

# POZNATKY Z ŘEŠENÍ SOFTWARE PRO TECHNOLOGII BETONU

## EXPERIENCE GAINED FROM THE DESIGN OF SOFTWARE FOR TECHNOLOGY OF CONCRETE

**ALAIN ŠTĚRBA**

*V průběhu prací na softwarových programech (viz např. [www.unibet.cz](http://www.unibet.cz)) bylo třeba zpřesnit a propojit některé dosud používané vztahy a postupy potřebné pro řešení úloh technologie betonu. Pro rozsáhlou problematiku jsou uvedeny jen hlavní zásady přístupu k řešení, vynechány jsou např. otázky vlivu teploty a zcela speciálních betonů.*

*As part of work on computer software (see e.g. [www.unibet.cz](http://www.unibet.cz)), it was necessary to make some relations and earlier employed procedures needed for the solution of tasks of concrete technology more accurate and interconnect them. Due to the complexity of this issue, only the main principles of solution approaches are presented. The impact of temperature and special concretes, for example, are left out.*

Na podkladech pro budoucí softwarové řešení úloh technologie betonu v zásadě pracovali již naši předkové, zahraniční i domácí. Málokde najdeme tak rozsáhlý pramen dílčích vztahů jako v dílech S. Bechyněho, jejichž seznam je uveden v čísle 4/2003 našeho betonářského časopisu Beton TKS. Ve 2. díle Technologie betonu je popsáno podrobně patnáct návrhů betonu určité pevnosti a zpracovatelnosti, mezi nimi i české „Řešení ÚSHK“. Uvedený jednoduchý Jirsákův [1] postup se odlišoval od jiných tím, že vycházel jen z „užitných“ parametrů bez prostřednictví vodního součinitele; pro jeho vazbu na novou metodu hodnocení zpracovatelnosti (stupně MJ použitelné pro všechny konzistence) se však příliš nerozšířil.

Další etapu činnosti započal v Československu hlavně J. Stork [2], tentokrát již vysloveně s cílem navrhovat betonové směsi pomocí „samočinných počítačů“. S podobným cílem dále pracovali např. K. Sychra [3], A. Štěrba [4] a hlavně prof. J. Říha (pro množství publikací neuváděn žádný pramen). Byly tak zpřesněny mnohé potřebné vztahy, výše uvedeného konečného cíle se však v praxi nedosáhlo, pravděpodobně i z následujících důvodů:

- záběhová fáze výpočetní techniky, praktická neexistence osobních počítačů a z toho vyplývající administrativní komplikace (někdy i nutnost spolupráce s jinými podniky);
- malá hromadnost využití; jednotlivé betonárny (stavby, prefy) nebyly hromadně řízeny;
- malý sortiment betonů spolu s velmi malým využíváním přísad a příměsí;
- převládající nedostatečné vybavení betonáren (řízení, málo sil na cement a příměsí);
- vysoká variabilita vlastností složek, účelnost individuálního přístupu;
- nejednotnost a změny předmětových (beton, složky) i zkušebních norem, z toho vyplývající nemožnost využívání dřívějších domácích i zahraničních zkušeností;
- nedostatečný tlak na minimalizaci materiálových nákladů, pro který nedošlo k využívání zpracovávaných optimalizačních studií.

Poznatky z počítačové podpory technologie betonu, které budou uvedeny v následujících kapitolách, byly autorem a jeho spolupracovníky Alexandrem Doktorem a Tomášem Štěrbou získány a využity díky podpoře p. Jiřího Pavlici, současného generálního ředitele a. s. ZAPA beton. Vycházel z nutnosti využít počítačovou podporu jako podmínku úspěšného rozšiřování a vybavování výroben transportbetonu v Česku a na Slovensku (výroční zpráva společnosti ZAPA beton za rok 2002 uvádí počet betonáren 72). Po úvodních jednoduchých aplikacích s využitím dalších podkladů, např. [5], a programů FoxPro a Excel je v uvedené společnosti od roku 1997 zdokonalován a využíván podnikový program Multibet.

Díky uvedené činnosti byla usnadněna tvorba výpočetního a technologického programu Unibet ([www.unibet.cz](http://www.unibet.cz)), zpracovaného v roce 2001. Tento program se již orientoval na požadavky nové normy ČSN EN 206-1 (s doplňujícím využitím zahraničních norem i předpisů a obecných technologických pravidel). Na rozdíl od dřívějšího řešení byl program orientován i na širší okruh techniků, včetně pro-

jektantů a specifikátorů. Cílem bylo pomáhat řešitelům jak při konkrétní práci, tak i k rychlému zažití nové normy a k prohloubení znalostí v technologii betonu. Součástí řešení je proto i analýza hlavních parametrů vyřešené receptury ve vztahu ke specifikovaným požadavkům, k požadavkům norem i jiným nárokům a doporučením. S cílem umožnit dostatečně rychlé řešení většího počtu receptur lze využít systému duplikací a úprav. Program je postupně doplňován, od roku 2003 lze při řešení a pro výstupy (tabulky, grafy) použít i angličtinu.

Následující kapitoly nemohou obsáhnout celé řešení. Jsou proto zaměřeny na některé poznatky, které umožňují kromě zpřesnění návrhových postupů i zúžení sortimentu betonů ve vztahu ke všem požadavkům na čerstvý i ztvrdlý beton. Využívaná softwarová řešení sice umožňují rychlé řešení mnoha set receptur (včetně materiálových variant s cílem vybrat např. řešení s minimálními materiálovými náklady), přesto je zúžení sortimentu velmi žádoucí. Vedle ryze administrativního hlediska je důvodem hlavně omezení nároků na zkoušky potřebné pro efektivní řízení výroby a pro kontrolu shody. Zúžení sortimentu dále může přispět k rozšíření podílu „průběžné výroby“, zde případně i ve spojitosti s v hodnocením souborů betonu, viz též [6]. Důvodem pro zjednodušení je i nutná střízlivost ve vztahu k přesnosti teoreticko-experimentálního řešení: podklady jsou vždy zatíženy určitou variabilitou, charakterizovanou i u dobrých betonáren směrodatnou odchylkou pevnosti v tlaku kolem 3 MPa.

### VLIV POŽADAVKŮ NA ZRNITOST KAMENIVA

V době vysokých nároků na intenzitu zhutňování mohla být závažnost zrnitosti kameniva právem opomíjena, samozřejmě za předpokladu, že beton nebyl čerpán. V současnosti se však dostáváme do stavu, který byl v době zpracování Bechynových knih o technologii betonu. Tento odkaz je důležitý i proto, že ve vztahu k reologickým vlastnostem čerstvého betonu

nerozhoduje zmitost kameniva, ale zmitost všech pevných složek betonu (viz popsané postupy dle Bolomeye, Fauryho, Caquota, Dutrona i dalších). Ve výše zmíněných počítačových programech je proto vždy automaticky řešena i zmitost všech pevných složek a hodnotí se i zmitostní rozložení objemů všech složek. Pro zjednodušení a hlavně pro účelnou návaznost na současné zahraniční normy omezí se další pojednání pouze na zmitost kameniva.

Mezi základními i doplňujícími požadavky na specifikaci typového betonu a ve vztahu k nárokům na čerstvý beton je v ČSN EN 206-1 uváděna jen konzisten-

ce. Pro návrh složení betonu jsou však důležité i nároky uvedené v tab. 1, sestavené s cílem minimalizovat vliv souběhu nároků na čerstvý a ztvrdlý beton na sortiment vyráběných betonů. Z uvedené tab. 1, doplněné přehledem konzistencí v tab. 2 a ilustrací zmitostí na obr. 1, je zřejmé, že pro každé  $D_{max}$  vystačíme s následujícími čtyřmi zmitostmi:

AAB pro většinu betonů, na které nejsou kladeny zvláštní požadavky

ABB pro čerpatelné, vodotěsné, pohledové a provzdušněné

AAAB pro velmi tuhé čerstvé betony, které budou velmi intenzivně zhutňovány, těchto případech přichází

v úvahu místo zmitosti AAAB i přetržitá zmitost U

BBB pro betonování pod vodou a pro podobné případy, kdy musí být čerstvý beton soudržný a velmi tekutý doporučuje rakouská norma [7] uvedenou zmitost v blízkosti mezní čáry B. Norma [7] je použita jako základ pro ilustrace pro její novost (2002) a hlavně pak proto, že na rozdíl od podobného řešení v německé normě DIN 1045-2 obsahuje rakouská norma i nároky na  $D_{max}$  22, 11 a 4 mm.

Zmitosti ABB a BBB přitom vyžadují pro stejnou konzistenci (např. F4) téměř stejný obsah vody (rozdíl směrně do 5 l/m<sup>3</sup>) a tím i málo rozdílné obsahy cementu. Proto lze uvedené dvě zmitosti nahradit dostatečně drobnozrnnou zmitostí ABB (formálně přesněji ABBB), charakterizovanou křivkou nezasahující významně do dolní poloviny oblasti mezi křivkami A a B (obr. 1) a nezasahující příliš do použitelné oblasti mezi čarami B a C. Pro účelnost uvedeného sloučení zmíněné počítačové programy neřeší automaticky zmitost BBB (je však umožněna snadná individuální realizace). Případně možné další sloučení zmitostí AAB a AAAB (viz barevné vyznačení v tab. 1) lze v programech realizovat vypuštěním jedné z nich.

### Doplňující poznámky k zmitosti betonu:

- V pojednáních o technologii betonu jsou někdy specifikovány požadavky na přebytek pojivové kaše a na přebytek maltové složky betonu (objem bez objemu zrn hrubého kameniva). Není však charakterizován jejich vztah k užitným vlastnostem. S vědomím nepřesnosti každé generalizace je možné následující rozlišení:

- na přebytku pojivové kaše (proti stavu s nejtěsnějším dotykem zrn kameniva) je závislá konzistence betonu, proto nelze při zadané konzistenci přebytek pojivové kaše dále ovlivňovat;

- vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu uvedené v tab. 1 lze ovlivňovat volbou křivky zmitosti kameniva a tím současně i přebytkem maltové složky betonu, v mnoha případech i nezávisle na konzistenci.

- Spolu se současnou „rehabilitací“ křivek zmitosti přichází v úvahu i používání dříve tak rozšířeného modulu zmitosti.

Tab. 1 Závislost zmitosti na požadovaných vlastnostech čerstvého a ztvrdlého betonu

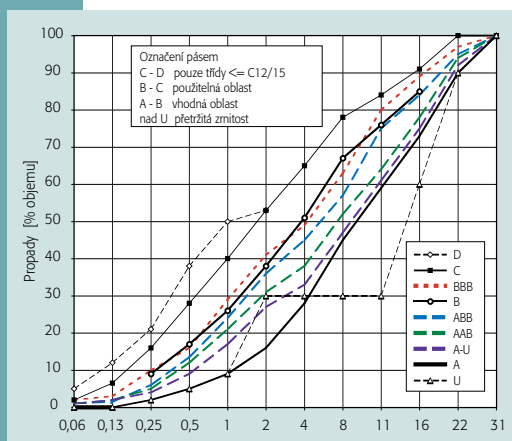
Tab. 1 Dependence of grading on the required properties of fresh and hardened concrete

Křivky zmitosti +)		Nároky na čerstvý beton (na přepravu a ukládku)				
		žádné zvláštní nároky	tekuté konzistence	čerpatelnost	soudržnost a tekutost **)	velmi intenzivní zhutnění
Nároky na ztvrdlý beton	vodotěsnost	ABB	ABB	ABB	BBB	x
	pohledovost				x	xx
	provzdušnění	AAB			BBB	AAAB,U
ostatní						
Vysvětlivky:						
+)		Viz obr. 1 a následující příklady				
ABB		Oblast mezi mezními křivkami A a B v blízkosti meze označené vícekrát				
BBB		Oblast kolem mezní křivky B				
AAAB,U		Oblast co nejbližší nad mezí A, případně přetržitá zmitost				
*)		„Pod označením „tekutý“ jsou zahrnuty konzistence S4 až S5 a F4 až F6, viz tab. 2“				
**)		Mimořádné nároky, např. pro betonování pod vodou, pro vrtané piloty a pod.				
x		Kombinace nároků nepřipadá zpravidla v úvahu, jinak BBB				
xx		Nepřípustná kombinace				
Poznámky k barevnému pojednání:						
Zmitosti ABB a BBB lze zpravidla sloučit do zmitosti ABB						
V určitých podmínkách lze pro velmi intenzivní zhutnění použít zmitost AAB						

Tab. 2 Specifikace konzistencí

Tab. 2 Specification of consistencies

Klasifikace podle EN 206-1 *)			Směrný popis (Německo, Rakousko)	Poznámky	Souhrnné číselné označení
sednutí	rozlití	zhutnitelnost			
		C0	velmi tuhá		0
S1	F1	C1	tuhá		1
S2	F2	C2	plastická		2
S3	F3	C3	měkká		3
S4	F4		velmi měkká	„tekuté konzistence“ **)	4
S5	F5		tekutá		5
	F6 ***)		velmi tekutá		6 ***)
Poznámky:					
*) Klasifikace dle Vebe není uvedeno pro nemožnost zařazení do skupin					
**) Při tekutých konzistencích se zpravidla využívá superplastifikační přísada (výjimky u vrtaných pilot a podzemních stěn)					
***) Samozhutnitelné betony patří formálně pod F6, věcně je nutné splnit další požadavky					



Obr. 1 Meze křivek zrnitosti pro  $D_{max} = 22$  mm a příklady křivek zrnitosti pro požadované vlastnosti betonu dle tab. 1

Fig. 1 Limits of grading curves for  $D_{max} = 22$  mm and examples of grading curves for the required properties of concrete by Table 1

Jedním číslem nelze vyjádřit celou problematiku zrnitosti, stojí však za zmínku trvalé využívání tohoto modulu v Německu [8] a to pod poněkud matoucím (s ohledem na normativně zaváděnou koncepci k-hodnoty) označením „k-Wert“. Zajímavá je i těsnost regresního vztahu mezi uvedeným modulem a charakteristikou specifického povrchu zrn kameniva nad 0,125 mm.

#### VODOPOJIVOVÝ SOUČINĚL JAKO CHARAKTERISTIKA ČERSTVÉHO BETONU

Spolu s nárůstem využívání příměsí a se zaváděním koncepce jejich hodnocení k-hodnotou je překvapivé, že tento pojem je v EN 206-1 vyjadřován pouze vzorcem „voda/(cement + k x příměs)“.

Dále budou uvedeny příklady využívání tohoto součinitele ve funkci charakteristiky vlastností čerstvého betonu, jako např. konzistence a odlučování vody. (Pro soustředování vody pod zrny hrubého kameniva odlučování vody ovlivňuje velmi nepříznivě i vlastnosti ztvrdlého betonu jako vodotěsnost, pohledovost, trvanlivost a částečně i pevnost. Pro průběh odlučování v době do ztuhnutí a tvrdnutí betonu nebude jeho vliv rozváděn v následující kapitole týkající se ztvrdlého betonu.)

#### Cementové kaše a injektážní malty

Vodopojivový součinitel charakterizuje jednoznačně a bezprostředně jen pojivové kaše, tedy i „injektážní maltu pro před-

pínací kabely [9]. Proto budou nejdříve uvedeny některé poznatky týkající se této složky malt a betonů. Jednoduché a instruktivní závěry lze odvodit především ze závažné práce I. N. Achverdova [10]. Tento autor vychází především z **vodního součinitele normové cementové kaše (vodonáročnosti cementu)** používané pro zkoušky tuhnutí. Podle nepublikovaných prací prováděných P. Riegrem z a. s. ZAPA beton na popílko-cementových směsích lze však usuzovat na možnost obdobného využívání i pro hodnocení pojiv obsahujících cement a příměsí.

Mez přípustného odlučování 2 % objemu kaše, uvedená v normě pro injektážní malty [9] odpovídá podle Achverdova přibližně **1,5 násobku vodonáročnosti**, při obvyklé vodonáročnosti českých cementů 0,28 je tedy **kritický vodní součinitel cementové kaše  $w_{ck} = 0,42$** ; tato hodnota je velmi blízká mezi **0,44**, která je předepsána uvedenou normou pro injektážní malty. K vysokému a lineárnímu růstu odlučování vody dochází směrně od 1,75 násobku zmíněné vodonáročnosti, u běžných cementů tedy od vodního součinitele 0,49.

Dalšími ilustrativními hodnotami jsou **1,65 násobek vodonáročnosti** pro směrné určení horní meze tixotropie (též meze velmi snadného zhuťování) a **0,88** pro dolní mez tixotropie (při nižším vodním součiniteli dochází při běžném zhuťování k růstu objemu směsi). Při používání stabilizačních nebo jiných přísad uvedená ilustrace samozřejmě neplatí, zvláště pak, když se nebere v úvahu též vliv přísady na normově zkoušenou vodonáročnost, ukázaný následujícím příkladem: Při použití přísady Cementol Zeta Super byla zjištěna vodonáročnost 23,8 %, tedy 0,71 násobek vodonáročnosti samotného cementu. Podle předchozích informativních postupů dosáhne se velmi snadného zhuťování při vodním součiniteli 1,65 x 0,238, tedy kolem vyhovující hodnoty 0,39.

#### Malty a betony

U malt a betonů je třeba uvedené směrné hodnocení doplnit odhadem vlivu **adsorpce vody** na povrchu kameniva. V zájmu ilustrativnosti bude v dalším uveden jen velmi hrubý postup, který platí přibližně jen v oboru běžných betonů. Objem adsorbované vody  $V_{ads}$  je odhadován vztahem

$$V_{ads} [\text{dm}^3/\text{m}^3] = A / M \quad (1),$$

kde jsou  $A$  součinitel závislý na vlastnostech povrchu kameniva, jeho směrná hodnota je 110;  $M$  modul zrnitosti odhadovaný podle německých pravidel podle propadů devíti sítí 0,25 až 63 mm (u betonu s max. zrnem 16 mm je tento modul kolem 4,1).

Po dosažení uvedených směrných hodnot vychází  $V_{ads} = 110 / 4,1 = 27 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ . (Tato hodnota se neliší příliš od hodnot odvozených z regresních vztahů hodnotících pevnost betonu podle cementového součinitele, ve kterém se od obsahu vody odečítá kromě vody nasáklé do kameniva i voda adsorbovaná na povrchu kameniva.) Pomocí  $V_{ads}$  lze přepočítat výše uvedené mezní hodnoty vodního součinitele  $w_{ck}$ , platné pro cementové kaše na mezní hodnoty  $w$  vztahující se k betonu:

$$w = w_{ck} + V_{ads} / (C w_{ck}) \quad (2),$$

kde  $C$  je obsah cementu  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ .

Pro dříve uvedenou mezní hodnotu vodního součinitele cementové kaše  $w_{ck} = 0,42$  dostáváme pro beton s obsahem cementu  $C = 350 \text{ kg}/\text{m}^3$  a s modulem zrnitosti kameniva 4,1 kritický vodní součinitel

$$w = 0,42 + 27 / (350 \times 0,42) = 0,60.$$

Lze považovat za náhodu, že tato hodnota se přesně shoduje s hodnotou předepsanou německou a rakouskou normou pro vodotěsné tenkostěnné betony (pro masivní betony s tloušťkou nad 0,4 m se připouští vodní součinitel do 0,70).

#### POZNÁMKY KE K-HODNOTÁM PRO VÝPOČET VODOPOJIVOVÉHO SOUČINITELE

Pro hodnocení ztvrdlých betonů s obsahem příměsí (popílku a křemičitého úletu) se v souladu s EN 206-1 používá koncepce k-hodnoty. Rakouská norma [7] uvádí i k-hodnotu pro vysokopecní strusku (0,80 za předpokladu, že index pro 28 denní pevnost vyšel alespoň 0,80, tedy větší než mez 0,75 platná pro popílek). Pro hodnocení vlastností čerstvých betonů značná část podkladů chybí. Proto následuje stručný příspěvek s cílem shrnout nároky na řešení a podat některé náměty.

**Betonování pod vodou:** V německé normě DIN 1045-2 je pro tento případ a pro popílek stanovena k-hodnota 0,70.

**Čerpání:** Ve vztahu k čerpatelnosti se všechna jemná zrna příměsí (směrně

do 0,25 mm) uplatňují především svým objemem, částečně i tvarem a vlivem zrnitosti na mezerovitost směsi. Proto např. přidavek popílku s objemovou hmotností zrna kolem 2250 kg/m<sup>3</sup> ovlivní čerpatelnost betonu pravděpodobně více, než stejný hmotnostní přidavek cementu s objemovou hmotností zrna 3100 kg/m<sup>3</sup>.

**Vodotěsnost:** Ve vztahu k vlastnostem betonu vysokého stáří platí přibližně totéž, co pro čerpání. Protože příměsí (např. popílek) zpravidla zpomalují rychlost hydratace, je pravděpodobné, že při stáří betonu dvacet osm dní by při výše uvedeném zápočtu popílku byl zjištěn u popílkového betonu větší průnik než u betonu bez příměsí. V případech, kdy se nevyžaduje vodotěsnost v kratší době než po cca devadesáti dnech, bylo by proto vhodné provádět zkoušky průniku např. po devadesáti dnech tvrdnutí ve vlhku nebo ve vodě. Pak by se popílek pravděpodobně osvědčil i při výše uvedeném hodnocení v závislosti na objemu jemných zrn, tedy s uvažovanou  $k$ -hodnotou kolem  $3100 / 2250 = 1,38$ .

**Obsah vody [dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>] u betonů s vyšším obsahem pojiva:** V tomto případě lze vliv vodonáročnosti pojiva odhadnout za použití směšovacího pravidla z vodonáročnosti cementu a z vodonáročnosti příměsí – viz poznámka v následující kapitole.

#### VODOPOJIVOVÝ SOUČINITEL JAKO CHARAKTERISTIKA ZTVRDLÉHO BETONU

##### Upravený Féret-Bolomeyův vztah

Z více než stovky vzorců pro výpočet pevnosti betonu v tlaku  $f$  [MPa] je nejvíce používán Féret-Bolomeyův vztah, který lze zobecnit a zpřesnit následujícím vzorcem [4]:

$$f = a (1/w_p - b) \quad (3),$$

kde je  $a$  konstanta vyjadřující vliv normalizované pevnosti cementu (pojiva),  $1/w_p$  reciproká hodnota vodopojivového součinitele. S cílem vyjádřit zjištěný nepříznivý vliv nadbytku pojivové kaše na pevnost betonu je uvedený vodopojivový součinitel upraven na tvar

$$w_p = (V - c) / (C + k P) \quad (4),$$

kde je  $V$  účinný obsah vody [dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>],  $c$  součinitel [4] vyjadřující vliv vody adsorbované na povrchu kameniva,  $C$  obsah

cementu,  $k$  hodnota pro vyjádření vlivu příměsí a  $P$  obsah příměsí [kg/m<sup>3</sup>].

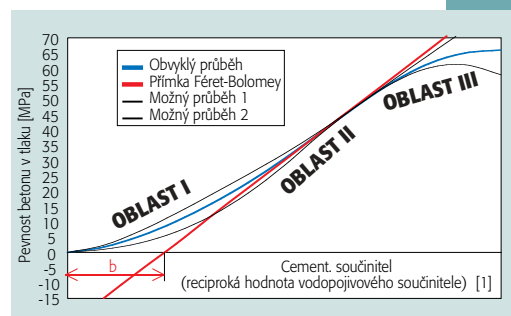
##### Odchyly od rovnice (3)

**Oblast II.** Závislost (3) platí poměrně přesně v oblasti II (obr. 2), která bude dále specifikována údaji o oblastech I a III. V běžných případech je konstanta  $c$  blízká hodnotě 0,5 (původní hodnota Féret-Bolomeyova vztahu). V softwarových řešeních je hodnota  $c$  zpřesňována s cílem vyjádřit vlastnosti kameniva, cementu a provzdušnění.

Při použití hrubého drceného kameniva s větší mezerovitostí se konstanta  $c$  zvětšuje k hodnotě 0,7. Naopak při hladkém těženém kamenivu a při provzdušnění je  $c < 0,5$ . Současně se změnou konstanty  $c$  je upravována i konstanta  $a$ . Tím lze modelovat i ověřenou skutečnost, že

##### Literatura:

- [1] Jirsák M.: Složky a skladba dobrého betonu, SNTL Praha, 1957
- [2] Stork J.: Teória skladby betónovém smesi, Bratislava 1964, též závěrečné zprávy SAV-USTARCH z r. 1964 a TZÚS Bratislava „Ověření navrhování betónových směsí pomocí samočinných počítačů, 1967
- [3] Sychra K.: Optimalizace složení směsí pro betonové prefabrikáty, VÚPS Praha, 1971
- [4] Štěrba A.: Technickoekonomická optimalizace složení betonové směsí, Informační zpravodaj VÚM, 2/1971, s.17-23
- [5] Coppola L., Collepardi M.: Computerised mix design for ready mixed concrete, XIth European ready mixed concrete congress, Istanbul, 1995.
- [6] ČSN P 73 1309 Použití koncepce souboru betonů při řízení výroby a kontrole shody betonu, březen 2002
- [7] ÖNORM B 4710-1 Beton, Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität nachweis (Regeln zur Umsetzung der ÖNORM EN 206-1, 2002)
- [8] Beton nach Mass, Dyckerhoff AG, Wiesbaden, 2002
- [9] ČSN EN 447 Injektážní malta pro přepínací kabely- Požadavky na běžnou maltu, 1998
- [10] Achverdov I. N.: Vysokopročnyj beton, Moskva 1961



Obr. 2 Závislost pevnosti betonu v tlaku na cementovém součiniteli a na dalších faktorech

Fig. 2 Dependence of the strength of concrete in compression on the cement coefficient and other factors

hladké těžené kamenivo ovlivňuje příznivě pevnost v oblasti nižších obsahů cementu a naopak drcené hrubé kamenivo v oblasti vyšších obsahů cementu.

Hodnota  $c$  je závislá i na rychlosti tvrdnutí cementu, tedy i na poměru počáteční pevnosti (zpravidla ve stáří dvou dnů) k normalizované pevnosti (dvacet osm dní). Uvedený vliv lze vysvětlit tím, že při určitém cementu konstanta  $c$  klesá se stářím betonu; pro výpočet jednodenních pevností jednodenní pevnost vyhovuje u běžných cementů hodnota blízká 1,0.

**Oblast I.** Tato oblast platí směrem pro vodopojivové součinitele nad 0,6. Ovlivňuje ji hlavně odlučování vody a proto i obsah příměsí a velmi jemných zrn kameniva (do 0,063 až 0,125 mm). Proto lze v této oblasti používat i drcené drobné kamenivo, hlavně při nedostatku techniky a ekonomicky vhodných příměsí. Betony bez příměsí mají relativně (ve vztahu k cementovému součiniteli) menší pevnost. Příznivě se v této oblasti projevují velmi tuhé konzistence, proto i intenzivní zhutnění. Na rozdíl od oblastí II a III se v této oblasti neuplatňují nebo málo uplatňují plastifikační přísady.

**Oblast III.** V oblasti III je obsah pojivové kaše větší než je třeba k vyplnění mezerovitosti směsi kameniva. U běžných betonů s  $D_{max}$  22 mm je obsah cementu nad cca 330 kg/m<sup>3</sup> a vodopojivový součinitel je zpravidla menší než 0,55.

Konzistenci ovlivňuje hlavně viskozita pojivové kaše. Na rozdíl od oblastí I a II se v této oblasti proto uplatňuje i vodonáročnost pojiva. Od začátku oblasti III je

Dokončení článku na straně 54



Obr. 7 Pokládka pěnobetonu

několikrát jsem předkládal požadované vzorky. Nakonec jsem se zapřisahal na magnetofonového beduína (každé ráno strašně ječí ze všech minaretů), že pěnobeton o hmotnosti  $500 \text{ kg/m}^3$  a pevnosti 20 MPa neumím vyrobit. Kupodivu jsem o tom přesvědčil i amerického zástupce kuvajtského investora a ten souhlasil s kompromisem: spodní vyrovnávací vrstva cca 80 až 120 mm z pěnobetonu  $500 \text{ kg/m}^3$ , horní nárazová vrstva 30 mm z Liaporbetonu  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Tak bylo konečně domluveno, a tak se i stalo.

Místní cement 52,5 R, ke stanovenému úkolu perfektní, pěnotvorné přísady od WOERMANN Bohemia: pěnidlo FOAM GA 285 a stabilizátor Woerlith 61, Liapor z Vintířova (z toho byla mezinárodní zápletka, rakouský Liapor v balkánském prodeji je dražší než dovezený z Vintířova). Generátor na výrobu pěny, míchačka a betonpumpa z Prahy jako spoluzavazadlo.

#### Dokončení článku ze strany 41

další růst obsahu cementu spojen s nežádoucím růstem obsahu vody. Zvýšený objem pojivové kaše nepříznivě ovlivňuje objemové změny.

Ze všech uvedených důvodů se v oblasti III významně uplatňují plastifikační přísady. Příměsi se v oblasti III uplatňují příznivě jen tehdy, když jsou doprovázeny účinnými plastifikačními přísadami (hyperplastifikátory) nebo když je beton velmi intenzivně zhutňován.

Na rozdíl od ostatních oblastí se pro uvedené příčiny vyznačuje oblast III i tím,

Výroba „in situ“ na stavbě, postupně na každém patře (obr. 5 až 7). Ideální počasí, pracoviště chráněno před přímým sluncem. Realizační pracovníci místní, převážně šikovní a pracovití, po zácivku na-prosto samostatní, odvedli dobrou práci.

Z počátku se s návštěvníky 20. patra (výtah byl nekompromisně pouze nákladní) otevřela Belašnica, účast byla mezikontinentální, dokonce i Američanec byl spokojen. Nedílnou součástí mé denní asistence u betonáže byla i večerní účast na recepcích a společenských setkáních, mimo jiné i s příslušníky SFOR, a nezbytným čivabčičím. Můj vstup byl realizován v přímé spolupráci s místní, sarajevskou firmou, pod její záštitou a s její účastí. Pole působnosti v této oblasti je velmi široké a rozsáhlé a stále ještě perspektivní, ale i přes masivní protikorupční kampaň je stále cítit velmi silný vliv české cesty privatizace, umocněný místním koloritem, a ne vždy je vstup do zakázky podpořen nejvýhodnější technologií a nejnižšími náklady.

že se snižuje výhodnost nejhrubších frakcí kameniva. Příčinou této skutečnosti je i omezení koncentrací napětí vyplývající z rozdílnosti modulů pružnosti malty a hrubého kameniva. Z uvedených důvodů se mohou dobře uplatnit i betony s  $D_{max}$  16 mm, event. i 8 mm; uvedené platí za předpokladu použití čistého a pevného kameniva.

#### ZÁVĚR

Uvedené poznámky zdaleka nemohou vystihnout celou problematiku složení betonu. Pro vyjádření všech nastíněných vlivů je třeba použít složitější vztahy a hlavně je třeba zajistit jejich vzájemnou pro-



Obr. 8 Dokončená vrstva

Prostoru pro využití nových technologií jak při sanacích poškozených objektů, tak při výstavbě nových je dostatek. Šanci mají ale spíše silní investoři nebo ten, kdo je na investory napojen (a to já nejsem). Ale údajně bylo slyšet z nějakého minaretu, že se připravuje zahájení rekonstrukce druhého „dvojčete“... Ke mně se to ale prozatím nedoneslo ...

Ještě důležité upozornění: Pivo si vozím raději svoje, ale v nejhroším případě se dá pít i sarajevské. Mleté jehněčí nemusím mít každý den třikrát. Prohibice na pití i jídlo se dodržuje výhradně ve vymezené části historického Sarajeva, ale i tak nedoporučuji jezdit do Bosny v době „ramadanu“.

Ing. Miroslav Havlík  
Konstantinova 1474, 149 00 Praha 4  
tel.: 603 288 562, tel./fax: 272 912 548  
e-mail: havlikmiroslav@seznam.cz

vázanost při respektování oborů jejich platnosti, s dodržением všech požadavků, a podmínek materiálové základny. Tím jsou znovu potvrzeny příčiny, pro které se dříve (v době bez osobních počítačů a uživatelsky příjemných programů) nevíly výpočetní postupy, proč se dříve tak málo uplatnila tvůrčí činnost našich i zahraničních předchůdců.

Ing. Alain Štěrba  
L.C.M. Loudin a spol., v. o. s.  
Hradešinská 41, 110 00 Praha 10  
tel.: 266 314 854, fax: 272 733 437  
e-mail: a.sterba@volny.cz