

# VLIV KAMENIVA NA MODUL PRUŽNOSTI BETONU

## INFLUENCE OF AGGREGATE ON MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE

Jiří Šafrata

Vlastnosti hrubého kameniva mají v betonu zásadní vliv na jeho modul pružnosti, přesto nejsou všechny potřebné charakteristiky kameniva v praxi dostatečně sledovány. V článku jsou popsány zkoušky směřující k poznání zákonitosti přetvárného chování hrubých kameniv jako složek betonu. Pozornost byla soustředěna na moravskou drobu z lokalit Hrabůvka, Výkleky, Bělkovice, Bohučovice a čedič z lomu Bílčice, které jsou dostupné pro výrobu betonu na severní Moravě. ■ *Though properties of coarse aggregate have crucial influence on modulus of elasticity of concrete, they are usually not sufficiently measured. This article describes test methods, which are useful for determine deformational characteristics of coarse aggregate as a component of concrete. The study is focused on grewacke from the Hrabůvka, Výkleky, Bělkovice, Bohučovice sites and basalt from the Bílčice quarry. These sites are available for concrete production in northern Moravia.*

Doporučení Eurokódu 2 [1] k modulu pružnosti betonu řeší použité kamenivo velmi nedostatečně. Jsou zde uvedeny přibližné hodnoty pro silikátové kamenivo a možnosti korekcí těchto hodnot pro vápencové, pískovcové či čedičové kamenivo. Kamenivo jako stěžejní složka betonu však do něj přenáší své vlastnosti zásadním způsobem.

Tab. 1 Hodnoty měření tlakové pevnosti a modulu pružnosti vybraných hornin ■  
Tab. 1 Values of compressive strength and modulus of elasticity of selected rocks

	Lokalita	Označení	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku	Statický modul pružnosti
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[GPa]
moravská droba	Hrabůvka 7. etáž, vzorek 1.	H1-7	2,67	179,6	36
	Hrabůvka 7. etáž, vzorek 2.	H2-7	2,71	175,6	52,5
	Hrabůvka 3. etáž	H3	2,72	204,9	38,4
	Bělkovice	Be1	2,7	176,1	50,9
čedič	Bílčice 1. vzorek	Bi1	2,96	358	67,1
	Bílčice 2. vzorek	Bi2	2,87	103,8	6,2

Je prokázáno [2], že vlastnosti konkrétního použitého kameniva, jejich změna v čase a změny vlastností v rámci lokality dobývacího prostoru mohou zásadně ovlivnit výsledné vlastnosti betonové konstrukce.

### STANOVENÍ MODULU PRUŽNOSTI HORNIN UŽÍVANÝCH PRO VÝROBU HRUBÉHO KAMENIVA

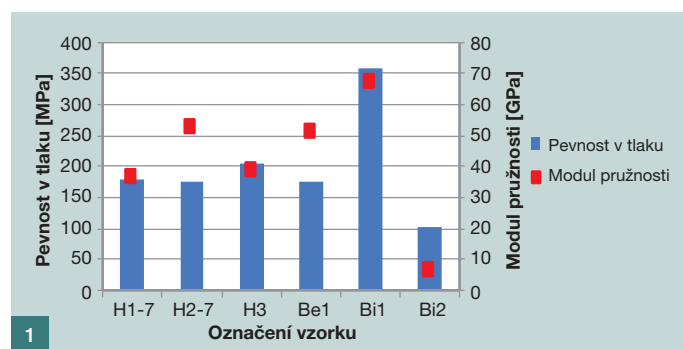
Na vzorcích hornin odebraných v některých těžebních prostorech lomů, u kterých lze předpokládat jejich použití při výrobě betonu, byla zkoušena pevnost v tlaku a statický modul pružnosti. Zkoušenými horninami byly moravská droba z lomu Bělkovice a lomu Hrabůvka a také čedič z lomu Bílčice.

Z lomu Hrabůvka byl vybrán vzorek z 3. etáže, kde se vyskytovaly mezi střednězrnou drobou výrazné vrst-

vy tmavších břidlic orientovaných rovnoběžně s tlačnými plochami i častější hnědé zbarvení lomových ploch (vzorek H3). Další dva vzorky byly z nově otevřené 7. etáže. Tady převládala souvislá droba, výskyt břidlic byl výrazně vzácnější. Jeden ze vzorků byl vybrán vizuálně světlejší a hrubozrný (vzorek H7.1), druhý tmavý, kompaktní (vzorek H7.2).

Lom Bělkovice poskytuje kamenivo jen s výjimečným obsahem břidlic, masivní šedá droba však z betonářského hlediska s sebou nese vysoké riziko alkalicko-křemičité reakce (vzorek Be3).

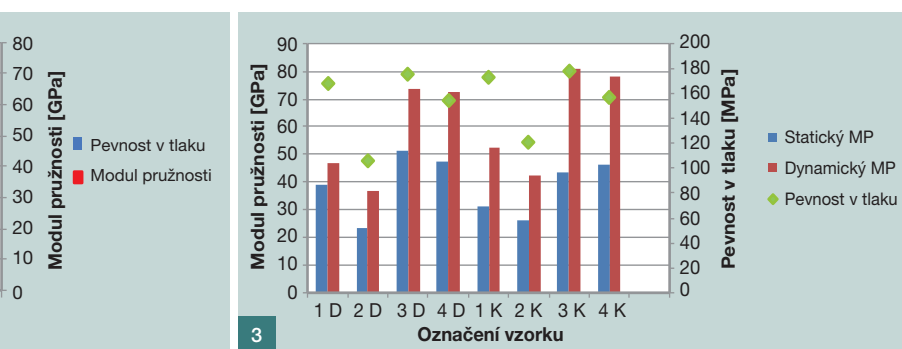
Další vzorky byly odebrány v lomu Bílčice. První byl vybrán z části lomu, kde se jednoznačně vyskytuje kompaktní čedič s deskovou odlučností, obtížně drtitelný (vzorek Bi1). Již ve vzdálenosti okolo 100 m od prvního odběru lze nalézt čedič s bobovým rozpadem. Stěny kamenů nejsou hladké, při silnějším



Obr. 1 Grafické znázornění pevností v tlaku a modulů pružnosti vzorků hornin ■  
Fig. 1 Graphic representation of compressive strength and modulus of elasticity of rock samples

Obr. 2 Zkušební tělesa vyvrtaná ze vzorků odebraných z lomu Výkleky ■ Fig. 2 Test specimens drilled from samples taken from the Výkleky quarry

Obr. 3 Grafické znázornění pevností v tlaku a modulů pružnosti vzorků hornin z lomu Výkleky ■ Fig. 3 Graphic representation of compressive strength and modulus of elasticity of the rock samples from the Výkleky quarry



úderu se celý kus rozpadá. Výběr konkrétního kusu byl uskutečněn s ohledem na možnost provedení vývrtu ze vzorku, tak aby nedošlo k jeho rozpadu (vzorek Bi2).

Z vybraných horninových bloků byly vyvrtány válce o průměru i výšce cca 50 mm, které byly zakončovány řezáním a broušením. Z každého vzorku horniny bylo vyrobeno šest těles, která byla při teplotě  $70 \pm 5^\circ\text{C}$  vysušena na ustálenou hmotnost.

Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku a statického modulu pružnosti dle normy ČSN EN 14580 [3] jsou uvedeny v tab. 1 a v grafu na obr. 1.

Zkoumané vzorky vykazují velmi odlišné hodnoty tlakových pevností i modulů pružnosti (obr. 1). U vzorku moravské droby se vyskytly hodnoty, které bylo možno očekávat, ale jejich rozptyl je široký. U dosažených hodnot vždy velmi záleží na výběru konkrétního kusu horniny a jeho orientaci v lomu. V drceném kamenivu určeném pro použití při výrobě betonu lze však předpokládat, že se průměrná kvalita bude pohybovat v přijatelných hodnotách.

U čediče z lomu Bílčice se potvrdila výrazně rozdílná kvalita horniny přímo v oblasti těžby. Extrémní rozdíly svědčí o tom, že vlastnosti tohoto kameniva se mohou velmi výrazně měnit. Zrna čediče s bobovým rozpadem se však po rozdrčení snadno dostanou do frakcí menších než 8 mm, což vyplývá z velikosti strukturálních zrn. Pro betony s vysokým modulem pružnosti lze proto doporučit použití pouze kameniva většího než 8 mm.

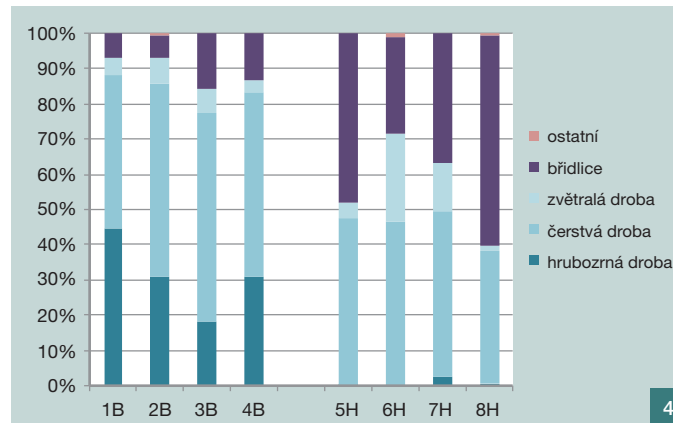
### STANOVENÍ PEVNOSTI A MODULU PRUŽNOSTI MORAVSKÉ DROBY Z LOMU VÝKLEKY

Moravská droba v obou etážích lomu Výkleky vypadá vizuálně velmi podobně, nevyskytuje se zde břidlice a nejsou zde viditelně odlišné vrstvy. Dalo by se předpokládat, že se vlastnosti horniny z různých pozic lomu nebudou příliš lišit. Z obou etáží byly vybrány vždy dva kusy hornin. Přihlíželo se k tomu, aby se zvolily dostatečně reprezentativní kusy z oblasti právě dobývaného prostoru a zároveň, aby byly zastoupeny kusy svým původem vzájemně vzdálené.

Z kusů hornin byla vyvrtána tělesa o výšce 50 a 100 mm a jejich zakončování bylo provedeno opět broušením. Tělesa byla před zkouškou vysušena do ustálené hmotnosti. Kromě měření pevnosti v tlaku a statického modulu

Tab. 2 Stanovení rozličných částic v drobovém kamenivu | Tab. 2 Determination of various particles in the graywacke aggregate

Vzorek	Frakce	Hrubozrná droba	Čerstvá droba	Zvětralá droba	Břidlice	Ostatní
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>Bohučovice</b>						
1B	8/16	44,6	43,5	5	6,9	0
2B	8/16	31	54,8	7,1	6,5	0,6
3B	11/22	18	59,4	6,9	15,7	0
4B	11/22	30,9	52,2	3,6	13,3	0
<b>Hrabůvka</b>						
5H	8/16	0,3	47,2	4,4	48,1	0
6H	8/16	0	46,4	25,3	27,4	0,9
7H	11/22	2,7	46,8	13,6	36,9	0
8H	11/22	0,4	37,8	1,6	59,4	0,8



Obr. 4 Stanovení rozličných částic v drobovém kamenivu | Fig. 4 Determination of various particles in the graywacke aggregate

pružnosti jako v předchozím případě byl stanoven i dynamický modul pružnosti.

Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku a statického modulu pružnosti jsou uvedeny v grafu na obr. 3. Písmenem D jsou označeny vzorky s délkou 100 mm a písmenem K vzorky s délkou 50 mm. Vrstevnatá textura, charakteristická u sedimentárních hornin, se u těchto vzorků nevyskytovala. Zkušební tělesa byla rovnoměrně jemně zrnitá, tělesa skupiny 1, 3 a 4 měla šedou barvu, tělesa skupiny 2 barvu nahnědlou (obr. 2).

Tělesa označená D odpovídají svými rozměry požadavku normy ČSN EN 14580 [3] (výška/průměr = 2), výsledky těles označených K (výška/průměr = 1) jsou srovnávací. Pro pevnost v tlaku vychází poměr mezi delšími a kratšími tělesy D/K = 1,05, pro statický modul pružnosti poměr 0,93 a pro dynamický modul pružnosti 1,11.

Statický modul má podle očekávání vždy nižší hodnotu než dynamický a průměrný poměr mezi statickým a dynamickým modulem u delších vzorků činí 0,71.

U skupiny vzorků č. 2 s hnědým zbarvením (obr. 2) jsou tlakové pevnosti nejnížší. Lze tedy usuzovat, že toto zbarvení může signalizovat zhoršené vlastnosti (vzorek z vyšší etáže).

Výběr vzorků lze považovat za reprezentativní pro oblast aktuální těžby. Tla-

ková pevnost na válcích se v rámci ložiska pohybuje mezi 106 a 175 MPa a statický modul pružnosti v tlaku nabývá hodnot 23 až 51 GPa. Pro betony s deklarovaným modulem pružnosti tedy toto kamenivo není zcela vhodné, neskýtá dostatečnou rezervu ani stabilitu výsledků. V případě potřeby výroby by se dalo uvažovat o selektivní těžbě jen z nižší etáže nebo z pozic bez hnědého zbarvení. Byly by však nutné další podrobnější zkoušky. Pro běžné použití v betonech s deklarovanými požadavky pouze na pevnost v tlaku je možno kamenivo bez obav používat.

### PETROGRAFICKÝ ROZBOR KAMENIVA

Výskyt zrn břidlic i jiných petrograficky odlišných hornin v drobovém kamenivu z lomů Bohučovice a Hrabůvka vedl k potřebě určit a porovnat jejich procentuální zastoupení. Využila se proto metodika uvedená v normě ČSN 72 1180 – Stanovení rozličných částic kameniva [4].

Vzorky kameniva byly odebrány z do dávků na betonárně. Před zkouškou rozličných částic bylo kamenivo omyto vodou a pro lepší možnost makroskopické identifikace byl po celou dobu zkoušky udržován jeho povrch ve vlhkém stavu. Pro stanovení jednotlivých petrografických typů hornin byly pou-

žity lupy, nůž, zředěná kyselina chlorovodíková a v případě nutnosti i stereoskopický mikroskop. Výsledky jednotlivých stanovení shrnuje tab. 2 a graf na obr. 4.

Vysoké procento břidličnatých zrn v kamenivu Hrabůvka zachycuje momentální stav odpovídající konkrétní pozici těžby v lomu. Při změně místa těžby se stav může výrazně měnit.

Přes vysoké procento přítomné břidlice v kamenivu Hrabůvka dosahuje modul pružnosti horniny vyšších hodnot než u kameniva Bohučovice. Je možno se domnívat, že samotná přítomnost břidlice v kamenivu není původcem nižších modulů pružnosti, ale důležitější je celkový stav a historie horniny v ložisku. Vysoké horninové tlaky v celé minulosti ložiska do značné míry přiblížily kvalitu všech vyskytujících se hornin k sobě. Původní předpoklad, že vysoký podíl břidličnatých zrn výrazně snižuje kvalitu kameniva, tedy nelze brát jako obecný.

### HODNOCENÍ TVAROVÝCH INDEXŮ DROBOVÉHO KAMENIVA

Snaha o stanovení množství břidlice v drobovém kamenivu vedla k úvahám, jak rozřadit jejich zrna. Odlišným znakem mezi drobou a břidlicí je jejich štěpnost. Břidlice se při drcení štěpí v laminárních plochách a její zrna mají tedy vyšší tvarový index. Tato úvaha vedla k dalšímu experimentu. Záměrem bylo statisticky vyhodnotit velké množ-

ství zkoušek prováděných při pravidelných kontrolách kvality.

Zrna tvořená břidlicemi se zpravidla vyznačují vysokým tvarovým indexem a obecně vykazují nižší tvrdost a mechanickou odolnost než samotná droba. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že břidličnaté části se snadněji drtí a jsou ve větší míře obsaženy v drobnějších frakcích. Tvarový index menších frakcí by proto měl podle předpokladu vykazovat vyšší hodnoty.

V současnosti není pro použití kameniva do betonu obsah cizorodých částic nijak limitován. Je známo, že z hlediska použití do betonu je frakce 4/8 z lomu s výskytem břidlic téměř nepoužitelná pro svůj převládající obsah šupinovitých, plochých zrn s ostrými hranami. Frakce 8/16 mívá obsah břidlic nižší a přes špatný tvarový index již není její použití tak kritické jako u frakce 4/8. Frakce 11/22 na tom bývá nejlépe, při drcení se již měkčí vrstevnatý materiál odlámá a dostal se do drobnějších frakcí.

Při zkouškách byly srovnány tvarové indexy ze čtyř lokalit moravských drob. Hodnoty byly shromážděny z kontrolních zkoušek z let 2010 až 2014. Lokalita Hrabůvka, na rozdíl od lokalit Bělkovice, Luleč a Výkleky, je známá právě častým výskytem břidlic. Uvedené hodnoty jsou průměry z ročních průměrů. Počet hodnot v každém roce u frakcí 4/8, 8/16 a 11/22 se pohybuje mezi 12 až 24 odběry. Jedná se te-

dy o velmi obsáhlý soubor s vysokou vypovídací schopností. Jejich přehled obsahuje graf na obr. 5.

Mezi nejvíce vyráběnými frakcemi 4/8 až 11/22 je možno pozorovat zřetelný rozdíl mezi kamenivy z lokality Hrabůvka a z ostatních lokalit. Lze usuzovat, že příčinou mohou být odlišné vlastnosti břidlic při drcení a jejich vysoký podíl v tomto kamenivu. Za povšimnutí také stojí snižující se tvarový index se vzrůstající frakcí u všech uvedených kameniv. Nejpoužívanější frakce 8/16 a 11/22 je tedy možno u kameniva Hrabůvka zařadit do kategorie SI 40 a ostatní kameniva do kategorie SI 20. Hodnoty v kategorii SI 40 v praxi způsobují sníženou konzistenci, zhoršenou pohyblivost a čerpatelnost čerstvého betonu. Sekundárně pak i nižší pevnost a modul pružnosti ztvrdlého betonu.

Pro objektivitu údajů je třeba říct, že hodnota tvarového indexu je také závislá na typu sekundárních drtičů, které tvar zrn významně ovlivňují. Na všech uvedených lokalitách byly umístěny jen kuželové drtiče a ve sledovaném období nedošlo k jejich výměně.

### VLIV NEROVNOMĚRNÉ HORNINOVÉ SKLADBY HRUBÉHO KAMENIVA NA MODUL PRUŽNOSTI BETONU

Vliv břidlice přítomné v kamenivu může ovlivňovat vlastnosti betonu především v ztvrdlém stavu. Míra tohoto vlivu se

Obr. 5 Tvarové indexy drobových kameniv ze čtyř lokalit ■ Fig. 5 Shape indexes of greywacke aggregate from four different sites

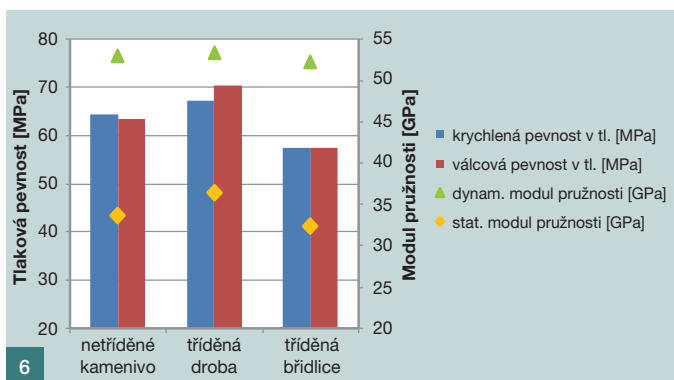
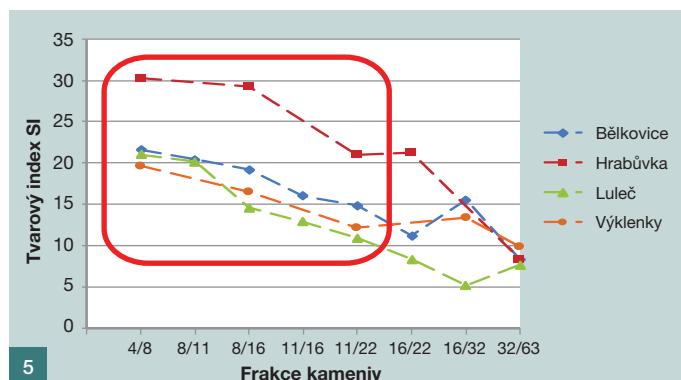
Obr. 6 Grafické porovnání vlastností betonu s tříděným a netříděným kamenivem ■ Fig. 6 Graphic comparison of characteristics of concrete with sorted and unsorted aggregate

Obr. 7 Pevnosti a moduly pružnosti provzdušněných betonů mezi kamenivem Bohučovice a Hrabůvka ■ Fig. 7 Graphic comparison of strength and modulus of elasticity of non-air-entrainment concrete with Bohučovice and Hrabůvka aggregate

Obr. 8 Pevnosti a moduly pružnosti provzdušněných betonů mezi kamenivem Bohučovice a Hrabůvka ■ Fig. 8 Graphic comparison of strength and modulus of elasticity of air-entrainment concrete with Bohučovice and Hrabůvka aggregate

Obr. 9 Pevnosti a moduly pružnosti provzdušněných a neprovzdušněných betonů s kamenivem Hrabůvka ■ Fig. 9 Graphic representation of strength and modulus of elasticity of air-entrained and non-air-entrained concrete with Hrabůvka aggregate

Obr. 10 Pevnosti a moduly pružnosti dosažené na hranolech a na válcích ■ Fig. 10 Graphic representation of strength and modulus of elasticity reached on prisms and cylinders



Tab. 3 Hodnoty měření hranolových a válcových pevností a modulů pružnosti s kamenivou Bohučovice a Hrabůvka ■ Tab. 3 Values of prismatic and cylindrical strength and modulus of elasticity of aggregates Bohučovice and Hrabůvka

Označení	Stáří	Pevnost v tlaku	Dynamický modul	Statický modul	Označení	Stáří	Pevnost v tlaku	Dynamický modul	Statický modul
	[d]	[MPa]	[GPa]	[GPa]		[d]	[MPa]	[GPa]	[GPa]
F1B	4	43,09	44,5	24,8	F1H	4	43,79	47,33	29
	7	44,68	46,13	25,15		7	51,13	49,83	30,05
	14	51,62	47,67	26,8		14	54,82	51,9	32,75
	28	51,94	48,7	27,4		28	60,49	52,6	33,3
F2B	4	42,19	44,57	22,85	F2H	4	37,02	44,73	26,95
	7	44,2	45,23	23,4		7	44,46	47,67	28,8
	14	50,48	45,47	25,75		14	52,69	47,17	28,65
	28	51,61	47,03	25,8		28	53,92	49,5	31,45
F1B-V	28	56,21	47,6	23,5	F1H-V	28	59,56	51,7	31,25
F2B-V	28	61,6	46,9	23,25	F2H-V	28	53,06	49,13	28,75

dá těžko odhadnout. Proto byl navržen experiment, při kterém byla z frakcí kameniva 8/16 a 11/22 z lomu Hrabůvka ručně vytríděna zrna složená výhradně z droby a výhradně z břidlice. Takto roztríděné kamenivo bylo odzkoušeno a pak z něj byl namíchán beton s jinak stejným složením. Na zhotovených tělesech byly provedeny zkoušky ztvrdlého betonu.

Vzorky kameniva byly nejprve promyty vodou a vizuálně, po jednotlivých zrnech roztríděny. Při třídění bylo prioritou jednoznačné určení zrna, tzn. že pokud byla pochybnost o složení nebo zrno obsahovalo více složek, bylo vyřazeno. K srovnání bylo použito i netříděné kamenivo.

Pro zkoušky byla použita receptura s vysokým procentem hrubého kameniva tak, aby se jeho vlastnosti projeví výrazněji. Složení betonu C35/45–

XF1–S3 bylo pro všechny tři alternativy objemově stejné. Referenční receptura obsahovala netříděné kamenivo frakce 8/16 a 11/22 z lomu Hrabůvka a byla odladěna na konzistenci 160 mm sedimentů. Podobně byly namíchány další směsi z tříděné droby a z tříděné břidlice. Z čerstvého betonu byly vyrobeny zkušební krychle a válce pro stanovení pevnosti v tlaku, dynamického a statického modulu pružnosti.

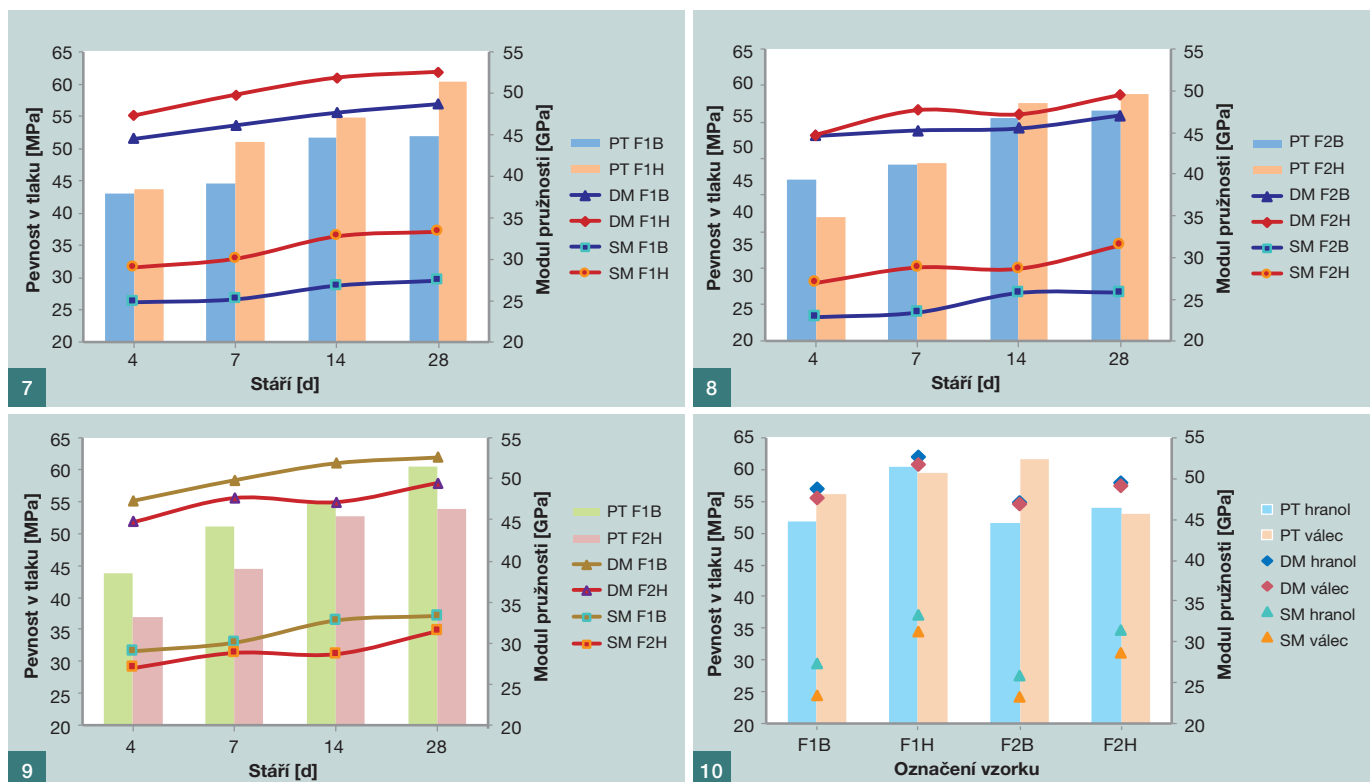
Z dosažených výsledků je patrné, že u všech zkoumaných vlastností jsou nejvyšší dosažené hodnoty u čistě tříděné droby. Netříděná droba má hodnoty nižší, vytríděná břidlice pak nejnižší. Díky vysoké pracnosti při třídění jednotlivých zrn byly dosaženy výsledky, které lze považovat za relevantní. Přítomnost břidlice v ložisku moravské droby snížila tlakové pevnosti až o cca 10 % a modul pružnosti o cca 5 %. Do-

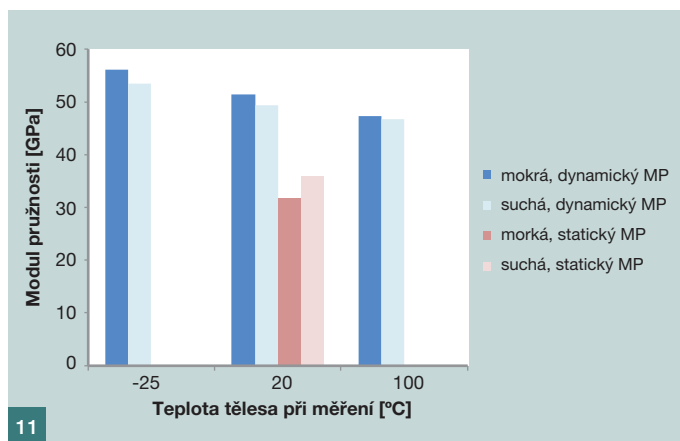
sažené hodnoty lze považovat za limitní, protože podíl drcených frakcí v receptuře byl záměrně zvolen vysoký.

### VLIV PŮVODU DROBOVÉHO KAMENIVA NA VLASTNOSTI BETONU

V rámci dalšího experimentu byly provedeny zkoušky betonu vyrobeného dvěma betonárnami, které používaly stejné receptury, ale původ hrubého drobového kameniva frakce 8/16 a 11/22 byl různý. Jedním zdrojem byl lom Bohučovice (B), druhým lom Hrabůvka (H). Objemová hmotnost i další základní vlastnosti těchto kameniv se liší jen nevýznamně.

Na každé betonárně se vyrobily zkušební směsi z betonů C35/45–XF1–S3 (označeno F1) a C 35/45–XF2–S3 pro vzdušněný (označeno F2). Změřily se parametry čerstvého betonu a zhotovily se trávce rozměru 100×100×400 mm i válce 150×300 mm. Na trávcích se zkoušela hranolová pevnost a statický modul pružnosti po 4, 7, 14 a 28 dnech, na válcích se zkoušela pevnost a statický modul pružnosti jen po 28 dnech. U všech vzorků byl stanoven i dynamický modul pružnosti ultrazvukem. Válcová tělesa byla před zkouškou zakoncována broušením. V tab. 3 jsou uvedeny naměřené hodnoty tlakových pevností na hranolech, dynamických a statických modulů pružnosti po 4, 7, 14 a 28 dnech. V spodní části tabulky jsou uvede-





Obr. 11 Modul pružnosti při různých teplotách a stavech vlhkosti ■  
Fig. 11 Graphic representation of modulus of elasticity at various temperatures and humidity conditions

Zdroje:

- [1] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.
- [2] ŠAFRATA, J. *Hlavní faktory ovlivňující modul pružnosti betonu*. Ostrava, 2016. Disertační práce. VŠB TU Ostrava. ISSN 1213-7456.
- [3] ČSN EN 14580. *Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení statického modulu pružnosti*. Praha: ČNI, 2005.
- [4] ČSN 72 1180. *Stanovení rozlišných částic kameniva*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1967.
- [5] ČSN EN 206. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: UNMZ, 2014.

ny hodnoty změřené na válcích po 28 dnech (na konci označení V).

V grafech na obr. 7 až obr. 10 jsou znázorněny naměřené hodnoty a jsou použita tato označení: PT – pevnost v tlaku, DM – dynamický modul pružnosti stanovený ultrazvukovou metodou a SM – statický modul pružnosti.

U naměřených hodnot na obr. 7 je patrný zřetelný trend, který ukazuje na nižší hodnoty pevnosti v tlaku a statického i dynamického modulu pružnosti betonu při použití kameniva z Bohučovic na rozdíl od kameniva Hrabůvka.

U provzdušněných betonů byla dávka cementu o 30 kg/m<sup>3</sup> vyšší, přesto jsou pevnosti i moduly vždy nižší.

Lze také vytvořit srovnání mezi výsledky na hranolech a válcích. Hranoly jako alternativní zkušební těleso dosahují vždy vyšších hodnot statického modulu pružnosti než válce vlivem jiných poměrů mezi základnou a výškou.

## VLIV TEPLoty A VLHKOSTI NA MODUL PRUŽNOSTI BETONU

Betonové konstrukce se během své životnosti nacházejí v různých teplotních a vlhkostních stavech. Následující zkouška ověřovala, jak se mění při těchto extrémních podmínkách modul pružnosti betonu.

Úkolem bylo měřit ultrazvukovou impulsovou metodou modul pružnosti vzorků v laboratorních podmínkách 20 °C, při nízké teplotě -25 °C a při teplotě varu, tj. cca 100 °C. Při těchto teplotách se měřily vždy dva stavy zkušebních těles, a to stav nasycenosti vodou a stav vysušení těles do ustálené hmotnosti.

Zkoušky byly prováděny na válcích 150×300 mm z betonu C30/37–XF1. Po 28 dnech zrání v normovém prostředí se všechna tělesa zakoncovala oboustranným broušením.

Tři tělesa se po vyjmutí z vody necha-

la 24 h oschnout při teplotě +20 °C, pak se uložila do laboratorní sušárny při +105 °C na cca 3 dny. Po dosažení ustálené hmotnosti se na tělesech změřila rychlost šíření ultrazvukového impulsu a spočítal se dynamický modul pružnosti.

Po dostatečném vychladnutí byla tělesa zabalena do fólie, aby nemohla přijímat okolní vlhkost. Po vyrovnání teplot s okolím (laboratoř +20 °C) se opět změřila rychlost šíření ultrazvukového impulsu.

Další tři tělesa, která byla uložena ve vodě o teplotě +20 °C, se po vytažení a povrchovém osušení ihned změřila ultrazvukem. Pak se vložila do hrnce, podložila dřevěnými podkladky a zalila vodou. Celý obsah se na vařiči zahřál do varu. Po 3 h udržování stálého varu se tělesa vyjmula a po osušení se opět ihned změřila ultrazvukem. Následně se opět uložila do vody s teplotou +20 °C.

Další fáze zkoušek byla provedena zmrazením vzorků v mrazicím boxu KD 20. Mokrá i suchá tělesa byla zabalena do fólie, aby neztratila nebo nenabyla vlhkost, a nechala se zmrazit na teplotu -25 °C. Po 24 h udržování této teploty se na všech tělesech opět změřila rychlost šíření ultrazvukového impulsu.

V poslední fázi pokusu se suchá i mokrá tělesa opět uvedla do laboratorní teploty +20 °C a podrobila se zkoušce statického modulu pružnosti. Hodnoty jsou uvedeny v grafu na obr. 9.

Zkouška prověřila vliv podmínek na výslednou hodnotu dynamického modulu pružnosti při měření ultrazvukovou impulsovou metodou. S narůstající teplotou docházelo k snižování hodnoty modulu pružnosti. Nasycené vzorky vodou vykazují vyšší hodnoty dynamického modulu pružnosti než vysušené.

## ZÁVĚR

Drcená kameniva z oblasti severní Moravy jsou převážně moravské droby. Pro výrobu betonu se těží v několika lomech a jejich kvalita je proměnlivá. Pokud jde o výrobu betonů s běžnou specifikací podle ČSN EN 206 [5], stačí k posouzení vhodnosti kameniva údaje výrobce. Pokud má však výrobce betonu splnit požadavek na konkrétní hodnotu modulu pružnosti, má tyto možnosti:

- Zajistit si informace o tom, jaký modul pružnosti má hornina z lomu, z kterého kamenivo odebírá, a v které části lomu se právě těží. Zjistit, jakých odchylek hodnoty dosahují. S výrobcem kameniva je třeba projednat stabilitu kvality dodávek a ověřit na zkušebních záměsích betonu, zda je možno požadovanou hodnotu modulu dosáhnout bez dalších opatření.
- Pokud není možno požadovanou hodnotu modulu pružnosti dosáhnout, je nutné se zajímat o jiný druh kameniva.

Další možností je použít jako hrubou frakci čedič formou částečné nebo úplné náhrady původních hrubých frakcí.

V průběhu výroby betonu s deklarovaným modulem pružnosti je třeba si nejen ověřovat jeho hodnoty modulu pružnosti, ale také sledovat, jaké kamenivo je dodáváno a odkud se právě těží. Vyžaduje to řadu zkoušek, které se dnes běžně neprovádějí.

Výrazným počinem je nedávně vydání Technických pravidel ČBS 05 s názvem „Modul pružnosti betonu“. Tato publikace zavádí podrobnější pravidla, jak s modulem pružnosti nakládat a jak se v této problematice lépe orientovat.

Ing. Jiří Šafrata, Ph.D.

Betotech, s. r. o.

e-mail: jiri.safrata@betotech.cz



Text byl posouzen odborným lektorem.

The text was reviewed.