyklech zmrazování (viz tabulka hodnot u obr. č. 5). U směsí obsahujících různé dávky kamenných odprašků (graf na obr. 6) je jasně zřejmá závislost mezi stupněm porušení vzorků a obsahem mikroplniva. Rozporuplné výsledky poskytly zkoušky malt s různými obsahy vápence. Zatímco malty se 6, 12 a 14 % vápence vykázaly odolnost srovnatelnou s maltou obsahující jako jemný podíl strusku, došlo v případě malty s 10% obsahem vápence již po 75 cyklech zmrazování k překročení limitní hodnoty znehodnocení vzorků, která odpovídá stupni porušení – rozpadlý [4]. Protože se nepodařilo objasnit příčiny tak rozdílného chování vzorků, byla vyrobena nová zkušební tělesa pro opakované zkoušky, které v současné době probíhají.

Výsledky zkoušek nasákavosti malt signalizují relativně **malou závislost** tohoto parametru **na druhu použitého mikroplniva** (obr. 7). Zatímco malty obsahující různé objemy vápence vykazují zřetelný trend ke snižování nasákavosti v závislosti na zvyšujícím se objemu mikroplniva, oscilují hodnoty nasákavosti u malt s kamennými odprašky mezi 2,32 až 3,11 %. Ani v těchto případech však nejsou změny nasákavosti zkoušených malt z praktického hlediska nijak významné.

Nejvyšších hodnot pevností v tlaku bylo u zkoušených malt dosaženo při použití strusky, popílku a křemičitých úletů (graf na obr. č. 8). Za pozornost v tomto případě stojí nesporně skutečnost, že úroveň pevností malty je v těchto případech prakticky totožná, a malta modifikovaná křemičitými úlety tedy nevykazuje očekávané vyšší pevnosti. U malt lišících se dávkami mikroplniva **je zřejmý nárůst pevnosti v závislosti na zvyšujícím se objemu jemných podílů plniva** ve směsi. Výjimku, kterou tvoří směs obsahující 14 % kamenných odprašků, lze vysvětlit nahodilou variabilitou měření, kterou nebylo možno s ohledem na omezený počet vzorků statisticky podchytit.

Zajímavé porovnání umožňuje rovněž graf na obr. č. 9. Je z něj patrný **výrazně nejrychlejší nástup procesů tuhnutí a tvrdnutí u cementové malty s přídavkem křemičitých úletů**. Tato skutečnost může být způsobena vysokou jemností tohoto materiálu i jeho výraznými latentně hydraulickými vlastnostmi. Naproti tomu **dobu tuhnutí** malty **není** druhem použitého mikropřísady vůbec **ovlivněna**. Zřejmá závislost mezi objemem jemných podílů ve směsi a dynamikou nástupu hydratačních procesů vyplývá z grafu na obrázku č. 10. **Se zvyšujícím se obsahem jemných částic ve směsi dochází k výraznému urychlení počátku procesu tuhnutí malty**. Tato závislost je zřejmá u obou sledovaných druhů mikropřísad.

Závěr

Provedené **zkoušky** v řadě případů **prokázaly** významnou **závislost** mezi druhem, resp. obsahem mikropřísady v maltové směsi a jejími mechanicko-fyzikálními vlastnostmi. **Znalost** těchto **závislostí** i míry ovlivnění jednotlivých technických parametrů malty zvýšeným obsahem jemných podílů **umožní racionální návrh složení** betonových směsí. Jejich uplatněním v praxi bude potom možno vyrábět samozhutňující betony **řízených užitečných vlastností, které zohlední individuální potřeby konkrétních staveb**.

Literatura

- [1] Takada, K.: Self-compacting concrete produced by Japanese method with Dutch materials, Sborník 12, Evropský kongres o transportbetonu, ERMCO, Lisabon 1998
- [2] Trvanlivost betonu a železobetonu. Procesy porušování a způsob zajištění trvanlivosti. TEXTY, Svazek 73, vydal SEKURKON, Praha, listopad 1998
- [3] ČSN 72 2452 Zkouška mrazuvzdornosti malty
- [4] ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek
- [5] ČSN 72 2448 Zkouška vlhkosti a nasákavosti malty
- [6] ČSN 72 2450 Zkouška pevnosti malty v tahu za ohybu
- [7] ČSN EN 196-3 Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti
- [8] Hela R. a Frýbort D.: Samozhutnitelné betony v České republice, sborník ze semináře Nové druhy betonu, Praha, únor 2000
- [9] ČSN ENV 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití
- [10] PN PPas 72 1205 Slévárenské písky. Materiálový list

V příspěvku jsou prezentovány výsledky řešení výzkumného záměru CEZ:EO1/98:Z30000000 a projektu GAČR C.103-01-0814.