

**Posudek oponenta  
bakalářské práce**

**Experimentální analýza  
samozhutnitelného betonu  
2017**

Student: Miroslav Duhoň  
Vedoucí práce: Ing. Vladimír Suchánek  
Oponent: Ing. Mirek Jarolím



## Přehled hodnocení bakalářské práce

Položka	Kritéria hodnocení bakalářské práce	Počet bodů
1.	Splnění hlavního a dílčích cílů bakalářské práce. (0 až 30 bodů)	25
2.	Členění a návaznost jednotlivých kapitol a podkapitol. Teoretická úroveň a využití dostupné literatury. (0 až 10 bodů)	7
3.	Formální náležitosti a úprava obsahu bakalářské práce (úroveň textu/pravopis, grafické provedení a názornost tabulek a obrázků, použití citací v textu, seznam použité literatury apod.). (0 až 20 bodů)	14
4.	Rozsah a účelnost realizovaných činností (např. počet vyrobených a otestovaných vzorků nebo použití SW a počet provedených simulací). (0 až 20 bodů)	20
5.	Úroveň aplikovaných vědomostí a znalostí, metodologického zpracování, diskuse výsledků a závěrů práce. (0 až 20 bodů)	15
	<b>Celkový počet bodů</b>	<b>81</b>

## Slovní hodnocení bakalářské práce

Předložená bakalářská práce pana Duhoně „Experimentální analýza samozhutnitelného betonu“ se zabývá vlivem původu kameniva na vlastnosti samozhutnitelného betonu (SCC). Téma je zpracováno přehledným způsobem a v rozsahu, který je požadován pro bakalářskou práci. Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí: teoretické a experimentální, přičemž je kladen větší důraz na experimentální část.

Teoretická část je na dobré úrovni, obsahuje stručný přehled poznání vlastností SCC, krátký popis vstupních materiálů, přehled a vysvětlení použitých zkušebních metod. V této části je rovněž uvedena krátká informace o současném stavu poznání a aplikací SCC u nás i v zahraničí. Postrádám zmínku o hledání informací v odborných člancích, kde se téměř určitě najde nějaký podobný experiment zabývající se stejným tématem. Myslím si, že zkušenosti jiných jsou při navrhování experimentální činnosti podstatné a přínosné. Využití ostatní citované literatury je však na velmi dobré úrovni.

Experimentální část práce je rozsáhlá. Zabývá se návrhem tří různých receptur samozhutnitelného betonu, provedení celé řady zkoušek vlastností čerstvého betonu a základních zkoušek pro ztvrdlý beton. Student si zvolil návrh receptury betonu s použitím tří frakcí kameniva – 0/4, 4/8 a 8/16. Všechny frakce kameniva byly pro experiment připraveny podle původu kameniva těžené i drcené. Receptury se od sebe lišily zvoleným původem kameniva: první receptura obsahovala pouze těžené kamenivo (ozn. TTT), druhá obsahovala frakce 0/4 a 8/16 těžené a frakci 4/8 drcenou (ozn. TDT), třetí receptura byla navržena pouze z drceného kameniva (ozn. DDD). Bohužel se třetí receptura nepovedla navrhnout dostatečně dobře, aby dosahovala parametrů SCC. Velmi oceňuji provedení rozsáhlých zkoušek čerstvého betonu, které prokázaly odlišnosti navržených receptur.

Zadání bakalářské práce je velmi dobře splněno, drobný nedostatek vidím pouze v rešeršní části práce. Formální úroveň závěrečné práce je na dobré úrovni. V práci se občas vyskytují jazykové a stylistické chyby. Věty závěrečných prací by neměly začínat zájmeny. Členění práce do jednotlivých kapitol je logické a přehledné. Na konci experimentální části jsem však očekával rozdělení diskuze nad dosaženými výsledky a závěru bakalářské práce. Celá práce je vhodně doplněna obrázky, grafy a tabulkami. Veškerá data a výsledky

jsou přehledně uvedeny v tabulkách a grafech. K výsledkům v tabulce mám jen jednu drobnou poznámku: vždy mohl být uvedený průměr naměřených výsledků pro jednotlivé receptury – ne vždy tomu tak je. V závěru experimentální části postrádám souhrnnou tabulku dosažených výsledků v návaznosti na složení jednotlivých receptur pro jednodušší vyhodnocení celého experimentu.

Samotný návrh betonu obsahuje několik chyb. Student z časových důvodů nevysušil použité kamenivo. Stanovil vlhkost kameniva na všech frakcích, množství záměsové vody následně ponížil o vlhkost v kamenivu. V reálném provozu na betonárně se to tak sice dělá, ale pro účely laboratorní práce vidím tento postup jako nevhodný. Při provádění průkazných zkoušek beton je dle normy požadováno vysušené veškeré kamenivo. Dnes běžně používané superplastifikátory na bázi polykarboxylátů jsou velmi účinné a citlivé na obsah vody v betonu. V této souvislosti se při laboratorním míchání hůře trefuje správná konzistence čerstvého betonu. Vzhledem k uložení kameniva v laboratorním prostředí v nádobách, určitě nebude stejná vlhkost kameniva v celém objemu nádob, což může vést ke zkreslování množství záměsové vody v betonu a následném výpočtu vodního součinitele.

Několikrát je v textu uvedeno, že pro každý beton, zvláště pak samozhutnitelný, je důležité použití správné křivky zrnitosti kameniva. Na str. 58 je uveden graf č. 4 s optimální a zvolenou křivkou zrnitosti. Není mi zcela jasné, jak student došel ke zvolené křivce kameniva. Mám podezření, že takovou křivku chtěl, ale nejsem si jist, že ji opravdu dosáhl. V práci nejsou uvedeny zrnitostní křivky pro frakce 4/8 a 8/16, které jsou bez pochyby nutné k sestavení celkové křivky zrnitosti kameniva. Student provedl prosévací zkoušku pro obě frakce 0/4, bohužel tyto zkoušky nebyly provedeny podle zkušební normy pro síťový rozbor ČSN EN 933-1 a normy kamenivo do betonu ČSN EN 12620 + A1. Student použil neobvyklé rozměry zkušebních sít, v celé sestavě chybí síta 0,125, dále dvě nadsítňá síta frakce. Norma též požaduje vyprání a znovu vysušení materiálu před provedením prosévací zkoušky pro správné zjištění množství odplavitelných částic v kamenivu, kterých může být ve frakci 0/4 více než ve frakcích hrubého kameniva. Interpolaci pro množství jemných částic do rozměru 0,125 mm považuji za zcela nevhodnou. Sestavení sít pro prosévací zkoušku pro frakci 0/4 by mělo vypadat následovně: dno – 0,063 – 0,125 – 0,250 – 0,500 – 1,0 – 2,0 – 4,0 – 5,6 – 8,0.

Každá frakce kameniva má nadsítňné a podsítňné, u každé frakce tomu může být jinak. Výrobce kameniva deklaruje maximální hodnoty, které by kamenivo nemělo překročit, skutečnost však může být jiná. Dle normy pro kamenivo do betonu ČSN EN 12620 + A1 je dovolené nadsítňné i podsítňné do maximální výše 20 %. Z tohoto důvodu by měly být známy zrnitostní rozborů všech frakcí. Vzhledem k rozsahu a účelu práce nepovažuji za nutné provádět zkoušky pro hrubé kamenivo, stačilo by vyžádat si průměrné výsledky od výrobce. Vzhledem k faktu, že student navrhl tři různé receptury z různých kameniv, měla by být provedena kontrola konkrétních zrnitostních křivek pro všechny tři receptury. V práci není uvedena ani jedna.

Ve výpočtu pro návrh receptury (kap. 7.4) jsou některé faktické chyby. Výpočet nelze zkontrolovat, neboť není uvedeno, pro kterou recepturu - kombinaci kameniv - je výpočet proveden. Předpokládám, že byl proveden pro všechny tři receptury a v textu je uveden jen jeden – ostatní mohly, ale nemusely být přílohou práce. Ve výpočtu je uvedena objemová hmotnost frakce 0/4 2550 kg/m<sup>3</sup>. Tato hodnota není uvedena ani na jednom prohlášení o vlastnostech výrobce kameniva, která jsou přiložena k práci. Nevím tedy, kde se tato hodnota vzala. Dále je ve výpočtu uvedena objemová hmotnost popílku 1950 kg/m<sup>3</sup>. Výrobce deklaruje v prohlášení o vlastnostech objemovou hmotnost mezi 1900 a 2300 kg/m<sup>3</sup>. Nabyl jsem dojmu, že hodnota byla odhadnuta bez nějakého vysvětlení. Pro výpočet množství cementu byla použita upravená objemová rovnice. V členu pro popílek je použita konstanta 530, která není nikde vysvětlena a není tedy známo, kde se vzala a co znamená.

Po provedení výpočtu množství všech složek by měla být provedena kontrola objemové rovnice, aby se ověřilo správné množství kameniva pro celkový požadovaný objem  $1,0 \text{ m}^3$ . Kdyby byla tato kontrola provedena, pravděpodobně by nemuselo dojít ke zvyšování velikosti záměsi, které bylo přičteno ztrátám při provádění zkoušek čerstvého betonu. Vezmeme-li v úvahu rozdílné objemové hmotnosti mezi jednotlivými kamenivými (lehce přes  $100 \text{ kg/m}^3$ ), je jasné, že při použití rozdílného kameniva by mělo dojít ke změně dávkování. Proč tento postup byl dodržen při změně frakcí 0/4 a 4/8, u frakce 8/16 nikoliv? Dalším důvodem drobného snížení skutečné velikosti záměsi byl mylný předpoklad obsahu vzduchu v čerstvém betonu. Předpoklad byl 1,5 %, kdežto skutečnost byla průměrně 1,0 %. Osobně při navrhování neprovzdušněných receptur používám právě 1,0 %. Tyto dva důvody jsou pravděpodobně původem rozdílných objemových hmotností čerstvého betonu – tedy teoretické a skutečně změřené. Zkoumáním vlastností čerstvého betonu bylo naměřeno o  $160$  až  $200 \text{ kg/m}^3$  více než bylo vypočítáno, což je opravdu hodně. Ve skutečnosti jsou tedy vyrobená zkušební tělesa s lehce odlišným složením, než je uvedeno.

Na straně 45 je uvedeno, že základem úspěšného návrhu SCC je mimo jiné nižší obsah hrubé frakce kameniva. Myslí si studen správně, že 34 % objemu kameniva pro frakci 8/16 je nižší hodnotou, když zhruba 50 % objemu kameniva zabírá frakce 0/4? Sám určitě přišel na to, že při používání drceného a těžného kameniva je nutné upravit křivky zrnitosti. Naše společnost vyrábí betony pouze z drceného hrubého kameniva. Běžně vyrábíme i betony samozhuznitelné s frakcí 8/16, používáme ale jen polovinu uvedeného množství. Pro další receptury DDD zkoumání doporučuji snížit dávku frakce 8/16.

Na straně 48 je uvedeno, že robustní SCC by měl bez problémů snést změnu obsahu vody o  $5$  až  $8 \text{ l/m}^3$ . Nejsm si zcela jist, že navržené receptury TTT a TDT tuto podmínku splňují. Víím, že na poznání tohoto problému je třeba větších zkušeností s konkrétní recepturou, přesto doporučuji použití stabilizační přísady, které snižují náchylnost receptur na různou dávku vody, což je potřebné pro běžnou výrobu.

Pár poznámek k informacím, se kterými úplně nesouhlasím:

- Str. 16: „*SCC má dobrou kvalitu povrchu. Lze ho použít jako pohledový beton*“. Tuším, co tím chtěl autor říci, ale tvrzení není úplně správné. Beton jako materiál sám o sobě kvalitu povrchu nemá, tu mu dává až zpracování člověkem - použité bednění, separační prostředek, uložení, zvibrování a ošetřování betonu v konstrukci. Pro konstrukci z pohledového betonu není vždy nutné používat SCC, v běžných případech pozemních staveb lze pohledovost konstrukce dosáhnout i s betonem třídy C20/25 – závisí však na složitosti konstrukce a šikovnosti provedení.
- Str. 20: Větu: „*Křivku zrnitosti je nutné upravovat v závislosti na vlastnostech použitého kameniva*“ doporučuji doplnit o: „*a požadovaných vlastnostech betonu ze strany objednatele.*“
- Str. 22: „*Podle rychlosti náběhu pevnosti rozlišujeme dvě skupiny cementů: N – normální a R – rychlý.*“ Tvrzení není pravdivé, podle normy na cement ČSN EN 197-1 rozlišujeme tři druhy cementů. Kromě dvou výše zmíněných se jedná o označení L – pomalý. Příkladem takového druhu je síranovzdorný cement CEM III/B 32,5L LH/SR Mokrý.
- Str. 22: „*Cement CEM I obsahuje pouze portlandský slínek.*“ Tvrzení není zcela pravdivé, podle normy ČSN EN 197-1 může a zpravidla obsahuje maximálně 5 % doplňujících složek, množství portlandského slínku v CEM I se tedy pohybuje mezi 95 % a 100 %.
- Str. 23: Tabulka č. 1 není aktuální. Zmíněná tabulka platila v době platnosti výrobní betonářské normy ČSN EN 206-1, která již není platná. Došlo ke snížení maximálnímu možnému započitatelnému množství popílku pro CEM II a CEM III/A z 33 % na 25 %. K-hodnota 0,2 byla zachována. Viz ČSN EN 206 + A1 : 2017 a ČSN P 73 2404 : 2016, článek 5.2.5.2.2.

- Str. 40: Zkoušky ztvrdlého betonu: „I u těchto zkoušek je nutné dodržet požadavky dané TKP 18.“ Všechny vlastnosti betonu podléhají dohodě mezi výrobcem a objednatelem. Mohou se třeba dohodnout na specifických požadavcích, které nejsou zakotveny v žádné normě. Základní platnou výrobní normou po požadavky na beton je ČSN EN 206 + A1 : 2017 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, které je v ČR upravena „národním dodatkem“ neboli doplňkovou normou ČSN P 73 2404 : 2016. Objednatel jako je ŘSD si některé podmínky zpříšňuje, a proto vydal TKP 18, které se přímo odkazují na výše uvedené normy. V případě dodávání betonu pro stavby ŘSD musí beton splnit všechny tři uvedené předpisy, pokud však budeme dodávat beton na běžné pozemní stavby, jsou požadavky TKP 18 bezpředmětné.
- Str. 42: „Pevnost v tlaku je nejdůležitějším kritériem pro posouzení vlastností ztvrdlého betonu.“ S tvrzením nesouhlasím. Pevnost v tlaku je dle našich zvyklostí jednou z hlavních charakteristik ztvrdlého betonu, podle které se ve stavebnictví domlouváme. Existují však situace, kde není pevnost betonu v tlaku v posuzování kvality na prvním místě. Například jsou to CB kryty vozovek, kde je přednější odolnost povrchu proti CHRL před pevností v tlaku. Pro některé konstrukce náchylné na deformace může být požadována vysoká hodnota modulu pružnosti, což ve většině případů zvyšuje pevnost v tlaku nad požadovanou pevnostní třídu.
- Str. 50: „CEM I 42,5R Prachovice začíná tuhnout po 60 minutách.“ Údaj není pravdivý, podle technického listu výrobce nastává tuhnutí cementové pasty po 170 až 180 minutách od prvního styku cementu s vodou.
- Str. 83: Poznámka k cenové rozvaze (nemající vliv na hodnocení). Chápu, že student nezná reálné výrobní náklady, ke kterým je zapotřebí znalosti technologa betonu, přesto srovnává neporovnatelné. Uvedený rozsah 900 – 1200 Kč/m<sup>3</sup> platí pro běžné betony a vždy záleží na mnoha faktorech. Z uvedených jednotkových pravděpodobně maloobchodních cen dále není patrné, jakým způsobem byla zohledněna doprava materiálu na místo výroby. V reálném provozu by se pro návrh s co největší měrou použily běžně dostupné materiály na betonárně, což by uvedenou nákladovou cenu pravděpodobně snížilo. Dále je třeba srovnávat odpovídající pevností třídy betonu, tedy C35/45 nebo C40/50. Cena těchto betonů bude pravděpodobně dražší než 1200 Kč/m<sup>3</sup>. Z vlastních zkušeností vím, že nárůst nákladových cen mezi tradičně vibrovaným a samozhutnitelným betonem v uvedených pevnostních třídách je do cca 150 Kč bez DPH.
- Str. 86, poslední odstavec. Ve skutečnosti je postup návrhu betonu přesně opačný. Od objednatele přicházejí požadavky na beton definované především podle specifikace ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 2404 (doplňková norma je samostatně neplatná). Úkolem technologa betonu je navrhnout takové složení betonu, které těmto požadavkům vyhoví. Pokud tyto požadavky nejsou splněny, je třeba recepturu betonu upravit.

### **Celkové hodnocení úrovně vypracování bakalářské práce**

S přihlédnutím k faktu, že se pravděpodobně jedná o první kontakt studenta s výrobou betonu, laboratorním prostředím a aplikací dostupných informací z literatury do praxe, lze tuto práci hodnotit kladně. Zadané téma je velice rozsáhlé. Student si z časových důvodů vybral jen omezený rozsah pro zvládnutí všech podstatných částí návrhu receptury betonu. Lze považovat za velký úspěch, že se povedlo pouze z teoretických předpokladů a nedokonalé znalosti všech vstupních materiálů připravit dvě obstojné receptury pro samozhutnitelný beton. Fakt, že ve skutečnosti jsou teoretické a skutečné receptury lehce odlišné lze omluvit. Myslím si, že před zahájením výroby měly být receptury konzultovány a zkontrolovány zkušeným technologem, případně vedoucím práce.



Před případným nasazením receptur (TTT, TDT) do reálného provozu bych však provedl některé drobné změny (viz komentář k návrhu receptury). Student sám navrhuje úpravy receptury DDD, které by měly vést k úspěšnému návrhu SCC. S navrženými úpravami lze souhlasit, správný poměr všech složek by jistě byl navržen během několika málo pokusných záměsů. Škoda jen, že tyto nápady nebyly vyzkoušeny.

Předložená bakalářská práce dokazuje, že je student schopen řešit samostatně odborný problém, a proto ji **doporučuji k obhajobě** a navrhuji hodnotit níže uvedeným stupněm klasifikace.

A (výborně)	B (velmi dobře)	C (dobře)	D (uspokojivě)	E (dostatečně)	F (nedostatečně)
100-90 bodů	89-80 bodů	79-70 bodů	69-60 bodů	59-50 bodů	< 50 bodů
<input type="checkbox"/> *	<input checked="" type="checkbox"/> *	<input type="checkbox"/> *	<input type="checkbox"/> *	<input type="checkbox"/> *	<input type="checkbox"/> *

\* – zaškrtněte vhodný klasifikační stupeň (stačí 2 x poklepat a vybrat).

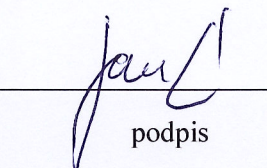
### Návrh otázek a připomínek k obhajobě

- Z textu není zřejmé, podle jakých pravidel (norem) byl beton navrhován. Uveďte prosím, podle které normy jste složení betonu navrhoval. V případě, že odpověď zní podle žádné, svoji odpověď zdůvodněte. Uveďte, jaké návrhové parametry měl beton splňovat a zda-li je splnil. Musí vždy návrh betonu splnit podmínky uvedené v ČSN EN 206 (případně v kombinaci s ČSN P 73 2404), TKP 18, Evropskou směrnicí pro SCC, případně nějakou jinou?
- Proč jste při síťovém rozboru kameniva nepoužil normový postup podle ČSN EN 933-1 a ČSN EN 12620+A1? Myslím tím především skladbu jednotlivých sít. Jak jste sestavil celkovou křivku zrnitosti betonu, když ve Vaší bakalářské práci nejsou uvedeny křivky zrnitosti kameniva frakcí 4/8 a 8/16?
- Modul pružnosti je jednou ze základních vlastností betonu, která se dnes využívá při každém statickém výpočtu. Jaký je vliv druhu kameniva na hodnoty modulu pružnosti? Lze obecně říci, zda - li použití drceného nebo těžného kameniva vede k vyšším hodnotám modulu pružnosti než při použití druhého původu kameniva?
- Praktický příklad: Je třeba zesílit mostní opěru. Její výška je 6 metrů. Ze statického výpočtu vyplynulo, že je třeba konstrukci zesílit o 150 mm. Přibetonávka je mechanicky kotvená do stávající konstrukce a je vyztužena. Jaký typ betonu byste použil – samozhutnitelný nebo tradičně vibrovaný? Lze prakticky provést obě varianty nebo pouze jednu? Svoje odpovědi zdůvodněte.

### Údaje o oponentovi

Jméno: ing. Mirek Jarolím  
 Organizace: KÁMEN Zbraslav, a.s. Žitavského 1178, 156 00 Praha – Zbraslav  
 Pracovní pozice: Laborant a technolog betonu  
 E-mail, telefon: mirek.jarolim@kamenzbraslav.cz, +420 720 042 218

V Praze dne 14. 6. 2017

  
 podpis