

O MÍSENÍ FRAKCI KAMENIVA ON AGGREGATE BLENDING

LUBOŠ SVOBODA

Je popsána problematika návrhu směsného kameniva složeného z několika frakcí. Pokud výsledné vlastnosti mají odpovídat kamenivu předem určené zrnitosti je třeba použít účinný optimalizační postup. Nově se osvědčila metoda postupné optimalizace na bázi flexibilního simplexu. Program pro realizaci výpočtu touto metodou je dostupný na webových stránkách.

This paper explores aggregate blending. It describes a new method of sequential optimization (based on flexible simplex algorithm) which fields very good results. A computer program for calculations according to this method is available on web pages.

V běžném betonu zaujímá kamenivo 60 až 85 % z celkového objemu. Zastoupení zrn jednotlivých velikostí (zrnitost) kameniva do značné míry rozhoduje o spotřebě cementu a celkové výrobní ceně čerstvého betonu. Zrnitost kameniva má také zásadní význam pro zpracovatelnost čerstvého betonu a může ovlivnit i výslednou kvalitu příslušné betonové konstrukce.

Prvním krokem při návrhu betonu by proto mělo být pečlivé určení receptury, podle které se z dostupných surovin (frakcí) sestaví směsné kamenivo s optimální zrnitostí.

STANOVENÍ ZRNITOSTI

V každém druhu kameniva závisí konkrétní distribuce velikostí zrn na původu a způsobu zpracování výchozí suroviny. Pro betonářské účely se zrnitost tradičně zjišťuje prosévací zkouškou na sadě zkušebních sít. V následujícím textu jsc u tato síta označována pomocí jmenovitých velikostí příslušného síťového oka udané v milimetrech. V případě kulatých ok je touto charakteristikou průměr oka, v případě čtvercových ok se jako jmenovitá velikost používá délka strany oka.

Pro úplnost je však třeba uvést, že v americké či britské praxi je běžné označovat síta s malými oky pomocí jednotek mesh udávajících počet ok síta na jeden čtvereční palec. S ohledem na tloušťku vpleťového drátu není přímý přepoč

mesh na jmenovitý metrický rozměr jednoduchý a je lepší používat konverzní tabulku. V jednotlivých národních předpisech pracujících se stupnicí mesh navíc existují drobné odlišnosti v označení jednotlivých sít, související zejména s rozdílným zaokrouhlováním.

V současnosti se v Evropě nejčastěji používá metrická základní zkušební sada složená z jedenácti sít se čtvercovými oky [1]. Jmenovité velikosti ok jednotlivých sít této normové sady jsou: 0,063 – 0,125 – 0,250 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31,5 – 63. Vyjádření velikosti prvních šesti ok z této sady v jednotkách mesh přináší tabulka 1.

Výsledek **prosévací zkoušky** se vyjadřuje pomocí celkových propadů získaných na jednotlivých zkušebních sítích. Hodnoty propadů se uvádějí jako procentický podíl z celkové hmotnosti prosévaného vzorku. Výsledek může být zapsán tabelárně, častější je však grafický záznam ve formě spojnicového diagramu nazývaného čára zrnitosti.

Čára zrnitosti se zhotovuje tak, že se na osu x v pravidelných odstupech vyznačují body odpovídající jednotlivým zkušebním sítům (od nejmenšího síta k největšímu). Každému sítu se pak přiřazuje ve směru osy y příslušný bod spojnicového diagramu, jehož vzdálenost od osy x je přímo úměrná velikosti celkového propadu na příslušném síte.

Protože síta základní zkušební sady tvoří geometrickou řadu, je možné takovéto x - y zobrazení považovat za zobrazení v semilogaritmických souřadnicích.

Ve snaze o lepší čitelnost grafu se do počátku osy x často umísťuje nula, kterou můžeme chápat jako bod odpovídající dnu zkušební sady („síto s nulovým okem“). Tento způsob (obr. 1) se používá i v DIN 1045 [2]. Takto upravený souřadnicový systém by se však měl správně označovat jako pseudosemilogaritmický, protože zobrazení nuly na logaritmické stupnici není možné.

V amerických publikacích se můžeme setkat se semilogaritmickým zobrazením s obráceným (klesajícím) pořadím sít na logaritmické ose x , průsečík s osou y je označen hodnotou největšího síta (obr. 2).

Semilogaritmické či pseudosemilogarit-

mické zobrazení dnes převládá i když svého času byly navrhovány i jiné stupnice zvýrazňující odstupy mezi síty s malými oky. Jako příklad lze uvést stupnici pátých odmocnin z velikostí příslušných ok doporučenou Caquotem.

Počet sít základní řady byl dlouho považován za zcela uspokojivý, v nově zaváděné EN 1620 se však setkáváme s možností doplnit základní řadu o další síta doplňkové řady.

Výhodou semilogaritmického (respektive pseudosemilogaritmického) pojetí je, že pokud se používají síta z doplňkové řady, umístí se na osu x mezi stávající body (podle hodnoty příslušného logaritmu) a základní rozměr grafu se nezmění.

Vždy však je třeba mít na paměti, že popis zrnitosti pomocí experimentálně získané čáry zrnitosti nemá charakter spojité funkce. Na spojnici mezi propady na sousedních sítích mají přesně definovaný význam právě jen oba krajní body.

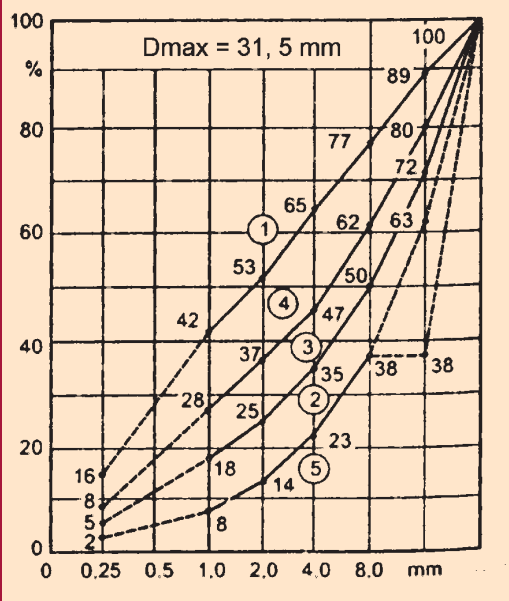
K zjednodušení popisu zrnitosti kameniva a k usnadnění dalších granulometrických výpočtů bylo postupně navrženo několik kritérií, jejichž cílem bylo zhodnotit zrnitost kameniva jediným číslem charakterizujícím jeho celkovou jemnost či hrubost. Z těchto jednočíselných kritérií je zřejmě nejznámější modul zrnitosti.

Modul zrnitosti je definován jako setina součtu všech celkových zbytků v procentech nalezených na určitém souboru sít. Pro hodnotu modulu zrnitosti má volba souboru sít zásadní význam a všude, kde by mohlo dojít k omylu, je třeba s hodnotou modulu zároveň uvádět i složení síťového souboru použitého k výpočtu.

Modul zrnitosti byl zaveden na počátku minulého století Abramsem v USA a v souladu s tehdejší americkou zkušební praxí byl určován na tak zvané Tylerově

Tab. 1 Srovnávací tabulka zkušebních sít
Tab. 1 Comparison table of test sieves

Jmenovitý rozměr [mm]	ASTM E 11-81 [mesh]	Tyler Standard ACI 1920 [mesh]	BS410 : 1962 [mesh]
0,063	230	250	240
0,125	120	115	120
0,250	60	60	60
0,500	35	32	30
1,00	18	16	16
2,00	10	9	8



Obr. 1 Křivky zrnitosti dle DIN 1045
Fig. 1 Sieve curves according to DIN 1045

Obr. 2 Semilogaritmické zobrazení křivek zrnitosti (s klesajícím pořadím sítí)
Fig. 2 Semilogarithmic presentation of sieve curves (with descending order of sieves)

sadě sítí. K výpočtu Abramsova modulu se používal devítiprvkový výběr z této sady tvořený sítí s oky o jmenovitém rozměru 0,147 – 0,295 – 0,590 – 1,170 – 2,360 – 4,700 – 9,420 – 18,900 – 38,100.

Devět sítí Tylerovy zkušební sady se u nás původně nahrazovalo sítí s oky: 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 7 – 15 – 30. Jde o devítiprvkový výběr ze soustavy zkušebních sítí podle tehdejší normy (ČSN 1091 z roku 1935). V dobové literatuře [3] však lze nalézt i modul zrnitosti stanovený na desetiprvkovém výběru v rozsahu 0,1 – 70.

S ohledem na praxi v okolních zemích je u nás současně nejběžnější používání modulu zrnitosti v podobě tak zvané **k-hodnoty** (*k* modulu). Tuto veličinu většina autorů chápe jako modul zrnitosti stanovený na souboru 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64, ale záměnu s jiným souborem sítí nelze vyloučit. K omylu může přispět skutečnost, že v dnešních publikacích nacházíme čáru zrnitosti vynesenu s použitím základní a doplňkové řady sítí. Současně uváděná hodnota modulu zrnitosti této čáry se při tom stanovuje jen na sítích základní řady.

Termín **modul jemnosti** (*fineness modulus*) byl původně v odborné literatuře používán jako synonymum k termínu modul zrnitosti. V posledních letech se však s modulem jemnosti (*FM*) setkáváme spíše jako s veličinou sloužící speciálně

k popisu drobného kameniva a v tomto smyslu je definován i v ČSN EN 12620.

Této skutečnosti je třeba věnovat náležitou pozornost, protože k stanovení modulu jemnosti se při popisu drobného kameniva používá podstatně užší výběrový soubor ze zkušební sady sítí. Evropská zkušební praxe se navíc v tomto případě liší od zvyklostí v USA nejen velikostí ok ale i počtem zkušebních sítí.

Zatímco v USA se používá k určení *FM* drobného kameniva čtyřčlenný soubor ve složení 0,15 – 0,3 – 0,6 – 1,18 (ASTM C-33), u nás se podle převzaté evropské normy (ČSN EN 12620) k určení modulu jemnosti drobného kameniva používá šestičlenný soubor sítí ve složení: 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4.

Maximální teoretická hodnota *FM* u drobného kameniva zkoušeného podle evropského způsobu je šest, zatímco maximální hodnota amerického *FM* drobného kameniva se rovná čtyřem.

Výše uvedené skutečnosti je třeba mít na paměti pokud porovnáme hodnoty modulů jemnosti různého stáří a původu. Jsou dalším důvodem pro důsledné uvádění použitého výpočtového souboru sítí. Stejně tak je vhodné uvádět soubor sítí použitý k výpočtu jakékoliv další jednočíslné charakteristiky zrnitosti, ať již jde o součet propadů nebo o Hummelovo číslo.

Součet propadů *D* (označovaný někdy jako Rothfuchsovo číslo) je definován vztahem:

$$D = \sum(p_i),$$

kde p_i je celkový propad na *i*-tém sítě v procentech. Protože modul zrnitosti *k* stanovený na stejné sadě sítí je definován vztahem:

$$k = (\sum(100 - p_i)) / 100,$$

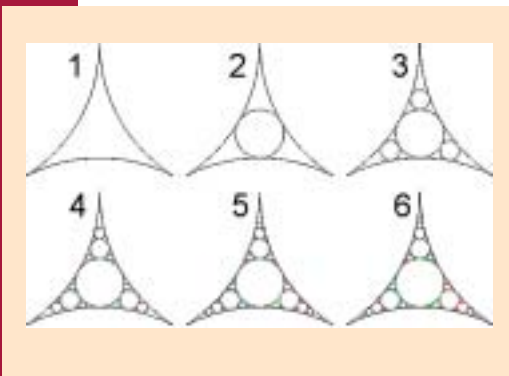
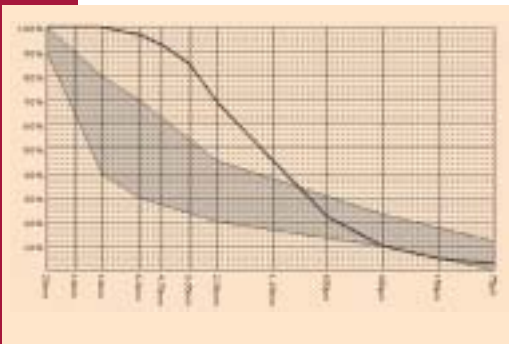
platí také: $D = (x - k) \cdot 100$,

kde *x* je počet sítí vybraných ke stanovení p_i .

Pro nejběžnější případ devíti sítí pak platí:

$$D = 900 - 100 k.$$

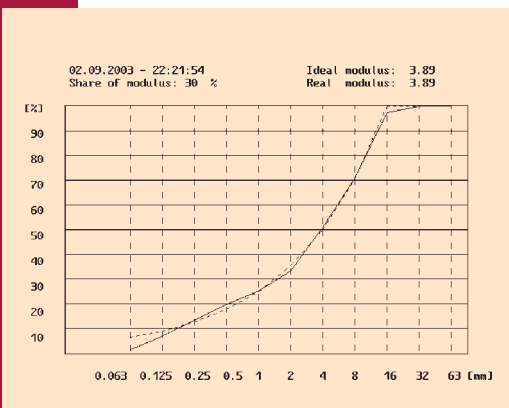
Hummelovo číslo *F* je zavedeno poněkud komplikovanějším způsobem, jako součet ze součinů získaných násobením jednotlivých podílů úzkých frakcí kameniva příslušnou střední velikostí zrna. Hodnota Hummelova čísla je úměrná ploše vymezené čarou zrnitosti. Někdy se proto setkáváme s tím, že Hummelovo číslo je vyjadřováno v plošných jednotkách (cm²).



Obr. 3 Apolloniův fraktál
Fig. 3 Apollonian gasket

Obr. 4 Příklad optimalizace s ohledem na modul zrnitosti (Fullerova křivka jako vzorový modul zrnitosti stanoven na sítích 0,25-0,5-1-2-4-8-16-32-63)

Fig. 4 Example of optimization with respect to fineness modulus (Fuller curve as a target modulus was found on 0,25-0,5-1-2-4-8-16-32-63 sieves.)



Takový rozměr je však pravdivý jen při dodržení určitých absolutních rozměrů grafického zobrazení a jeho uvádění nemá valného smyslu.

Korelační vztah mezi Hummelovým číslem a modulem zrnitosti můžeme v případě nejběžnějšího devítiprvkového souboru sít (0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 31,5 – 63) zapsat:

$$F = 30,225 k + 23,625 .$$

S ohledem na lineární závislost mezi Rothfuchsovým či Hummelovým číslem a k -hodnotou jsou tyto veličiny z hlediska hodnocení zrnitosti prakticky rovnocenné. Jejich společnou nevýhodou je nedostatečný důraz na nestejný význam různých jemných zm.

Nevýhodu stejného přístupu k různě velkým zrnům se svého času pokoušel odstranit Faury, zavedením pomocných vah pro jednotlivé frakce, při jejichž aplikaci se získával tak zvaný opravený modul zrnitosti. Jeho návrh se však neujal.

V současné době je za veličinu, která daleko lépe zohledňuje vliv velikosti jednotlivých zm považován **specifický povrch** (specific surface). Jeho výhodou je zejména přímý vztah k spotřebě cementové kaše nezbytné k dokonalému obalení zm kameniva, nevýhodou pak špatná experimentální dostupnost této veličiny přímým měřením.

Z fyzikálního hlediska představuje specifický povrch hodnotu celkového povrchu jednoho kilogramu kameniva. Pro obtíž se jeho přímým stanovením se v praxi často uchylujeme ke stanovení přibližné hodnoty specifického povrchu (S) z čáry zrnitosti. Zpravidla se používá výpočet podle vzorce [4]:

$$S = \sum \left(\frac{S_i Q Y_i}{V_i h 100} \right) ,$$

kde y_i je propad kameniva na síť s okem d_i , S_i je povrch koule o průměru $0,67d_i$ a V_i je objem koule stejného průměru. Symbolem h je označena hustota kameniva, Q je empirický koeficient vyjadřující odchylku zm od kulatého tvaru (Q těžkého kameniva = 1,1, Q drčeného kameniva = 1,4 – 1,9).

Hodnota modulu zrnitosti (k -hodnota) a velikost specifického povrchu jsou do určité míry protikladné. Zatímco specifický povrch je zvyšován především přítomností jemných částic, vyšší hodnoty modulu zrnitosti poskytuje hrubší kamenivo.

Převodní vztah nesouvisí jen s hustotou měřeného kameniva, ale je ovlivňován i tvarem zm. Předpokládáme-li přibližně kulovité částice o hustotě 2650 kg/m^3 pak pro normovou sadu sít můžeme nalézt následující korelaci:

$$k = 4,519 - 2,955 \cdot \log(S) .$$

Žádná jednočíslná veličina nemůže popsat distribuci zm kameniva stejně podrobně a jednoznačně jako čára zrnitosti. Stejná hodnota jednočíslného kritéria může být složena z různých velikých dílčích příspěvků daných příslušných podílem zm určité velikosti a stejnou hodnotu mohou případně vykázat i kameniva s výrazně odlišnou čarou zrnitosti.

OPTIMÁLNÍ ZRNITOST

Rozvoj technologie betonu na počátku minulého století je provázen snahou o určení jakési „ideální zrnitosti“ kameniva. Úvahy na toto téma vycházejí z celkem přirozeného předpokladu, že ideální kamenivo, umožňující přípravu kvalitního betonu s minimální spotřebou cementového pojiva, musí být složeno tak, aby zrna kameniva obalená cementovým pojivem neponechávala v čerstvém betonu pokud možno žádný další prostor zaplnitelný cementovým pojivem. Teoretické studie věnované ideální zrnitosti při tom pracují většinou s představou co nejtěsnějšího uspořádání kulovitých nebo přibližně kulovitých zm.

Nejstarší práce o ideálním vyplnění plochy kruhovými obrázky o různém průměru pochází od Eukleidova žáka Apollonia z Pergy a můžeme ji datovat kolem roku 200 př. n. l. Jde ovšem o čistě geometrickou a pouze dvourozměrnou konstrukci (obr. 3), která v době svého vzniku neměla nic společného s nějakou reálnou granulometrickou úlohou.

Určitě nejznámější řešení výplně prostoru různě velkými zrny přinesla Fullerova studie [5] podle které je ideální čára zrnitosti vyjádřitelná s pomocí vztahu:

$$y_i = 100 \sqrt{\frac{d_i}{D_{max}}} ,$$

kde y_i je celkový propad příslušející sítu o jmenovitém rozměru d_i a D_{max} je jmenovitý rozměr největšího síta použitého při konstrukci čáry zrnitosti.

Ideální kameniva Fullerova typu používají k vyplňování mezizrného prostoru postupně stále menší zrna a jejich zrnitost

se proto označuje jako plynulá. Velmi dokonalého vyplnění prostoru však lze dosáhnout i při vynechání zm střední velikosti. K ztuhnutí čerstvého betonu s přežřitou zrnitostí je ovšem třeba větší množství energie a hrozí zde zvýšené nebezpečí rozmišení při ukládání.

Nejslabším bodem teorie ideální zrnitosti je skutečnost, že v praxi je obtížné reprodukovat dokonale průběh jediné ideální čáry zrnitosti z omezeného množství momentálně dostupných surovin. Dále pak je zřejmé, že neexistuje žádná univerzální ideální čára zrnitosti a že zrnitost kameniva je nutné přizpůsobit dané surovinové základně, zamýšlenému způsobu zpracování a konečnému určení betonu.

Jako reálnější se proto jeví pojem vzorové (cílové) zrnitosti používaný s vědomím, že vzorová zrnitost má charakter oblasti, uvnitř které se uspokojivá čára zrnitosti musí pohybovat. K určení této oblasti je účelné využít kromě teoretických úvah i výsledky praktických experimentů. Při obvyklém grafickém zobrazení se pak tato oblast vymezuje soustavou dvou hraničních čar. Oblast uvnitř hraničních čar tvoří pásmo vzorové zrnitosti.

VÝPOČET POMĚRU MÍSENÍ

Nejjednodušší výpočty receptury pro přípravu granulometricky vhodného kameniva smísením několika dostupných surovin (frakcí) jsou založeny na snaze o návrh směsi, která má stejnou (nebo alespoň blízkou) hodnotu zvoleného jednočíslného kritéria (např. modulu zrnitosti) jako kamenivo vzorové. Význam vlivu hodnoty příslušné jednočíslné charakteristiky na výsledné vlastnosti kameniva je při takovémto postupu poněkud přeceňován. Již výše bylo konstatováno, že stejnou hodnotu mohou mít velmi rozdílné směsi.

Jen o málo lepší jsou „ruční“ výpočty algebraického nebo grafického charakteru, při kterých se porovnávání cílové a nově sestavované čáry zrnitosti provádí jen v několika vybraných bodech.

Při posuzování granulometrické vhodnosti kameniva by měla být dáována přednost metodám, které posuzují shodu mezi navrhovanou a cílovou čarou zrnitosti na všech sítích zkušební sady. Celková relace mezi cílovou čarou zrnitosti a čarou zrnitosti odpovídající připravované směsi se dodnes ovšem často zjišťuje pouze vizuálně a potřebná oprava receptury se pak provádí více méně intuitivně. Dokonce i některé soudobé výpočetní progra-

my, nedělají nic jiného než, že umožňují „on line“ zobrazení zmitosti navrhované směsi. Uživatel programu tuto čáru zmitosti na obrazovce vizuálně porovnává se současně zobrazenou vzorovou čárou (nebo se současně zobrazeným pásmem vzorové zmitosti) a změnou zadaného zastoupení jednotlivých surovin provádí její korekci. S ohledem na subjektivní charakter takového porovnávání (jehož výsledek do značné míry závisí na zručnosti a trpělivosti obsluhy) nelze takovéto řešení považovat za výpočet v pravém slova smyslu.

Jako výrazně objektivnější se jeví způsob porovnávání navržený Bastgenem [6], při kterém je hodnotícím kritériem součet druhých mocnin rozdílů mezi jednotlivými body čáry zmitosti vzorového kameniva a odpovídajícími body čáry zmitosti kameniva navrhovaného.

Je-li k dispozici jako surovina množina M různých látek, jejichž zmitost byla stanovena na N normových sítích, přičemž celkový propad nalezený na kterémkoliv kontrolním síti K pro látku L je $P(K,L)$ a odpovídající vzorový („ideální“) celkový propad výsledné směsi na stejném kontrolním síti K je $VP(K)$ pak platí:

$$\begin{aligned} P(1,1) \cdot X(1) + P(1,2) \cdot X(2) + \dots + P(1,M) \cdot X(M) &= VP(1) - R(1), \\ P(2,1) \cdot X(1) + P(2,2) \cdot X(2) + \dots + P(2,M) \cdot X(M) &= VP(2) - R(2), \\ P(3,1) \cdot X(1) + P(3,2) \cdot X(2) + \dots + P(3,M) \cdot X(M) &= VP(3) - R(3), \\ \dots & \\ P(N,1) \cdot X(1) + P(N,2) \cdot X(2) + \dots + P(N,M) \cdot X(M) &= VP(N) - R(N), \end{aligned}$$

kde $X(L)$ je hmotnostní zlomek odpovídající zastoupení látky L v celkové hmotnosti směsi a $R(K)$ je rozdíl mezi vzorovým celkovým propadem na zvoleném kontrolním síti K a skutečně dosaženým celkovým propadem celé směsi na totéž kontrolním síti. Nejtěsnější možné přiblížení ke vzorové čáře odpovídá minimální možné hodnotě $\sum[R(K)]^2$.

Minimum funkce $\sum[R(K)]^2$ je objektivně stanovitelné na základě nulové hodnoty její první derivace v příslušném bodě. Slabinou takového řešení je skutečnost, že matematicky korektní výsledek, může obsahovat fyzikálně nesmyslnou navážku o záporné hmotnosti.

Při převodu derivačního řešení do podoby počítačového programu proto Krell [7]

doplnil výpočetní postup ještě o zpětno-vazební filtr. Po zásahu filtru probíhá automaticky opakovaný výpočet s novým souborem výchozích surovin, ze kterého byly odstraněny ty suroviny, které v předchozím výpočtu poskytly zápornou navážku.

Krellův algoritmus funguje velmi dobře v těch případech, kdy existuje opravdu dobrá aproximace vzorové čáry zmitosti a není nutný výraznější eliminační zásah filtru. Při použití méně vhodných surovin však algoritmus selhává. Ziskáváme sice jakousi optimalizovanou čáru zmitosti, avšak tato čára vychází z drasticky zmenšeného souboru surovin a zdaleka nepředstavuje optimum dosažitelné prostřednictvím výchozího surovinového souboru.

Již v obou předchozích sděleních [8, 9] bylo konstatováno, že problémům se zápornou navážkou a předčasnou eliminací surovin je možné předejít postupnou optimalizací hodnoty funkce $\sum[R(K)]^2$, prováděnou s pomocí flexibilního simplexu.

Na základě pozitivních zkušeností, získaných s metodou flexibilního simplexu, jsme další vývoj celé optimalizační procedury orientovali na rozšíření nabídky opti-

malizačních kritérií. Do rozšířené optimalizační nabídky výpočetního programu byla vybrána tři následující dvousložková kritéria.

První dvousložkové optimalizačním kritériem je tvořeno minimalizovanou hodnotou $\sum[R(K)]^2$ a minimalizovaným rozdílem celkového specifického povrchu optimalizované směsi a vzorového kameniva. Možná je libovolná kombinace různých procentických podílů obou těchto faktorů. Nastavením stoprocentního podílu u jednoho z faktorů se příslušný faktor mění ve výlučně (jednosložkové) optimalizační kritérium.

Druhé dvousložkové optimalizační kritérium je opět tvořeno minimalizovanou hodnotou $\sum[R(K)]^2$ tentokrát však v kom-

binaci s minimalizovaným rozdílem mezi modulem zmitosti optimalizované a cílové směsi. Podíl obou faktorů je opět vlnitý. Ukázkou výsledku optimalizace prováděné tímto způsobem přináší obr. 4.

Třetí dvousložkovou optimalizační možnost představuje návrh přípravy kameniva jehož granulometrické složení má ležet uvnitř předem definovaného pásma. Penalizace za překročení hranice pásma doporučené zmitosti je přitom kombinována s bonifikací za optimální průběh posuzované čáry zmitosti středem omezujícího pásma.

Optimalizační algoritmus nyní pracuje tak, že po zadání surovin a vzorového kameniva se ještě zadává procentická struktura zvoleného cílového kritéria a teprve pak je automaticky vytvořena výchozí sada návrhů míšení surovin. U každého návrhu se okamžitě provádí výpočet výsledného granulometrického složení a zjišťuje se příslušná hodnota dvousložkového optimalizačního kritéria. Na základě pozice každého návrhu ve výsledkovém simplexu a na základě předcházejícího vývoje hodnoty optimalizačního kritéria se určuje podoba dalšího simulovaného míšení.

Specifický povrch je počítán z údajů nalezených na všech sítích příslušné zkušební sady. Pro výpočet modulu zmitosti lze zvolit jakýkoliv (nejméně dvouprvkový) výsek z těchto údajů. Je tedy možné reagovat na různé definované moduly.

Důležitou součástí všech výpočtů je penalizace fyzikálně nemožných výsledků (obsahujících zápornou navážku některé

Literatura:

- [1] ČSN EN 933 – Zkoušení geometrických vlastností kameniva, Část 1, 2, 1997
- [2] DIN 1045: Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung, 1988
- [3] Jelen L.: Praktická technologie betonu, s. 53, SNTL, Praha 1956
- [4] Pytlík P.: Technologie betonu, VUT, Brno 1997
- [5] Fuller W. B., Thomsom S.E.: Trans. Am. Soc. Civ. Engng. 59, s. 67, 1907
- [6] Bastgen K. J.: Betonwerk + Fertigteil – Technik 43 (5), s. 266, 1977
- [7] Krell J.: Betonwerk + Fertigteil – Technik 48 (10), s. 585, 1982
- [8] Svoboda L.: Construmat 2000 (konf. sbor.), s.211, SPU, Nitra 2000
- [9] Svoboda L.: Stavební obzor 11(3), s. 86, 2002

suroviny) dostatečně vysokým přídatkem k vypočtené hodnotě extremalizované funkce. To vyvolá další průběh optimalizace fyzikálně možným směrem, bez nutnosti bezprostředního vyřazení suroviny ze systému.

Testování výše uvedených variant optimalizačního algoritmu, na řadě reálných i fiktivních dat, potvrdilo výchozí předpoklad, že zavedením vícesložkového kritéria a vhodnou volbou vah jednotlivých složek je možné pozitivně ovlivnit průběh celého optimalizačního procesu.

ZAVĚR

Více variantní metoda flexibilního simplexu poskytuje při provádění granulometrické optimalizace velmi dobré výsledky. Současné použití dvou kritérií, s volitelně proměnnou vahou, přináší do optimalizačního procesu novou kvalitu a v praxi může přispět k tvorbě reálného a přitom dobře fungujícího návrhu receptury pro sestavení kameniva s optimální zrnitostí.

Všichni zájemci o odzkoušení nového výpočetního postupu mohou bezplatně získat potřebný program na webové adre-

se: www.fsv.cvut.cz/cp1250/~svoboda/aggmix.

Tento příspěvek byl vytvořen s podporou grantu GA ČR 103/01/0784 a výzkumného záměru MŠMT ČR CEZ: J04/98:210000030.

Doc. Ing. Luboš Svoboda, CSc.
Katedra stavebních hmot
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 224 354 448, fax: 224 354 446

NOVÉ POJIVO PREFABRIKOVANÝCH BETONOVÝCH PRVKŮ

Lafarge Cement (Oberursel, Německo) vyvinul nový cement na bázi Portlandského cementu a tříděné mleté strusky. Jeho světlý základní odstín jej předurčuje k použití do barevných betonů.

Zvlněné objekty navržené výtvarníky byly umístěny do centra města Dessau v Německu [1], aby rozjasnily šedivé ulice a vněsly do nich hru barev. Pro výrobu vln probarvených ve hmotě a nikoliv pouze na povrchu byl použit nový Optacolor cement. Samozhutňující beton byl nalit do velmi pečlivě připravených forem z překližkového bednění s vnitřním nátěrem PVC. Hladký povrch prvků byl navíc uzavřen speciálním voděodolným nátěrem, takže případné graffiti jsou snadno a rychle odstranitelná. Vlny vážící několik tun jsou bezpečné, nelze je jednoduše přemísťovat.

Vodě odolné betonové prvky s hladkým uzavřeným povrchem bez pórů byly vyrobeny v Biber-Beton v německém Karlodrfu. Výrobce tvrdí, že se svými vlastnostmi v souvislosti s barvami a technologickými efekty na beton je nový cement zvláště vhodný pro

vysoce estetické prefabrikované prvky a betonové produkty. Vlny v Dessau nevznikly náhodou. „Klouzačky“ navrhli výtvarníci – bratři Alvar a Thomas Beyer (výtvarník a architekt). První ideu a námět však přinesly místní děti, které dostaly příležitost zúčastnit se workshopu pořádaného za účelem zpříjemnění městského prostředí.

redakčně kráceno



Literatura:

- [1] New binding agent for precast elements with excellent aesthetic design, Concrete Plant International, #3, June 2003, str.138–140



Jasně zbarvený beton s použitím cementu Optacolor pro užité umění, místo na klouzání, sezení, setkávání, jednoduše žít!

