

PŘÍMĚSI DŘÍVE A NYNÍ, ČÁST 3 ■ ADDITIVES BEFORE AND NOW, PART 3

Alain Štěrba

Pokračování článku o současných a možných budoucích přínosech využívání příměsí. Předchozí dvě části článku byly uveřejněny v Beton TKS 6/2011 a 2/2012. Tato část je zaměřena hlavně na příměsí, jejichž střední rozměr je menší než 100 μm , a hlavně na příměsí, které jsou označovány jako chemicky inertní. Bude ukázáno, že použití těchto příměsí může mít kladný vliv na zpracovatelnost (tekutost) a pevnost betonu i při konstantní hodnotě ekvivalentního vodního součinitele. ■ Third part of the article focused on current and future benefits when using additives. The two previous parts of the article were published in Beton TKS 6/2011 and 2/2012. This part is aimed mainly to additives, where the medium size is smaller than 100 μm and of these on additives, which we identify as chemically inert. We will show that use of such additives can have positive impact on processing (fluidity) and strength of concrete also by constant level of equal water cement ratio.

POTENCIÁLNÍ PŘÍNOSY „MIKROVÝCH“ PŘÍMĚSÍ

Použití příměsí, jejichž střední rozměr je menší než 100 μm , může mít kladný vliv na zpracovatelnost (tekutost) a pevnost betonu, dokonce i při konstantní hodnotě ekvivalentního vodního součinitele. O uvedených možnostech svědčí hlavně publikace [91, 92, 93, 94, 95, 96, 97]. Velmi podnětný je hlavně rozsáhlý článek [91] Michaela Schmidta a Carstena Geisenhanslückeho, zaměřený především na samozhutnitelné a ultravysokopevnostní betony. Tento příspěvek je navíc důležitou ukázkou skutečnosti, že i uznávaná a dobře propracovaná teorie může praxi pouze iniciovat, že pro její realizaci je rozhodující empirie, zpravidla s nezbytností velkého množství a rozsahu zkoušek.

V první části příspěvku [91] se autoři podrobně zabývají především vlivem jemných zrn (směrně do 0,125 mm). Jejich vhodnost je dána především následujícími třemi faktory: **měrným povrchem, náchylností k aglomeraci a hutností**. Teoreticky a experimentálně se autoři zaměřují především na **hutnost** (Packungsdichte). Při zkouškách hutnosti směsi cementu CEM I 32,5 a příměsí dala největší hutnost **křemenná moučka Q1**, která měla měrný povrch 1 800 m^2/kg a střední velikost zrna 3 μm .

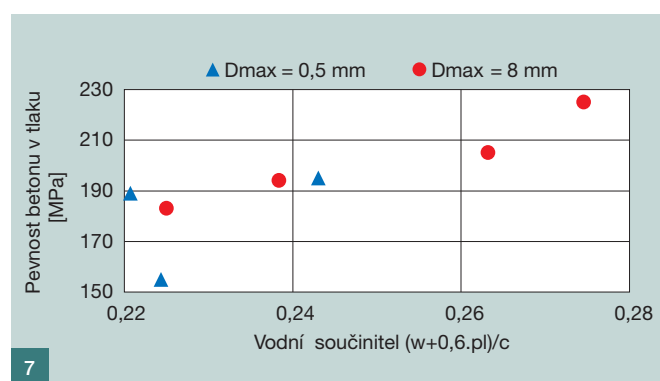
Autoři dále zdůrazňují důležitost zastoupení širokého zrnění: od křemičitého úletu, po cement, další sledované příměsí a písek. Zdůrazňují a kvantifikují odstupy mezi středními hodnotami jednotlivých složek, největší mezi křemičitým úletem a cementem (v publikovaném „Bild 11“ je uveden 83násobek, u materiálů použitých v dále uvedených zkouškách je to přibližně polovina uvedené hodnoty).

Významnější než teoretická část jsou v [91] publikované výsledky zkoušek malt a betonů. Ve funkci pojiva jsou použity složky charakterizované vlastnostmi uvedenými v tab. 3. Pokud jde o příměsí, jsou to kromě křemičitého úletu dvě frakce křemenné moučky, která je zpravidla označována jako inertní. Při zkouškách betonů byla kromě písku 0,125/0,5 použita čedičová drť 2/8 (i zde tu jde o dosti významnou překážku mezi jednotlivými složkami).

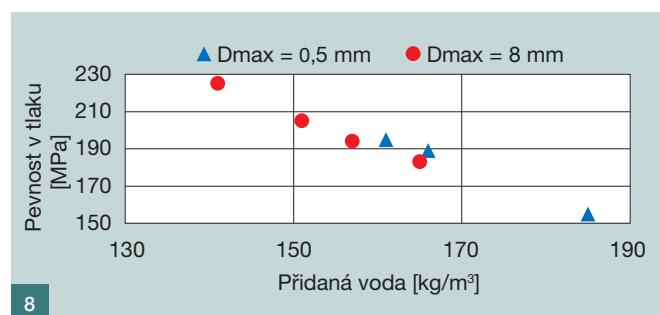
Údaje o složení sedmi zkoušených malt a betonů jsou uvedeny v tab. 4, v které jsou v zájmu prováděných rozborů uvedeny i četné charakteristiky složení a výsledky zkoušek konzistence a pevnosti. Uvedená data umožňují učinit následující závěry a uvést i některé domněnky:

Tab. 3 Parametry složek betonů uvedených v Tab. 4 [91] ■
Tab. 3 Concrete components parameters in tab. 4 [91]

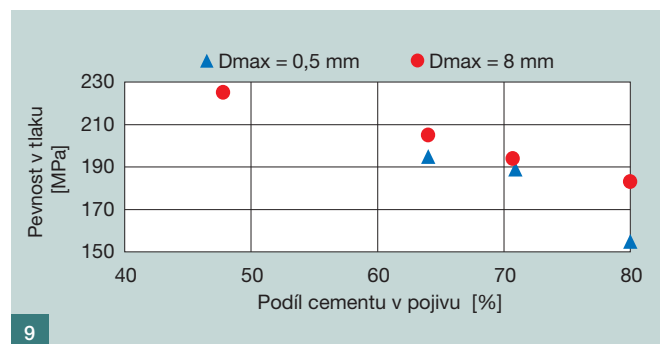
Složka	Měrný povrch dle Blaina [m^2/kg]	Střední velikost zrna [mm]	Hutnost (Packungsdichte) [% obj.]
Křemičitý úlet	20 000	0,3	46,3
Cement CEM I 52,5R HS-NA	453	12	51,6
Křemenná moučka Q2	359	42	48,6
Křemenná moučka Q3	127	100	48,6
Písek 0,125/0,5	10	320	45



Obr. 7 Neobvyklá závislost (nezávislost) pevnosti betonů v tlaku na vodním součiniteli – viz tab. 4 a [91] ■ Fig. 7 Unusual dependence (independence) of compressive strength of concrete on the water-cement ratio – see tab. 4 and [91]



Obr. 8 Závislost pevnosti betonů v tlaku na obsahu přidané vody – viz tab. 4 a [91] ■ Fig. 8 Dependence of compressive strength of concrete on the amount of added water – see tab. 4 and [91]



Obr. 9 Závislost pevnosti betonů v tlaku na podílu cementu v pojivu [%] – viz tab. 4 a [91] ■ Fig. 9 Dependence of compressive strength of concrete on the portion of cement in the binding agent – see tab. 4 and [91]

Tab. 4 Složení a charakteristiky betonů s inertními přísadami použitými při zkouškách dle [91] a jejich vliv na užité vlastnosti betonů ■
 Tab. 4 Composition and features of concrete with inert additives used while testing according to [91], and their influence on utility features of concrete

Označení betonu	M1	M1Q	M2Q	B1	B1Q	B2Q	B3Q
Konstantní parametry:							
D _{max}	0,5 mm			8 mm			
Ekvivalentní vodní součinitel w/(c+s)	v blízkosti 0,18			v blízkosti 0,2			
Ocelové drátky	2,5 % – 192 kg/m ³			2,5 % – 192 kg/m ³			
Složení betonů [kg/m ³]:							
CEM I 52,5 R HS – NA (c)	900	733	832	800	630	723	580
Křemičitý úlet (s)	225	230	135	200	197	118	177
Křemenná moučka Q2 (Q2)	0	183	207	0	158	181	325
Křemenná moučka Q3 (Q3)	0	0	0	0	0	0	131
Písek 0,125/0,5 (p)	1 016	1 008	975	440	433	425	354
Čedič 2/8 (d)	0	0	0	870	867	850	711
Superplastifikátor (sp)	28,2	28,6	29,4	25	24,7	25,6	30,4
Přidaná voda (w)	185	161	166	165	151	157	141
Ocelové drátky	192	192	192	192	192	192	194
Součet ¹⁾	2 546	2 536	2 536	2 692	2 653	2 672	2 643
Ukazatelé složení:							
s/c ¹⁾	0,25	0,31	0,16	0,25	0,31	0,16	0,31
Podíl cementu v pojivu [%] ^{1) 1)}	80,0	64,0	70,9	80,0	64,0	70,7	47,8
Podíl přísady v pojivu [%] ^{1) 2)}	20,0	36,0	29,0	20,0	36,0	29,0	52,2
Dávkování křem. úletu [%] ^{1) 3)}	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Hmotn. vodopojivový součinitel ^{1) 4)}	0,18	0,16	0,16	0,18	0,17	0,17	0,13
Objem. vodopojivový součinitel ⁵⁾	0,51	0,44	0,45	0,52	0,47	0,49	0,36
Podíl pevných zrn do 0,125 mm ^{1) 6)}	0,53	0,53	0,55	0,43	0,43	0,44	0,53
Objem pojivové kaše [m ³] ^{1) 7)}	0,60	0,59	0,59	0,53	0,52	0,53	0,60
Vodní součinitel (w+0,6.sp)/c	1,35	1,25	2,16	1,455	1,435	2,425	1,574
Hutnost zrn do 0,125 mm [% obj.]	60,6	61,5	57,6	60,6	61,5	62,5	59,2
Vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu:							
Rozliti [mm]	500	550	650	500	550	650	650
Pevnost v tlaku [MPa] ⁸⁾	155	195	189	183	205	194	225

¹⁾ hodnoty vypočtené z údajů v článku [91]

^{1) 1)} 100.c/(c+s+Q2+Q3)

^{1) 2)} 100.(s+Q2+Q3) / (c+s+Q2+Q3)

^{1) 3)} 100.sp/(c+s+Q2+Q3)

^{1) 4)} (w+0,6.sp) / (c+s+Q2+Q3)

⁵⁾ objem vody /objem zrn do 0,125 mm

⁶⁾ (s+Q2+Q3)/(c+s+Q2+Q3+p+d)

⁷⁾ c/3 150+s/2 200+(Q2+Q3)/2 700+w/1 000+sp/1 100

⁸⁾ po 2denním proteplování při 90 °C a ve stáří 7 dní, na válcích 150/300 mm

Pevnost v tlaku není závislá na ekvivalentním vodním součiniteli. Plánované hodnoty ekvivalentního vodního součinitele (0,18 u malt a 0,2 u betonů) byly přitom s dostatečnou přesností dodrženy. Uvedené hodnocení není zaviněno ani nedodržením požadované konzistence. Naopak: nejvyšší pevnosti v tlaku (malty M2Q a betonu B3Q) byly dosaženy při hodnotách rozliti 650 mm, která je o 150 mm větší než u referenčních směsí bez přísady křemenných mouček.

Tím spíše neroste pevnost v tlaku se snížením vodního součinitele. Podle obr. 7 by bylo možno dokonce soudit, že růst vodního součinitele ovlivňuje pevnost betonů (nikoliv malt) dokonce kladně. Podobně jako u dříve uvedené nezávislosti pevnosti na ekvivalentním vodním součiniteli je třeba brát v úvahu, že ve všech případech byly obsahy cementu dostatečné, spíše nadbytečné. Možný důvod neobvyklého zjištění: důsledkem hydratace velkého obsahu použitého cementu CEM I není jen tvorba žádoucích hydrosilikátů vápenatých, ale i vznik nežádoucího hydroxidu vápenatého (portlanditu) a jeho vázání na použité přísady.

Podle obr. 8 je pevnost zkoušených malt a betonů nepřímo závislá na obsahu vody a to nezávisle na všech ostatních faktorech (nepatrně větší pevnosti malt lze přisoudit kontaktní zóně mezi maltou a zrny hrubého kameniva). Vzhledem k malému počtu zkoušek a pro dále uvedené vlivy nelze uvedený poznatek zevšeobecňovat. V první řadě je třeba opět vzít v úvahu, že u všech zkoušených receptur byly velmi vysoké obsahy cementu (u směsí bez křemenné

moučky asi nadbytečné). Též je třeba vzít v úvahu neobvyklý způsob ošetřování (viz poznámka ⁸⁾ v tab. 4).

Podle obr. 9 klesá pevnost zkoušených malt a betonů v závislosti na růstu podílu cementu v pojivu: čím větší podíl cementu v pojivu, tím menší pevnost v tlaku. I zde je třeba vzít v úvahu výhrady předchozího odstavce a uvedený poznatek zatím nezevšeobecňovat.

Uvedenými zkouškami **nebyl prokázán vliv hutnosti směsi zrn do 0,125 (Pakungsdichte)** – viz šedivě označený řádek tab. 4. Takto je částečně negována součást teoretické části publikace [91]. O malé účelnosti zkoušek hutnosti jednotlivých složek svědčí jejich malá odlišnost. Podle tab. 3 je hutnost všech složek pojiva (zrn do 0,125 mm) v oboru mezi 46,3 % (křemičitý úlet) a 51,6 % (cement). Obě přísady Q2 a Q3 mají hutnost 48,6 %. Hutnost jejich směsí (tab. 4) je velmi významně větší: mezi 57,6 % a 62,5 % a to bez závislosti na pevnosti zkoušených malt a betonů.

Při všech uvedených i dalších možných výhradách bude účelné brát uvedené poznatky v úvahu, zvláště v případě vysokohodnotných betonů s vysokými obsahy cementu. V každém případě bude účelné se podrobněji zabývat vodonáročností a to v širším slova smyslu, než jde o vodonáročnost dle EN 196, tedy vodonáročnost cementu a přísady dle článku 3.1.63 ČSN EN 206-1 (2008). S tímto cílem je zaměřena následující kapitola věnovaná zkušebnímu postupu při optimalizaci složení betonu. Dále je třeba vzít v úvahu i problematičnost inertnosti křemenné moučky. Obecně, dokonce i v dosti nové (2010) publikaci [96], je křemenná

moučka uváděna jako příklad inertní příměsi. Na druhé straně existují i starší práce, ve kterých je inertnost této moučky zpochybňována, např. v článku Schiessla a Menga [97]. Velmi podrobně se ve své doktorské práci uvedené problematice a vlivu příměsi všeobecně věnuje Fontana [98]; o závažnosti a rozsahu jeho práce svědčí 156 literárních odkazů (navíc odkazy na normy a předpisy).

ZKUŠEBNÍ POSTUPY PRO ZKOUŠKY OPTIMALIZACE SLOŽENÍ BETONU

Zaměření námětů

Výše uvedené rozbory mohou sloužit jako vodítko pro zkoušky prováděné s cílem najít takové složení betonu, při kterém budou optimálně využity dostupné příměsi a přísady. Následující text se proto netýká zkoušek, jejichž cílem je kontrola vlastností složek betonů nebo kontroly shody malt a betonů. Pro zjednodušení se následující text nezabývá provzdušněnými betony.

Následující poznámky budou zaměřeny na **nadkritický obor** (viz část 1), v kterém je použito takové množství pojiva, při kterém se dosahuje požadované zpracovatelnosti (třeba i samozhutnitelnosti) bez nadbytečného obsahu vody, a tím i bez nepřijatelného odlučování vody. Další podmínkou je i **dostatečný obsah cementu** v pojivu. Z uvedeného zaměření vyplývá i obezřetnější sledování hlavních vlastností příměsí, především jejich vodonáročnosti. Na rozdíl od podkritického oboru, v kterém na vodonáročnosti složek pojiva prakticky nezáleží, je třeba ve sledovaných případech najít takovou kombinaci cementu, příměsí a přísad, při které bude dosaženo minimální vodonáročnosti.

Na rozdíl od dosavadní praxe je třeba se při uvedeném cíli v prvé řadě zaměřit na zkušební postupy, v kterých bude **spolu s vodou využita i vhodná plánovaná přísada** (superplastifikační, plastifikační, retardační apod.); **zkoušky se samotnou vodou nepřijatelně znevýhodňují jemnozrné, proto i vodonáročné, příměsi**. Naopak může použití samotné vody případně zvýhodnit příměsi se sklonem k aglomeraci.

Dále je neúčelné volit jako konstantní parametr **vodní součinitel** (případně ekvivalentní vodní součinitel nebo vodopojivový součinitel). Podstatně účelnější je zaměření na celkový obsah vody (čl. 3.1.32 ČSN 206-1) a to i za předpokladu neprůkaznosti výše komentovaného obrázku 8. Vycházet z konstantních ekvivalentních vodních součinitelů je účelné jen u takových zkoušek, jako jsou např. zkoušky k ověření vlastností nově vyráběných cementů ve vztahu k **normově** předepsaným mezním hodnotám ekvivalentního vodního součinitele. Příkladem nevhodného vycházení z konstantních hodnot vodního součinitele je jinak velmi cenná publikace [95] zaměřená na vliv granulometrie a reaktivitu cementu a příměsí. Ve vztahu k projednávané problematice je tato publikace přínosná tím, že alespoň na jednom příkladu (Bild 4) ukázala, jak rozdílný (kvalitativně rozdílný) je vliv jemnosti vápencové moučky při použití a nepoužití superplastifikační přísady.

Náměty a jejich zdůvodnění

Proti dřívějším dobám, kdy se při optimalizaci složení betonu zpravidla rozhodovalo jen o volbě druhu cementu a nevhodnější skladbě kameniva, je třeba v současnosti brát v úvahu navíc volbu a obsah příměsí (u UHPC několika příměsí) a přísad. Teoreticky nejvhodnějším postupem je plánovaný po-

kus. Tato metoda, která je využívána hlavně chemiky, byla kdysi použita [99] i pro ověření vlivu vlastností a obsahu (vody, cementu) složek na užité vlastnosti betonu (zpracovatelnost, pevnost v tlaku). I při maximálním možném omezení sledovaných faktorů (použití centrální složený plán druhého řádu faktoriálního pokusu typu 2^6 zkrácený na polovinu) byl uvedený pokus dosti náročný; vyžadoval provedení 49 zkušebních sérií. Při zařazení přísad a příměsí by náročnost významně vzrostla.

Snadnější cestou nebývá ani řešení s omezeným plánováním. Např. velmi přínosné řešení optimálního složení UHPC si podle P. Duranda [100] vyžádalo provedení **145** zkušebních sérií.

Z výše uvedených důvodů může být účelné provádět po technickém a ekonomickém průzkumu a výběru složek dále uvedené postupné řešení. Uvedené platí hlavně v případě optimalizace složení betonů s větším počtem kombinací složek pojiva.

Před prováděním hlavních zkoušek je **účelné nejdříve optimalizovat složení pojivové kaše se všemi zrny do 0,125 mm** (podíl zrn písku pod 0,125 mm lze stanovit odhadnutou konstantní hodnotou). Plánovanou konstantní hodnotou je požadovaná **konzistence** (se snahou získat hodnoty odpovídající kladné i záporné přípustné odchylce konzistence je proto třeba počítat alespoň se zdvojnásobením počtu zkoušek proti počtu receptur při dodržení její plánované hodnoty). Hlavním výsledkem zkoušky je **obsah vody** potřebný pro uvažovaný způsob hutnění nebo pro samozhutnitelnost. Vyrobenou kaši (maltu) lze případně využít k výrobě malých vzorků pro zkoušení pevnosti. Uvedené připadá v úvahu např. v případě problematicky inertních příměsí (vápencové nebo křemenné moučky).

Podrobnější zkoušky se pak provádějí hlavně s recepturami, které při zkouškách pojivové kaše vynikaly nízkou „vodonáročností“ (v širším slova smyslu než podle ČSN EN 196-3).

Výhodou uvedeného postupu je především možnost provádět velký počet zkoušek pouze na malých vzorcích. (Uvedené platí i pro alternativní postup, při kterém se místo samotné pojivové kaše zkouší malta s jemnozrným pískem). Malé vzorky nejsou výhodné pouze pro menší spotřebu materiálu. Jejich výhodou je i snazší plnění požadavku na použití složek naprosto stálých vlastností.

Nároky na pevnost betonu jsou v současnosti plněny bez větších problémů. Mnohem náročnější je zkušební činnost zaměřená na vlastnosti betonu, které ovlivňují **provozní schopnost a trvanlivost konstrukce**. Vyhledávací zkoušky zaměřené na vlastnosti pojivové (nebo jemnozrné maltové) kaše mohou rozsah velmi náročných zkoušek podstatně snížit, zvláště při účelnosti velkého rozsahu optimalizační činnosti. Protože přínosy některých příměsí se uplatní pouze v kombinaci s dalšími složkami (též s přísadami s plastifikačním, dispergačním a/nebo retardačním účinkem), umožní provádění navržených zkoušek „vodonáročnosti“ omezit podrobnější zkoušení jednotlivých složek.

HODNOCENÍ PŘÍMĚSÍ POUŽITÍM K-HODNOTY

Široká problematika *k*-hodnoty je v této době řešena novou Technickou zprávou CEN/TC 104/SC1 N717 [101], zpracovanou v rámci prací na **revizi prEN 206** [102]. Specifikace stanovených *k*-hodnot je uvedena v tab. 5, zpracované po-

Tab. 5 Návrh normativních k -hodnot v připravované novelizaci EN 206-1 [101] ■ Tab. 5 Normative k -values proposal for the amended EN 206-1 [101] in preparation

Příměs	Druhy cementu c povolené EN 197-1	Normativní k -hodnoty pro vlivy prostředí		Max. započítatelné podíly ¹⁾
		XO, XD, XA, XM	XC, XF	
Popílek p dle EN 450-1	CEM I	0,4		$p/c = 0,33$
	CEM II			$p/c = 0,25$
Křemičitý úlet s dle EN 132-63-1	CEM I a CEM II (kromě CEM II/A-D)	2 pro $(v/c)_{eq} \leq 0,45$	2 pro $(v/c)_{eq} \leq 0,45$	$s/c = 0,11$
			1 pro $(v/c)_{eq} \geq 0,45$	
Vysokopevní moučka vm dle EN 15167-1	CEM I a CEM II/A	0,6 ²⁾		$vm/c = 1$

¹⁾ hmotnostní podíly k obsahu cementu c

²⁾ doporučená (nenormativní) hodnota

dle nového článku Müllera [103]. Uvedené hodnoty jsou platné jak pro zápočty obsahu uvedených příměsí do ekvivalentního vodního součinitele, tak i pro výpočty s cílem posoudit dodržení předepsaných minimálních obsahů cementu.

Podle uvedené publikace, ve které je odlišně než dosud specifikována k -hodnota křemičitého úletu při vlivech prostředí XC a XF, platí uvedené k -hodnoty jak pro posuzování pevnosti, tak i pro posuzování odolnosti proti vlivům prostředí. Uvedené řešení, které s cílem usnadnit kontrolu shody plně nevyjadřuje vlivy příměsí na odolnost betonu, může být i nadále nahrazováno ekvivalentní koncepcí posouzení vlastností betonu (equivalent concrete performance concept, ECPC), nově navíc i ekvivalentní koncepcí efektivnosti kombinací (equivalent performance of combinations concept, EPCC). S cílem omezit nároky na dlouhodobé zkoušky trvanlivosti má tato další koncepce EPCC umožnit využití místních zkušeností.

NORMOVANÉ A ÚČELNÉ VYUŽÍVÁNÍ CEMENTŮ S CEMENTÁŘSKÝMI PŘÍMĚSMI

Přípustnost cementů s cementářskými příměsmi

Podobnou funkci jako příměsí mají i obdobné hlavní a vedlejší složky cementu. Výše zmíněný článek Müllera [103], zaměřený na přípravu aktuálních betonářských předpisů, obsahuje proto i základní údaje o použitelnosti cementů v revidované prEN 206 (označení EN 206-1 nebude použito pro připravované zahrnutí dosavadních ustanovení EN 206-9 do připravované EN 206).

Obecně se opět stanovuje použitelnost cementů dle normy EN 197-1, v jejímž novém vydání [104] jsou obsaženy mimo jiné i síranovzdorné cementy. V odůvodněných případech bude možno použít i cementy dle EN 14216 (nízké hydratační teplo) a dle EN 15743 (struskosíranový cement). Příloha F uvedené euroverze prEN 206 obsahuje proti nyní platné euroverzi i ustanovení z národní německé normy DIN 1045-2 týkající se použitelnosti cementů CEM II. Pro zahrnutí těchto ustanovení DIN 1045-2 do současně platné ČSN EN 206-1 [36] se pro ČR z hlediska Přílohy F tedy mnoho nezmění.

Při aplikaci prEN 206 v ČR a ve vztahu k vhodnosti cementů by však měla být revidována ta národní ustanovení v čl. 5.1.2, která se týkají **použitelnosti cementů v konstrukcích z předpjatého betonu** s nechráněnou předpjatou výztuží. Podle tohoto článku vyhovují pro uvedený účel jen cementy CEM I a CEM II/A-S (ten jen s nárokem na náročnou průkazní zkoušku). V prEN 206 je vyjmenováno šest podmínek, ke kterým se přihlíží při volbě druhu cementu. Použití pro předpjatý beton mezi nimi není (nebylo ani dříve). Uvedená normativně formální námitka je zde uváděna hlavně proto, aby nebylo nutno, až na následující dvě výjimky, uvádět mnoho dalších věcných argumentů.

Prvou je ověřená vhodnost mnoha jiných cementů než CEM I a CEM II/A-S pro vysokopevnostní a vysokohodnotné betony; při zkouškách 145 receptur [100] betonů UHPC daly dokonce nejlepší výsledky betony s ternárními cementy.

Dále je třeba vzít v úvahu, že pro konstrukce z předpjatého betonu lze používat normami stanovené příměsí. Tím spíše nemůže být na závadu použití obdobných příměsí při výrobě cementu.

Výhody využívání cementů obsahujících více hlavních složek

Používání cementů s cementářskými příměsmi je v některých případech výhodnější než používání příměsí ve výrobnách betonu. (Výhody použití příměsí v betonárnách jsou uvedeny v dále uvedené kapitole). Některé důvody a příklady:

Homogenita pojivového produktu je v cementárnách zajištěna buď společným mletím, nebo, nově, i samostatným mletím hůře melitelné složky (např. vysokopevní strusky) nebo lépe než slinek melitelné hlavní nebo vedlejší složky (např. vápence) a následující homogenizací.

Některé betonárny nemají pro speciální příměsí potřebné skladovací, přepravní a dávkovací zařízení. Uvedené se týká hlavně submikronových příměsí, mimo jiné velmi jemných druhů křemičitého úletu.

Z výše uvedeného důvodu mohou být velmi účelně používány některé speciální cementy, např. dříve uvedené [85, 86, 87] špičkové cementy. Nově je vyráběn i fotokatalytický cement [105] obsahující takové nanočástice TiO_2 , které svou samočisticí funkcí brání znečišťování bílého nebo jiného pohledového betonu.

VHODNOST POUŽÍVÁNÍ PŘÍMĚSÍ V BETONÁRNÁCH, HLAVNĚ VE VÝROBNÁCH TRANSPORTBETONU

Používání příměsí má dlouhou tradici i na našem území [106]. Nejhmotnější byla např. příměs popílku využívána při výstavbě vodního díla Orlík [107], kde bylo v letech 1956 až 1961 vyrobeno celkem 923 000 m^3 popílkového betonu; hlavním cílem bylo omezit rychlost vývinu hydratačního tepla. Vlivem pozdější módy „jednosložkových“ cementů se sice používání příměsí silně omezilo. K jejich širšímu využívání došlo až kolem roku 2000. Převážně z ekonomických důvodů to byl nejprve a v nejširší míře popílek. Později byla k dispozici i mletá vysokopevní struska a její směsi [16, 78, 79]. Pro úplnost jsou dále uvedeny i hlavní neekonomické (technické a kvalitativní) důvody pro použití příměsí v betonárnách.

Při nízkých požadavcích na pevnost a při současných cementech s vysokou normalizovanou pevností jsou potřebné obsahy cementu často podstatně menší, než je rozmezí C_f mezi podkritickým a nadkritickým obsahem pojiva, viz část 1 tohoto příspěvku [109]. Při podkritickém obsahu cementu a u dobře zpracovatelných betonů pak však nejsou

dosahovány potřebné vlastnosti čerstvého betonu (**čerpateľnosť, samozhutniteľnosť, nerozmešovanie** – hlavně při betonování pod vodou). Vlivem zvýšené **náchylnosti k odlučování vody** jsou nedostatečným obsahem pojiva nepříznivě ovlivněny i užité vlastnosti ztvrdlého betonu. Vlivem migrace odlučující se vody je především znehodnocována jakost kontaktní zóny (zvláště na styku s hrubými zrny kameniva) a to se všemi negativními důsledky na **vodonepropustnost a odolnost proti vlivům prostředí**. Uvedený negativní vliv se netýká pouze samotného betonu; snižuje se i **soudržnost betonu s výztuží** a funkce ochrany ocelové výztuže proti korozi. Dostatečný podíl pojivových zrn (tím případně i příměsí) je i nutnou podmínkou jakostní výroby **pohledových betonů** [110].

Hrubě směrné hodnoty minimálních hodnot obsahů cementu (rozmezí C_p), při kterých není třeba zvětšovat obsah pojiva použitím příměsí, jsou uvedeny v tab. 6 a to v závislosti na požadovaných vlastnostech čerstvého a ztvrdlého betonu (čerpateľnosť, samozhutniteľnosť, nepropustnosť) a na použitém kamenivu.

Pro obvyklý nedostatek lehkého nejdrobnějšího kameniva lze vhodnou příměsí (především popílkem) snížit objemovou hmotnost lehkých betonů.

Příměs lze využít i s cílem prodloužit dobu dobré zpracovatelnosti betonu. (V současnosti je však zpravidla výhodnější vhodně zvolená přísada.)

Použitím příměsí lze bez nároku na speciální zdící cement zajistit i výrobu zdících malt (v případné kombinaci s provzdušněním nebo napěněním).

Příměs se i nadále uplatňuje při potřebě omezit rychlost vývinu hydratačního tepla. Podobně jako u lehkých betonů bývá toto použití účelné i v případech, kdy k dosažení potřebných vlastností betonu jsou nutné větší obsahy cementu, než je výše specifikované rozmezí. Použitím obecně využívané příměsí (především popílkem) se proto u většiny betonářů umožní pracovat pouze s jedním druhem cementu. (V případě mimořádné potřeby použít speciální cement se v tomto případě uvolní jedno z používaných provozních sil; zásobní síla zůstávají k dispozici jen pro běžně používaný cement).

Literatura:

- [91] Schmidt M., Geisenhanslücke C.: Optimierung der Zusammensetzung des Feinkorns von Ultra-Hochleistungs- und von selbstverdichtendem Beton (Optimalizace složení jemných zrn vysokohodnotných a samozhutnitelných betonů), beton 5/2005
- [92] Schmidt M., Bornemann R.: The Role of Powders in Concrete (Úloha mouček v betonu), 6th Int. Symp. on High Strength/High Performance Concrete, 2002
- [93] Brameshuber W.: Betonzusatzstoffe für sehr leistungsfähige Betone – Einsatzmöglichkeiten in der Fertigteilverindustrie (Příměsí do betonu pro velmi vysokohodnotné betony – Možnosti využití v prefabrikaci); Kongressunterlagen 53. BetonTage, 10. – 12. 2. 2009, Neu-Ulm
- [94] Möser B., Pfeifer C., Heinz D., Gerlicher T., Mechtcherine V., Dudziak L.: Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit und Gefügeentwicklung von UHPC, Einfluss von Zusatzstoffen und Nachbehandlung auf die Gefügestruktur ultrahochfester Betone (Výzkumy zpracovatelnosti a tvorby struktury UHPC, Vliv příměsí a ošetřování na tvorbu struktury vysokopevnostních betonů); Cement International 8(2010) Nr. 6
- [95] Reschke T., Siebel E., Thielen G.: Einfluss der Granulometrie und Reaktivität von Zement und Zusatzstoffen auf die Festigkeits- und Gefügeentwicklung von Mörtel und Beton. (Vliv granulometrie a reaktivitu cementu a příměsí na pevnost a strukturu malty a betonu); publikace VDZ (Verband Deutscher Zeitschriftverleger), Berlin, 2000
- [96] Baustofftechnische Daten nach DIN EN 206-1 und DIN 1045, 2010, 22. Auflage www.cemex.denac
- [97] Schiessl P., Meng B.: Grenzen der Anwendbarkeit von Puzzolanen in Beton (Meze použitelnosti pučolánů v betonu); Forschungsbericht 405, Institut für Baustoffforschung, RWTH Aachen, 1996
- [98] Fontana P.: Einfluss der Mischungszusammensetzung auf die frühen autogenen Verformungen der Bindemittelmatrix von Hochleistungsbetonen (Vliv složení směsi na počáteční autogenní přetvoření vysokohodnotných betonů); doktorská práce (Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina), 2006/2007
- [99] Štěrbá A., Doktor A.: Plánovaný pokus k ověření vlivu vlastností složek betonové směsi; Stavební výzkum, 1980/1
- [100] Durand B.: Processus itératif d'élaboration d'un mélange de béton de poudre réactive dle plus 200 MPa a l'aide de ciments ternaires (Postup výroby reaktivní práškové betonové směsi s pevností nad 200 MPa za použití ternárních cementů), Huitième édition des Journées scientifiques du Regroupement Francophone pour Recherche et la Formation sur le Béton (RF)2B, Montréal, Canada, 5-6 juillet 2007
- [101] CEN Technical Report CEN/TS 104/SC1 N717: Use of *k*-value concept, equivalent concrete performance concept and equivalent performance of combinations concept, stand 26.10.2011 (Technická zpráva CEN/TS 104/SC1 N717 Použití konceptu *k*-hodnoty, ekvivalentní koncepce posouzení vlastností betonu a ekvivalentní koncepce efektivnosti kombinací, stav k 26.11.2011)
- [102] prEN 206 : 2012:E Concrete – Specification, performance, production and conformity (March 2012)
- [103] Müller Ch.: Aktuelle Regelwerke für Beton (Aktuální betonářské směrnice); beton 03/2012
- [104] ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití; duben 2012
- [105] Folli A.: Inovativní fotokatalytický cement obsahující nanočástice TiO₂; Beton TKS 6/2011
- [106] Bezděk J., Arbes J.: Popílkové betony; SNTL Praha, 1975
- [107] Zobal O., Padevět P., Bittnar Z.: Orlická přehrada – Beton s příměsí popílkem po 50 letech; 18. Konf. Betonářské dny (2011)
- [108] Žaloudek I., Šafra J.: Rozšíření výroby samozhutnitelných betonů v TBG Severní Morava; 15. Betonářské dny 2008
- [109] Štěrbá A.: Příměsí dřívě a nyní – Část 1; Beton TKS 6/2011
- [110] Mazurová M.: Poznámka k nové rubrice Pohledový beton (5/2011); Beton TKS 1/2012
- [111] Hochentwickelte Zusatzmittel helfen, früher unlösbare Aufgaben zu meistern (Výkonné přísady pomáhají zvládat dřívě neřešitelné úlohy), beton 04/2012
- [112] Rickert J.: Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen – Wechselwirkungen mit PCE-Fliessmitteln (Cementy s více hlavními složkami – Vzájemné působení se superplastifikátory PCE); 56. BetonTage Neu-Ulm (8. 2. 2012)
- [113] Höveling H.: Robustheit von selbstverdichtendem Beton (Robustnost samozhutnitelného betonu), doktor. dizertace na Universität Hannover, 2006
- [114] Melichar T., Procházka D.: Studium vlivu jemnozrnných příměsí z alternativních zdrojů na fyzikálně-mechanické parametry HSC; Beton TKS 6/2011
- [115] Ondráček M.: Vliv různého množství příměsí na vlastnosti UHSC; 18. Konference Betonářské dny (2011)
- [116] Špak M., Halaša I., Šuster M., Vojtechovský O.: Informácie o používání popoľčka do betónu; BetónRacio Trnava, 2012

Tab. 6 Směrné hodnoty minimálních hodnot obsahů cementu (rozmezí C_r), při jejichž nedodržení je třeba zvětšit obsah pojiva použitím přísad; jejich závislost na požadovaných vlastnostech čerstvého a ztvrdlého betonu a na použitém kamenivu ■ Tab. 6 Guiding figures of minimum values of cement content (range C_r); when not kept, it is necessary to increase the amount of the binding agent using additives. Dependence of the guiding figures on required features of fresh and hardened concrete and on the aggregate used

Požadavky	D_{max} [mm] kameniva				
	4	8	16	22	32
	Směrné obsahy cementu na rozmezí C_r [kg/m ³]: C_{rt} pro těžené hrubé kamenivo / C_{rd} pro drcené hrubé kamenivo				
Bez zvláštních požadavků	390	340 / 360	310 / 325	300 / 315	285 / 300
Čerpatelnost, pohledovost, vodonepropustnost	430	370 / 390	340 / 360	320 / 340	310 / 330
Samozhutnitelnost ^{*)}	620	530 / 560	490 / 520	470 / 500	450 / 480

^{*)} Uvedené směrné hodnoty neplatí pro betony s nízkými vodními součiniteli vodním součiniteli, při kterých nedochází k odlučování vody
^{**)} Při použití stabilizační přísady jsou směrné hodnoty C_r zřetelně menší [108]

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Při vhodných podmínkách se příměsi osvědčily i v dobách, kdy nebyly k dispozici současné výkonné přísady. Zmíněná analýza [107] padesát let starého popílkového betonu z přehrady Orlík např. ukázala, že částečná náhrada cementu popílkem nepřináší dlouhodobá rizika.

V tomto příspěvku bylo mnohokrát zdůrazněno, že rozhodující vliv na rozšíření oblasti použití příměsí, betonářských i cementářských, mají **novodobé přísady**. Z průběhu jejich vývoje můžeme navíc předpokládat, že tyto přísady budou dále zdokonalovány. Svědčí o tom i publikovaný rozhovor [111] s vedoucím pracovníkem významné organizace stavební chemie Dr. T. Krauchem. Ten kromě potvrzení ústupu lignin-sulfonátových a melaminsulfonátových přísad zdůraznil **výjimečné vlastnosti nově vyvíjených a zaváděných přísad**. V první řadě jde o účinné superplastifikátory, které zabezpečují dlouhé doby dobré zpracovatelnosti betonů i za podmínek s teplotami až 50 °C. Dalším novým produktem je bezchloridový urychlovač tvrdnutí X-Seed 100 (Be), který při teplotě 20 °C umožňuje rychlost tvrdnutí dosahovanou jinak při teplotách 40 až 50 °C. Uvedeným cílem použití této přísady je i rozšířit oblast využívání příměsí jako je popílek a vysokopepní struska, a tím zlepšit bilanci CO₂. Uvedená přísada je zajímavá i obsahem nanozrn krystalů CSH; jejich hlavním vlivem je funkce nukleí (zárodků), které svým rozměrem navíc ovlivňují, podobně jako nanopříměsi, i hutnost kontaktní zóny. Vlivu PCE přísad na využitelnost cementů s více hlavními složkami se nově věnuje Rickert [112].

Využití nově zaváděných složek vyžaduje rozsáhlou vyhledávací a optimalizační činnost v oboru technologie betonu. Tato činnost probíhá velmi intenzivně. Svědčí o tom mnohé publikace. Dále budou uvedeny jen některé z nich. O hloubce a pečlivosti výzkumu vlivu popílků, vápencové moučky, mikrosiliky a nanosiliky na robustnost samozhutnitelných betonů svědčí doktorská dizertace Hövelinga [113]. Možnosti rozšíření sortimentu příměsí z alternativních zdrojů se věnují např. Melichar a Procházka [114] a Ondráček [115]. Pro rozšíření nových zkušeností jsou přínosem i souhrnné informační zprávy, např. zcela nová [116].

Vlivem dokonalejších přísad a jimi umožněnému širšímu využívání příměsí se z šedého fádního třísluškového betonu stává sofistikovaný pětisložkový (s případnými vlákny šestisložkový) materiál náročný na výběr a kontrolu složek a na optimalizaci jeho složení. Podobně, jako je tomu v jiných odvětvích, se tak díky robustnějšímu čerstvému betonu usnadňuje následný proces výroby a díky odolnému a trvanlivému ztvrdlému betonu omezuje rozsah nutných oprav a prodlužuje provozní životnost konečného díla.

Autor děkuje za podklady a spolupráci, především ZAPA beton, a. s., dále BASF Stavební hmoty, s. r. o., BetónRacio, s. r. o., Trnava, a Stachema Kolín, s. r. o.



Ing. Alain Štěrba
e-mail: a.sterba@volny.cz

7. ročník odborné konference

PODLAHY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY VE STAVEBNICTVÍ 2012

Kulturní centrum Novodvorská, Praha 4, 19. a 20. 9. 2012

PODLAHY A POVRCHOVÉ ÚPRAVY

VE STAVEBNICTVÍ '12

Sekce Podlahy

- I. Návrh podlahy, normalizace, věda a výzkum
- II. Průmyslové podlahy
- III. Nosné vrstvy podlah bytové a občanské výstavby
- IV. Povrchy podlah bytové a občanské výstavby
- V. Tepelné a akustické izolace
- VI. Podlahové topení
- VII. Podlahy na terasách, balkónech a v exteriéru

Sekce Povrchové úpravy

- I. Normalizace, věda a výzkum
- II. Nátěry (na beton, ocel, dřevo a další podklady)
- III. Povrchové úpravy v interiérech
- IV. Povrchové úpravy v exteriéru
- V. Fasádní a zateplovací systémy
- VI. Střešní krytiny

Odborný garant sekce Povrchové úpravy:

doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.
jiri.dohnalek@betonconsult.cz, tel: +420 602 324 116

Odborný garant sekce Podlahy:

Ing. Petr Tůma, Ph.D.
petr.tuma@betonconsult.cz, tel: +420 724 080 924

Sekretariát konference:

BETONCONSULT S.R.O.
V Rovínách 123, 140 00 Praha 4
e-mail: konference@konferencepodlahy.cz
Tel/fax: +420 244 401 879, www.betonconsult.cz

Konference je akreditována v programech ČKAIT a ČKA.

Podrobné informace a on-line přihlášky na www.konferencepodlahy.cz