

V posledních letech dochází v ČR k prudkému nárůstu používání přísad do betonu. Ty se staly nezastupitelnou součástí technologie výroby betonové směsi. Pojednává se zvláště o technických a ekonomických aspektech využívání ztekucovačích a provzdušňovacích přísad v prefabrikaci a transportbetonu.

An appreciable increase of concrete admixtures' uses has been significant for the Czech Republic during last years. These were an important part in the technique of concrete mixtures production. The paper deals with technical and economical aspects of superplasticizers and air entraining agents and their application in the technology of precasting and ready mix concrete.

Za rozhodující přínosy v technologii výroby betonových směsí za poslední desetiletí je možné považovat:

1. Koncentraci rozptýlené staveništní výroby do stabilních výroben transportbetonu a prefabrikátů. To umožnilo mezi jinými i masový rozvoj používání přísad do betonu, které se stalo nedílnou a nezastupitelnou součástí technologie výroby betonové směsi.
2. Vynalezení, zavedení výroby a zavedení používání superplastifikátorů – ztekucovačů betonových směsí.
3. Zabezpečení trvanlivosti betonu provzdušňovacími přísadami.

Rozvoj použití přísad

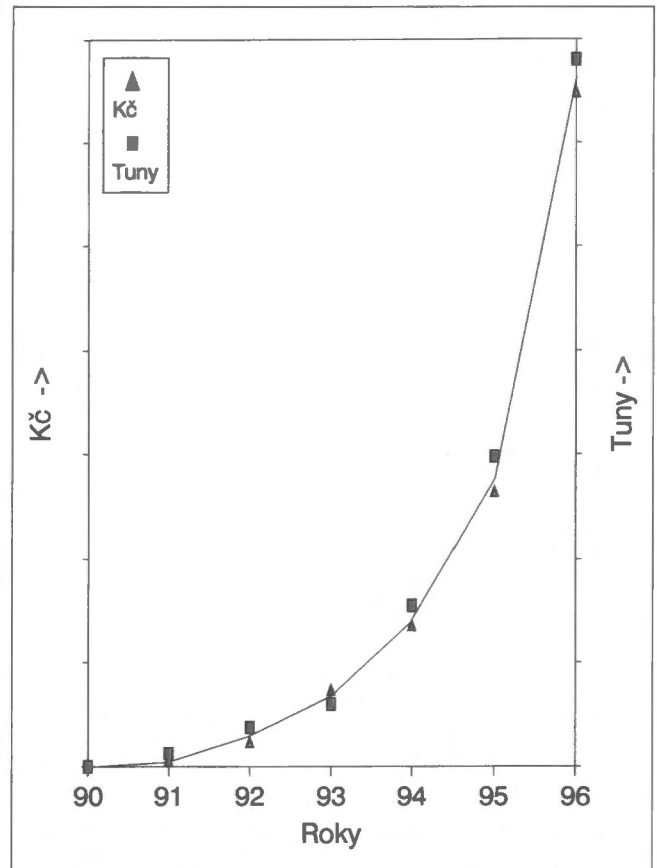
Při dnešním omezeném přístupu k objektivním statistickým údajům je těžké exaktní vyjádření k tomu, zda k masovému rozšíření došlo i u nás. Na obr. 1 je schematicky znázorněn růst prodeje přísad do betonu za poslední roky, jak ho zachycují podklady technického servisu poskytovaného výrobcům betonu českou firmou Stachema, která je v současnosti jedinou tuzemskou firmou poskytující kompletní sortiment přísad do betonů. I když vezmeme ohled na skutečnost, že jde o firmu relativně novou a tedy s přirozeným vzrůstem výkonu, je evidentní, že růst používání přísad je vysoký, zvláště když uvážíme, že jde o vzrůst v době útlumu stavebních prací a dále to, že přísady jsou nabízeny a prodávány u nás i řadou zahraničních firem. Je pozoruhodné, že v tržním systému nastal tento progres rychle a dá se říci samočinně, zatímco snahy řízeného hospodářství dosáhnout uplatnění přísad administrativními metodami nepůsobili.

Ztekucovače – superplastifikátory

Ztekucovače – v anglosaském světě označovány jako superplastifikátory – vyřešily základní protřečení výroby kvalitního betonu a to vyrobit betonovou směs vysoké tekutosti – pohyblivosti – bez vysokého obsahu záměsové vody. První superplastifikátor přihlášený k patentování v Německu SKW Trostberg v roce 1966 byl výsledkem snahy rozšířit využití melaminu, který byl jedním ze základních výrobků této firmy [1]. Po překonání všech bariér neznalosti a konzervativnosti, které se od našich neliší, se v sedmdesátých letech nový výrobek s obchodním názvem Melment – jako složenina ze slov melamin a cement – prosadil v Německu, postupně v Evropě a dále na ostatních kontinentech. Melment je vodorozpustný polymer v podstatě sulfonylovaný kondenzát melaminu

a formaldehydu definovaného stupně kondenzace. Současně došlo k zavedení druhého syntetického ztekucovače – sulfonylované naftalenformaldehydové pryskyřice. Ty tvoří rozhodující výrobky ve světě dodnes. V bývalém Československu později vyvinutý fenolformaldehydový kondenzát – dodnes vyráběný – nenašel odezvu ve světě zřejmě pro přísnější hygienické předpisy v zahraničí.

Obr. 1 – Růst odbytu přísad do betonu – STACHEMA / Increasing marketing of concrete admixtures



Do té doby byly používány v technologii betonu plastifikátory výhradně na bázi odpadních přírodních látek. Rozhodující objem tvořily přípravky na bázi lignosulfonanů z výroby sulfitové celulozy. U nás byl již v padesátých letech vyráběn Plastifikátor S, na svoji dobu progresivní a popravdě v jistých směrech lepší než některé v současnosti u nás nabízené a dokonce i používané výrobky. Bylo to díky tomu, že to byl výrobek s kontrolovatelným obsahem cukru. Působení cukru v betonu je složité a v jistém směru nepředvídatelné [2]. Za jistých okolností je i příznivé, za jiných může nejen zpomalit, ale zcela zastavit hydrataci cementu a tím znehodnotit beton. Druhým problémem lignosulfonových přísad je pěnivost, která může vyvolávat nežádoucí pórovitost betonu. Tuto pórovitost není možné zaměřovat s provzdušněním betonu (viz dále), které je charakterizováno záměrným vytvořením rovnoměrně rozptýlených kulovitých mikro dutin o průměru optimálně 100 - 300 mikrometrů, čemuž póry vytvářené lignosulfonany neodpovídají. Přiměřeným zpracováním je možné surovinu – sulfidové výluhy zbavit větší části cukru a tak tento činitel dostat pod kontrolu.

Protože suroviny jsou přírodní látky, mění se jejich vlastnosti i vlivem přírodního dění. Například se vlivem ročního období mění množství pryskyřičné látky v dřevní hmotě a tím následně i pěnотvornost v betonu. Roční období může ovlivnit i kvasné procesy sloužící pro odcukermění. Eliminování těchto činitelů je složité, prodražuje výrobky a snižuje jejich spolehlivost. I když jsou dnes na trhu výrobky této kategorie s kontrolovanou kvalitou, vyplatí se mít na pozoru u nabízených výrobků vyznačujících se zvláště nízkou doporučovanou dávkou použití a nízkou cenou.

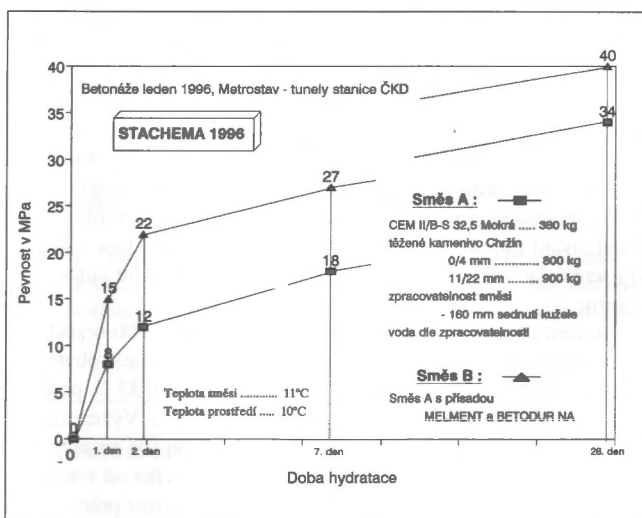
Pro betony nízkých tříd – myšleno tříd nižších než B 20 – mohou i nadále v transportbetonu mít svoje místo, pokud jde o plastifikátory z řádně zpracovaných surovin a výrobky přiměřeně kontrolované a to vzhledem na nižší cenu než mají syntetické a díky tomu i jednoznačně definované ztekucovače. Nicméně přídavky klasických plastifikátorů z přírodních surovin budou vždy omezené větším či menším retardačním působením a rizikem, které vytvářejí. Na druhé straně syntetické přísady mohou a jsou přidávány bez negativních dopadů v násobcích maximálně přípustných dávek lignosulfonových plastifikátorů. Jinými slovy i kdyby vlastní ztekucovací 0-2 specifický ztekucovací účinek byl stejný, můžeme používáním ztekucovačů dosáhnout několikanásobné ztekucení betonové směsi bez jakýchkoliv rizik. Díky tomu dostal technolog do rukou možnost vyrobit směs takové tekutosti, jakou si přeje a s takovou hodnotou v/c, jakou si přeje. A protože hodnota v/c je určující pro pevnost, tedy i s pevností, jakou si přeje. Je třeba přitom říci, že směsi ztekucené vhodným ztekucovačem nemají snahu se rozměšovat. Jsou soudržné při dopravě a lití, na rozdíl od směsi, kde tekutost je získávána přídavkem vody. Nevznikají šterková hnízda v betonu a jiné vady povrchu. Protože uvedené syntetické přísady nezpomalují hydrataci tak jako lignosulfonové plastifikátory, beton i při vysoké tekutosti dosahuje nejen vysokou konečnou ale i počáteční pevnost. Uvedme několik konkrétních příkladů z výrobní praxe u nás.

V závislosti na kamenivu a dávce cementu se v prefabrikaci vyrábějí s použitím ztekucovače velmi měkké a tekuté směsi s v/c v rozmezí 0,3 – 0,4. Např. PDB Dolní Bučice, s. r. o. přídavkem ztekucovače Melment dosahuje třídu betonu B 55 ze směsi takové konzistence již při obsahu cementu CEM I 42,5 Prachovice pod 400 kg m⁻³. ZIPP Bratislava, s. r. o. – průkopník používání ztekucovačů již před 15-ti lety – vyrábí předpjaté dílce z betonu B 45 a B 55 jen s použitím ponorné vibrace ze směsi se sednutím větším než 120 mm, kdy použitím ztekucovačů Melment a Melcret se v/c pohybuje v rozmezí 0,31 – 0,35. Při použití CEM I 42,5 se po 18-ti hodinách tvrdnutí směsi ohříváné v míchačce na 30 °C získává pevnost pro vnesení předpětí řádu 40 MPa. V jiné výrobě se pevnost 50 MPa, požadovaná s ohledem na dodržení hodnot vzepětí, dosahovala po dvou dnech ze studené betonové směsi teploty pod 10 °C při tvrdnutí dílce ve výrobě s teplotou ovzduší okolo 5 °C. Použití uvedených ztekucovačů případně v kombinaci s urychlovačem tvrdnutí Betodur NA zabezpečilo i v dlouho trvající zimě 1995 až 1996 požadovaný rytmus výroby železobetonových prefabrikátů včetně tenkostěnných plošných dílců jako jsou filigrány v řadě vyrobené a to zcela bez ohřevu nebo s jeho redukcí na krátký tepelný šok k zahřátí formovací techniky.

V prefabrikaci odstranily ztekucovače dva procesy. Proteplování a intenzivní vibrací. Proteplování dříve téměř 90 % výroby je dnes výjimkou. Náhrada zavlhklých betonových směsí směsí tekutými snížila pracnost při ukládání a zhutňování směsi. Ztekucovače umožnily upustit od nákladných forem dimenzovaných na působení intenzivní příložné vibrace a na ohřev parou či jiným médiem pláštěm formy. Klesly náklady na formy, náklady na energii pro ohřev i zhutňování, klesla hlučnost ve výrobě a nežádoucí vlhkost prostředí. Příložnou vibraci nahradila ve značné míře ponorná, pružně použitelná při jakékoliv změně formy. Ztekucovačem je ovladatelná odformovací a manipulační pevnost, což usnadňuje plnění náročných časových termínů výroby. Garantování i nejvyšších tříd pevností při použití běžných značek cementu není problémem bez vysokých dávek cementu. Dosahuje

se vysoká kvalita povrchu a vzhledu. Náklady na dosažení těchto přínosů ztekucovači se pohybují okolo 100 až 200 Kč/m³, což je evidentně méně než finanční hodnota úspor nákladů plynoucích z těchto přínosů. To společně se snahou zvyšovat kvalitu a vzhled výrobků vedlo ke skutečně masovému rozšíření v prefabrikaci.

Obr. 2 – Průběh nárůstu pevností betonu v tlaku / Development of compressive strength rise



U betonu pro monolitické konstrukce našly u nás ztekucovače jednoznačné použití u vyšších tříd. K průkopníkům patří například Vodní stavby a. s., které už v roce 1992 vybudovaly 20 betonových trezorových komor s použitím ztekucovače Melment. Pozoruhodné je, že betonová směs byla vyráběna v cizích betonárnách v různých částech republiky, které neměly vlastní zkušenosti a betonovalo se při různých rozvozných vzdálenostech a v teplotách pohybujících se od teplot nízkých až po teploty vysoké – mnohdy třicetistupňové. Technologická a organizační úroveň byla tak vysoká, že zabezpečila úspěšnost betonáže ve všech případech. V současnosti vyrábí u nás betony vysokých tříd většina výrobců transportbetonu.

Ztekucovače se v monolitu – podobně jako v prefabrikaci – uplatňují zvýšením počáteční pevnosti významně snížením vlastních nákladů na bednicí systémy, u kterých je časové využití vzhledem na nákladnost finančně důležité. Představu dává obr. 2, na kterém jsou graficky zpracovány zkoušky provedené v rámci technického servisu poskytovaného firmou Stachema na stavbě tunelu pražského metra v souvislosti s určováním dosažitelnosti požadované pevnosti pro odbednění.

Graf ukazuje, jaké významné páky získává technolog použitím moderních přísad. Je tu zřejmý zásadní rozdíl proti klasickým lignosulfonovým plastifikátorům. Ztekucovače – zvláště Melment – nezpomalují hydrataci a při využití jejich působení pro snížení obsahu záměsové vody jsou vysokoúčinným urychlovačem počátečního tvrdnutí, které na rozdíl od mnoha běžných urychlovačů není provázáno následným poklesem konečné pevnosti, ale naopak jejím zvýšením.

Protože ztekucovače v případné kombinaci s vhodným urychlovačem tvrdnutí betonu umožňují dosáhnout za krátký čas značnou pevnost i za nízkých teplot, jsou velmi efektivním opatřením zimní betonáže. Nemají negativní vliv na konečnou pevnost ani nekomplikují rozvoz směsi rychlým tuhnutím jako mnoho tzv. přísad proti mrazu, které jsou v podstatě jen urychlovači tuhnutí a tvrdnutí.

Jestliže je použití ztekucovačů v transportbetonu běžné u tříd vyšších než B 25, nedosáhlo se u nás zatím rozšíření v oblasti u nás nejvíce užívaného betonu B 20 – B 25. U betonu těchto značek jsou v zahraničí ztekucovače využívány pro ulehčení, zrychlení a zlevnění betonáže ztekucením betonu.

Průkopníky byli Němci, kteří se i legislativně vypořádali s výrobou, použitím a kontrolou ztěkuceného betonu, pro který vytvořili označení „Fließbeton“ [3] resp. v anglosaské terminologii „superflow“ [4]. Zjednodušeně řečeno, k běžnému transportbetonu konzistence 80 až 100 mm sednutí, vyráběném v Německu běžně s přidávkou lignosulfonanového plastifikátoru, který tu má i určitou funkci regulátoru tuhnutí během transportu na větší vzdálenost, se na stavbě přidá před vlastním betonováním ztěkucovač tak, aby sednutí vzrostlo na přibližně 200 mm a více. Takto ztěkucená směs má charakter známý u samonivelačních podlahových směsí. Ztěkucovač tu neovlivňuje základní složení, neslouží ke snížení obsahu záměsové vody, zvýšení pevnosti či zlepšování jiných vlastností. Ty jsou určeny základní recepturou. Ztěkucovač ovlivní jen reologické vlastnosti směsi. Protože se ale nezvyšuje obsah záměsové vody, nemění se – neklesá pevnost jako při ztěkucování vodou přidanou do autodomíchávače. Ztěkucení urychluje vyprazdňování dopravního prostředku, usnadňuje čerpání a s využitím terénního převýšení jeho náhradu prostým nalitím směsi potrubím.

Americká firma Fox and Jacobs [5] použila 380 000 m³ betonu ztěkuceného Melmentem do 6 000 základových desek obytných domů. V hodnocení uvádí, že bylo dosaženo úspory 33 % pracovního času při dopravě, ukládání a zpracování betonu. Významně se zlepšila kvalita a vzhled betonu. Podstatně se zlepšila rovnost desek, což ulehčilo následné práce. Dosavadní odchylka od vodorovné klesla z 25 mm na 6 až 9 mm. Snížila se namáhavost práce a pracovní čety se redukovaly na polovinu. Firma má skladovací nádrž s dávkovacím zařízením na stavbě a Melment dávkuje do autodomíchávače podle ročního období a počasí. Německá firma Sibobeton uvádí, že více než 45 % transportbetonu realizuje jako Melmentem ztěkucený beton. Protože disponováním a použitím ztěkucovače na objednávku nic nezíská, nabízí firma od počátku značkový výrobek siboplan. I když je dražší než běžný transportbeton, přináší snížení nákladů stavebnímu odběrateli a z hospodárnění celkových nákladů na betonáž. Užitek u těchto dvou organizací nejde přitom k tíži investora. Navíc je tu zlepšení a záruka kvality, kterou firma demonstruje mimo jiné i tím, že z autodomíchávačů odmontovala zásobníky vody, využívané i zneužívané k ředění směsi vodou na stavbě.

Ztěkucená směs na rozdíl od řídkých směsí získaných přidáváním vody je soudržná, nerozměšuje se. U plošných konstrukcí odpadá prakticky zhutňování, rozprostírání, urovnávání povrchu. Roste rychlost betonáže, klesají náklady na mechanizmy a pracovní síly. Naši výrobci transportbetonu tuto možnost nenabízejí, převážně ji však ani neznají. Skutečností je, že vyžaduje marketingovou činnost i příslušný technický servis a to i ze strany dodavatele ztěkucovače. U vyspělých dodavatelů to však není problémem.

Prozdušňovací přísady

I když ztěkucovače umožňují bez problémů vyrábět betony nejvyšších dnes normovaných tříd betonu, neznamená to, že spolehlivě zajišťují trvanlivost betonu ve styku s klimatickými vlivy a chemickými rozmrazovacími prostředky. Skutečností je a svět to respektuje, že jediným současným spolehlivým opatřením je prozdušnění betonu. U nás je používán prozdušňovaný beton od padesátých let ve vodních stavbách – vodostavební beton a od výstavby dálnice i v dopravních stavbách. V ostatních případech, i když jde o konstrukce vystavené klimatickým vlivům a jiným korozivním účinkům, na škodu věci dosud stále ještě omezeně.

Beton je materiál vždy více či méně pórovitý. Je-li vlhký, voda v kapilárním pórech při záporných teplotách přechází v led, který má, jak známo, větší objem než voda původní. To má za následek vznik pnutí, která mohou překračovat svou hodnotou hodnoty tahové pevnosti.

V našem klimatickém pásmu dochází ročně až 100 i vícekrát k přechodu z kladné teploty na zápornou. To je větší nebezpečí než trvalý mráz. Počet tzv. ledových dní – celodenní mráz – je u nás nízký. Jsou-li kapiláry v betonu přerušeny vzduchovými póry, voda vytlačena rostoucím objemem při vzniku ledu je do nich vtlačena a tahové namáhání je tak sníženo. Tím odolnost opakovanému zmraznutí roste. Po tomto náhodném objevu američtí vědci vyčíslili, jaká musí být velikost těchto pórů a jejich vzájemná vzdálenost, má-li být eliminováno uvedené nadměrné tahové namáhání při mrznutí betonu. V praxi to zjednodušeně znamená dosáhnout ve směsi – podle velikosti maximálního zrna kameniva – 4 až 6 % objemu vzduchu a to ve formě rovnoměrně rozptýlených pórů o průměru 100 až 300 mikrometrů. Větší póry jsou neúčinné a škodlivé. Proto není každá pěnотvorná látka účinná a v betonu vítaná, jak už bylo výše uvedeno u lignosulfonových plastifikátorů. Protože s rostoucím provzdušněním klesá pevnost v tlaku zhruba o 3 až 4 % na každé procento provzdušnění, je též nutné, aby provzdušňovací účinnost byla konstantní. Původně se jako provzdušňovací přísady používaly přírodní látky – zmýdelněná kalafuna a později talový olej – v podstatě abietany a deriváty. U nás to byl Uusal od roku 1950 a později pak Plastair.

Moderní jsou však syntetické produkty – tenzidy. U nás vyráběný Poralan STA vykazuje optimální parametry z hlediska velikosti vytvářených pórů (tab. 1).

Tab. 1 – Mikroskopický rozbor vzduchových pórů v betonu / *Microscopic analysis of concrete air voids*

	Vozový beton dálnice D1 zahraniční provzdušňovací přísada		Betón provzdušňovací přísada PORALAN STA	
	% vzduchu v betonu	poměr v %	% vzduchu v betonu	poměr v %
Celkový obsah vzduchových pórů (%)	4,73	100	5,69	100
obsah aktivního vzduchu do 300 μm (%)	2,93	62	4,10	72

To dává garanci zabezpečení mrazuvzdornosti a odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám. Je to významné i pro výrobce betonu. Čím jsou dutiny menší, tím menší je pokles pevnosti provzdušněním. Snížení pevnosti provzdušněním je pochopitelně snadno kompenzovatelné zvýšením pevnosti současným použitím plastifikační nebo ztěkucující přísady. Proto je možné vyrobit prozdušněné betony i vysokých tříd B 45 a B 55. Musí být pochopitelně známa snášenlivost obou přísad. Prozdušnění je přitom funkcí nejen druhu a dávky přísady. Vliv má způsob a doba míchání, způsob přidání přísady, teplota, dávka a druh cementu, druh a zrnitost kameniva, konzistence, doprava a zhutňování směsi. Povinná systematická kontrola obsahu vzduchu má být při transportbetonu prováděna na stavbě, správně po čerpání. Organizacím bez zkušeností je možné doporučit odborný servis dodavatelem přísady, který je – alespoň pokud jde o českou firmu Stachema – poskytován zdarma. Tento servis vypracoval a eviduje receptury vytvořené pro řadu výrobců prefabrikátů a transportbetonu pro betony tříd B 15 až B 55. Z hlediska materiálových nákladů je pozoruhodné, že náklady na přidávek provzdušňovací přísady Poralan STA jsou běžně nižší než náklady na úsporu 4 % objemu vlastní betonové směsi, které vzduchem nahrazuje. Zvýšení trvanlivosti se dosahuje tedy bez zvýšení materiálových nákladů. I když výroba prozdušněného betonu znamená určité zvýšení náročnosti, je

třeba si uvědomit, že není významných staveb v zahraničí, kde by provzdušněný beton nebyl požadován vzhledem k jeho trvanlivosti.

Závěr

Používání moderních přísad v technologii výroby betonové směsi je v České republice na úrovni okolních států.

Menší využití ztekucovačů v oblasti transportbetonu pro ztekucený beton tříd nižších než B 30 je důsledkem krátké doby působení tržních mechanismů a zatím ještě působící cenové odlišnosti.

Méně konsekventní používání provzdušněného betonu – kromě vodních a dopravních staveb – není zapříčiněno výrobcí betonových směsí, ale neznalostí jeho významu v projekční a investorské sféře. Je třeba vážně uvažovat o podílu školní výchovy odborníků na těchto neznalostech.

Výrobci betonu u nás zatím nenašli partnera žádajícího třídy vyšší než je B 55, ačkoliv si je kromě jiného i za spolupráce odborníků naší firmy iniciativně předem připravili a případně i certifikovali.

K vlastní certifikaci se na základě vlastních zkušeností přikláníme k názorům vysloveným v zahraničí, že totiž nemá být v žádném případě brzdou uplatňování technického pokroku.

Literatura

- [1] **Waschipky J.:** 20 Years Experience with Superplasticized Concrete, *Proc of International Symposium „25 Years Melment-Concrete*, SKW Trostberg, Berchtesgaden, March 20, 1991 s. 21.
- [2] **Reul H.:** *Handbuch der Bauchemie*. Verlag für chemische Industrie, H. Ziolkowsky KG, Augsburg, 1991, s. 139.
- [3] **Richtlinie für Beton mit Fließmittel und für Fließbeton**, *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton – DAFStb im DIN Deutsches Institut für Normung Berlin*, 1986.
- [4] **Munn R. L.:** The Introduction of „Superflow“ in Australia, *Proc of VI. International Melment – Symposium*, SKW Trostberg, Munich 18. March 1981, s. 17.
- [5] **Zummo M.:** Melment and Its Use in Residential Construction in the United States, *Proc. of VI. International Melment – Symposium*, SKW Trostberg, Munich 18. March 1981, s. 12.

Ing. Zdeněk Bruthans, Stachema Kolín, Zibohlavy 27, 280 02 Kolín

STACHEMA

Vám představuje svůj výrobní program v oblasti stavební chemie

Ztekucovací a plastifikační přísady do betonu a malt zvýšení pevnosti, vodotěsnosti, úspora cementu
Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí betonových směsí pro zkrácení výrobních cyklů i pro stříkaný beton
Plastifikátor zpomalující tuhnutí betonu určený zejména pro transportbeton
Přísady proti mrazu vhodné pro betonování do -12 °C
Provzdušňovací přísada do betonu a malt pro výrobu mrazuvzdorného betonu
Ekologicky nezávadné odformovací prostředky pro všechny typy bednění a forem
Ošetřovací prostředky čerstvého betonu zabraňují vzniku trhlin v betonu v důsledku vypařování vody
Rychletuhnoucí směsi pro opravy betonu těsnění průsaků tlakových vod,
odstranění povrchových závad, opravy hran, rohů a jiných vad konstrukcí, kotvení
Barvy a jiné hmoty pro úpravy povrchů staveb fasádní i interiérové
Zateplovací a sanační systémy

PRAHA tel.: 02 / 86 16 01, fax.: 02 / 86 16 14
BRNO tel./fax.: 05 / 453 21 507 I. 129
OLOMOUC tel.: 068 / 522 67 13 I. 211

TÁBOR tel.: 0361 / 33 274
BRATISLAVA tel.: 07 / 371 401
KOŠICE tel.: 095 / 680 64 36

VÝROBA

•

PRODEJ

•

KONZULTACE

•

ZKUŠEBNICTVÍ