

Návrh kontaktní podlahy vyrobené z ultralehkého betonu na bázi pěnového skla

20.7.2020 | doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D., VUT FAST Brno, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Ing. Jan Bubeník, Ing. Martin Sedlmajer, Ph.D., VUT Brno, Fakulta stavební, Centrum AdMaS, Ing. Jan Cimburek, Refaglass Příbram | **RECENZOVANÝ**

Článek se zabývá návrhem podlahových konstrukcí s použitím ultralehkého betonu na bázi pěnového skla jako tepelně izolační a roznášecí vrstvy. Zabývá se návrhem receptur speciálních ultra lehkých mezerovitých betonů a stanovením mechanických a tepelněizolačních vlastností ultralehkého betonu. Nechybí ani vlastnosti cementotřískové desky jako podkladu pro uložení nášlapné vrstvy.



Úvod

Podlaha ve smyslu nenosné konstrukce stavebních objektů je definována dle ČSN 74 4505 jako sestava podlahových vrstev (souvrství) uložených na nosném podkladu a zabudovaných podlahových prvků, dilatačních a pracovních spár, které zajišťují požadované funkce podlahy. V oblasti stavební fyziky se u podlahových konstrukcí řeší zejména tepelné požadavky zajišťující tepelnou pohodu uživatelů vnitřního prostředí a dále požadavky v oblasti akusticko-izolační. Podlahové konstrukce se posuzují v daných oblastech z hlediska součinitele prostupu tepla a povrchových teplot a v oblasti kaustiky především z pohledu vzduchové a kročejové neprůzvučnosti. Při použití ultralehkého betonu do souvrství podlahové konstrukce dosahuje podlaha unikátních parametrů. Vývoj ultralehké betonové mazaniny, která dosahuje vylehčení díky kamenivu na bázi pěnového skla, naznačuje velmi dobrý poměr mechanických a tepelně izolačních vlastností a spolu s velmi dobrými tepelně izolačními vlastnostmi a provedení betonové mazaniny beze spár, přičemž dochází k eliminaci vzniku tepelných mostů skrze podlahovou

konstrukci. U podlah vyskytujících se nad nevytápěným prostorem (sklep, chodba) nebo u podlah v 1. NP u nepodsklepených objektů je potřeba zajistit dostatečný tepelný odpor podlahové konstrukce pro zamezení vzniku tepelného mostu či úniku tepla skrz tuto konstrukci.

U tradičních řešení podlahových konstrukcí se využívají nejčastěji tepelně izolační materiály vložené do konstrukce (minerální vlna, EPS a další), které zajišťují její tepelně izolační vlastnosti, a dále pro dosažení lepších vlastností podlahy z pohledu její tepelné jímavosti a poklesu dotykové teploty je výhodné využití deskových materiálů na bázi dřeva do souvrství podlahy při povrchu konstrukce pod nášlapnou vrstvu.

Při použití určité vrstvy ultralehkého mezerovitého betonu z kameniva na bázi pěnového skla je možné dosáhnout dostatečného tepelného odporu bez použití dodatečného izolantu anebo lze dosáhnout výrazného snížení tloušťky tohoto izolantu. Lehký mezerovitý beton z pěnového skla může být také využit pro konstrukce, u kterých je nutné dosáhnout snížení tepelné jímavosti (např. podkladní vrstva pro aplikaci dlažby apod.).

Návrh podlahové konstrukce a receptur ultra lehkých mezerovitých betonů

V rámci výzkumných prací byl vytvořen návrh jednoduché podlahové konstrukce pro případ podlahy přiléhající k terénu, který je tvořen z podkladního betonu, vrstvy ultralehkého mezerovitého betonu, roznášecí vrstvy (2× vrstva 15 mm cementotřískových desek) a finální nášlapné vrstvy. Schéma konstrukce je uvedeno na obrázku č. 1.

Pro výrobu ultralehkého betonu byly navrženy 3 zkušební receptury, na kterých bylo provedeno stanovení základních fyzikálních, mechanických a tepelně izolačních vlastností. Z hlediska cementotřískových desek byl vybrán typicky používaný zástupce (standardní cementotřísková o tloušťce 15 mm a objemové hmotnosti 1320 kg/m³) těchto deskových materiálů a byla na vzorcích z toho materiálu vyrobených provedeno stanovení základních fyzikálních a tepelně vlhkostních vlastností. Snahou bylo simulovat reálné možné vlhkostní zatížení materiálu po zabudování do konstrukce. Snahou bylo také u obou typů materiálů stanovit reálné tepelně izolační vlastnosti se zohledněním reálné sorpční vlhkosti a jejího vlivu na tepelně izolační vlastnosti. Receptury navržených betonů jsou uvedeny v tabulce č. 1.



Obrázek 1. Navrhovaná skladba podlahové konstrukce

Tab. 1. Přehled vyrobených receptur

Vstupní složka	Receptura		
	ULC 1	ULC 2	ULC 3
	1 m ³		

Vstupní složka			Receptura		
			ULC 1	ULC 2	ULC 3
			1 m ³		
Cement CEM I 42,5 R Mokrý		[kg]	170	200	200
Kamenivo Refaglass 0–4 mm	2–4 mm	[l]	1000	1000	700
	1–2 mm		–	–	300
Voda		[l]	130	108	108
Plastifikační přísada na bázi polykarboxilátů		[g]	850	–	1000
Vodní součinitel		[–]	0,64	0,65	0,54

U výroby vzorků z lehkého mezerovitého betonu se vycházelo z postupu, který by bylo možné následně aplikovat na stavbě. Nejprve bylo objemově nachystáno lehké kamenivo na bázi pěnového skla a následně hmotnostně ostatní vstupní složky. Míchání probíhalo pomocí staveništní míchací vrtule do vzniku zavlhle směsi (všechna zrna kameniva obalena cementovým tmelem). Čerstvý beton byl ukládán pomocí vibračního stolu do zkušebních forem a zároveň byla čerstvá směs do forem vtačována pro jejich dokonalé vyplnění a zhutnění vzorku. Ze zkušebních receptur byly vyrobeny dva typy zkušebních vzorků, na kterých byly stanoveny požadované vlastnosti:

1. Trámečky 40 × 40 × 160 mm (stanovení mechanických a fyzikálních vlastností)
2. Čtvercové vzorky 200 × 200 × 35 mm (stanovení mechanických a tepelně izolačních vlastností)



Obrázek 2. Vyroběný vzorek ultralehkého betonu ULC 3



Obrázek 3. Vyroběný vzorek ultralehkého betonu ULC 3 (detail obalení zrn kameniva cementem)

Metodika a zkušební postupy

Na připravených vzorcích byly po 14 a 28 dnech stanoveny klíčové vlastnosti, které jsou důležité z hlediska využití vyvijených materiálů do podlahových kontaktních konstrukcí. Všechny provedené zkoušky probíhaly dle uvedených

platných technických norem (viz níže):

- Objemová hmotnost v čerstvém/ztvrdlém stavu byla stanovena na vzorcích lehkých betonů v souladu s ČSN EN 12350-6 a ČSN EN 12390-7,
- Pevnost ztvrdlých lehkých betonů v tahu ohybem byla stanovena dle ČSN EN 12390-5,
- Pevnost ztvrdlých lehkých betonů v tlaku byla stanovena dle ČSN EN 12390-3,
- Stanovení součinitele tepelné vodivosti lehkých betonů i deskových materiálů bylo provedeno v ustáleném stavu metodou desky dle ČSN EN 12667 a ISO 8301,
- Tloušťkové bobtnání deskových materiálů bylo stanoveno dle ČSN EN 317.

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno v čerstvém stavu a dále v ztvrdlém stavu po 14 a 28 dnech.

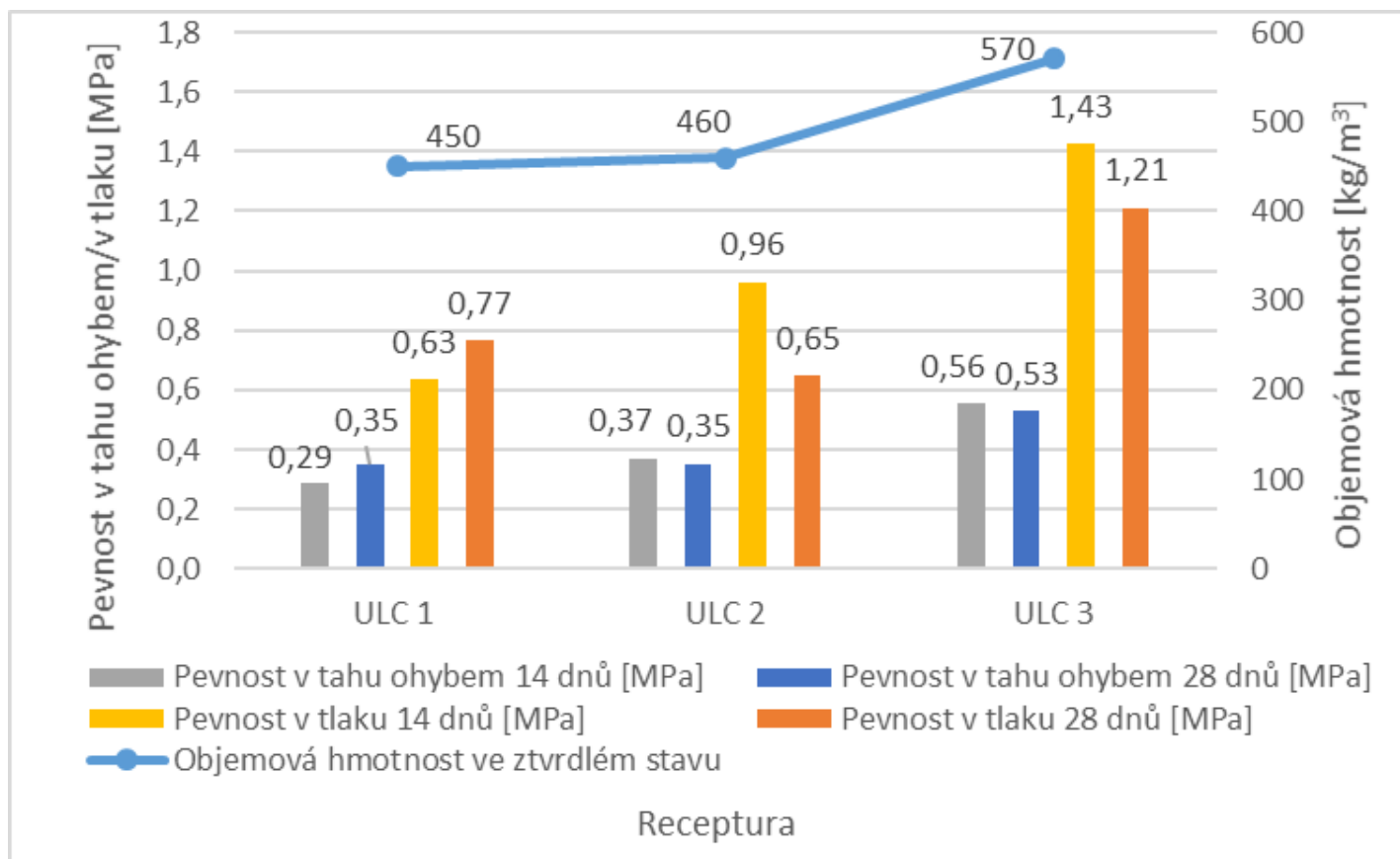
Stanovení mechanických vlastností (pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu) bylo provedeno ve ztvrdlém stavu po 14 a 28 dnech od namíchání. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 2 a na obrázku č. 2.

Tab. 2. Přehled mechanických vlastností ultralehkého mezerovitého betonu

Receptura	Objemová hmotnost v čerstvém stavu [kg/m ³]	Objemová hmotnost ve ztvrdlém stavu [kg/m ³]	Pevnost v tahu ohybem 14 dnů [MPa]	Pevnost v tlaku 14 dnů [MPa]	Pevnost v tahu ohybem 28 dnů [MPa]	Pevnost v tlaku 28 dnů [MPa]
ULC 1	550	450	0,29	0,63	0,35	0,77
ULC 2	580	460	0,37	0,96	0,35	0,65
ULC 3	680	570	0,56	1,43	0,53	1,21

Stanovení tepelně izolačních vlastností bylo provedeno v ustáleném stavu metodou desky pomocí přístroje Lasercomp Fox 200 Vacuum při střední teplotě +10 °C a teplotním spádu 10 °C.

Měření bylo provedeno na zkušebních vzorcích ultralehkých betonů všech tří receptur a na vzorku cementotřískové desky kondicionované v laboratorním prostředí (teplota 23 °C a relativní vlhkost 50 %). Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 3. Z výsledků je patrné, že naměřené hodnoty tepelných vodivostí u ultralehkých betonů jsou ve všech případech velmi nízké a pohybují se v rozmezí 0,099–0,114 W/(m.K). Tyto hodnoty jsou nižší než hodnoty běžných lehkých betonů srovnatelné objemové hmotnosti (např. dle ČSN 73 0540-3). V případě cementotřískové desky byla zjištěna hodnota 0,2201 W/(m.K), což je při objemové hmotnosti 1260 kg/m³ výrazně nižší hodnota, než je hodnota uváděná v ČSN 73 0540-3).

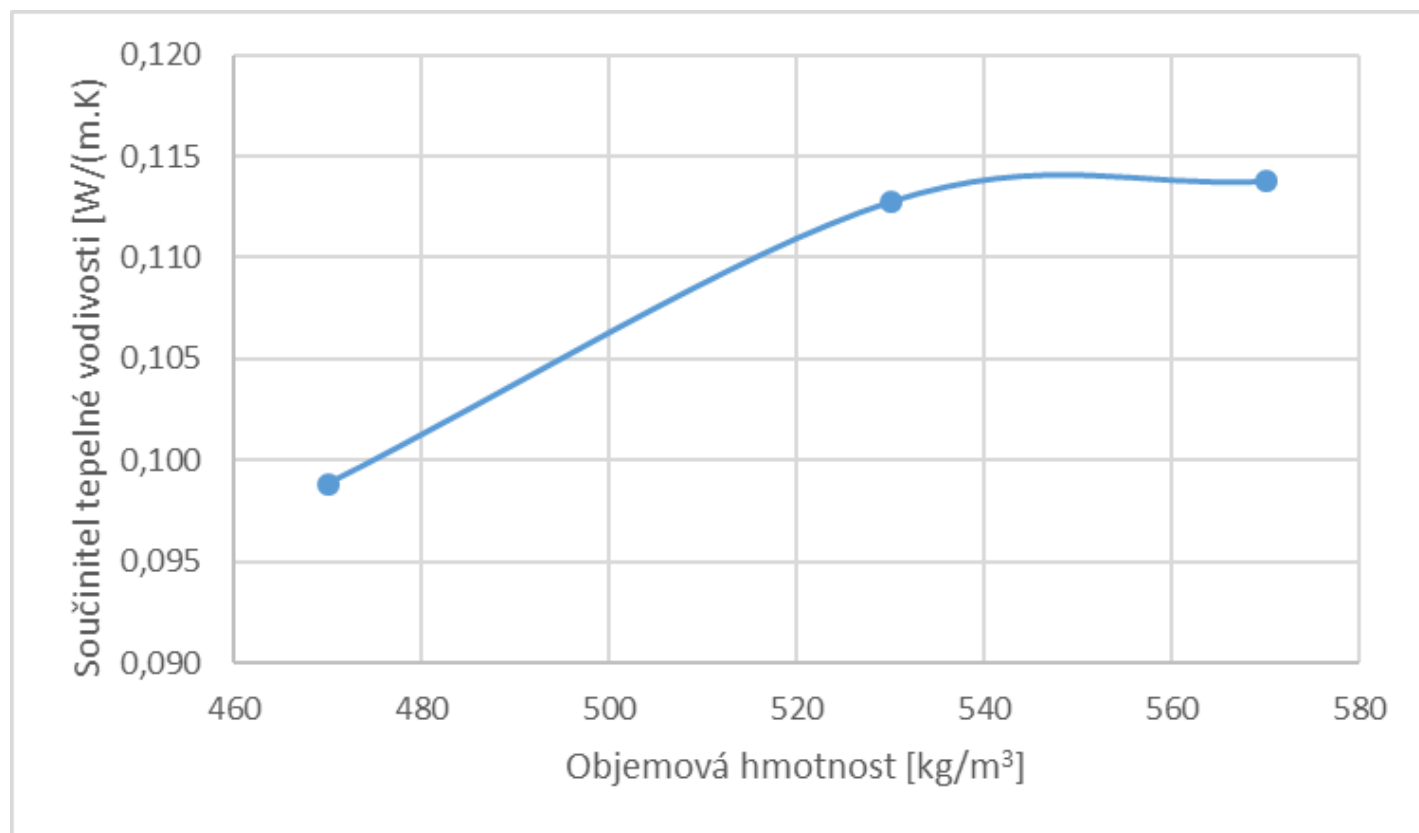


Obrázek 4. Přehled fyzikálně mechanických vlastností ultralehkého mezerovitého betonu

Tab. 3. Přehled součinitele tepelné vodivosti u vzorků kondiciovaných v laboratorním prostředí (teplota 23 °C a relativní vlhkost 50 %)

Receptura	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m.K)]
ULC 1	470	0,0988
ULC 2	530	0,1128
ULC 3	570	0,1138
Cementotřísková deska	1260	0,2201

Dále bylo provedeno studium tepelně vlhkového chování obou typů materiálů, aby bylo možné stanovit reálné chování materiálů po zabudování do konstrukce. Bylo provedeno kondicionování vzorků v prostředích s teplotou +23 °C a různou relativní vlhkostí (0–93 % u cementotřískové desky, 0–80 % u ultra lehkého betonu). Pro toto studium byla z lehkých betonů zvolena pouze receptura č. 3, která vykazovala nejlepší mechanické vlastnosti a také nejlepší poměr tepelně izolačních vlastností a objemové hmotnosti, jak je i patrné z obrázku č. 5.



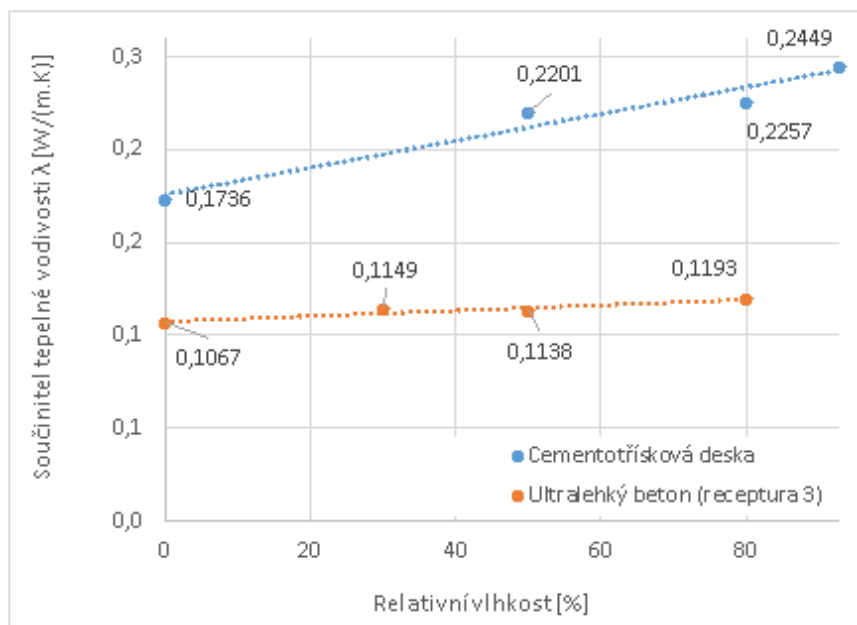
Obrázek 5. Závislost součinitele tepelné vodivosti na objemové hmotnosti u vzorků lehkého betonu (laboratorní prostředí)

Tab. 4. Přehled vlastností použité cementotřískové desky

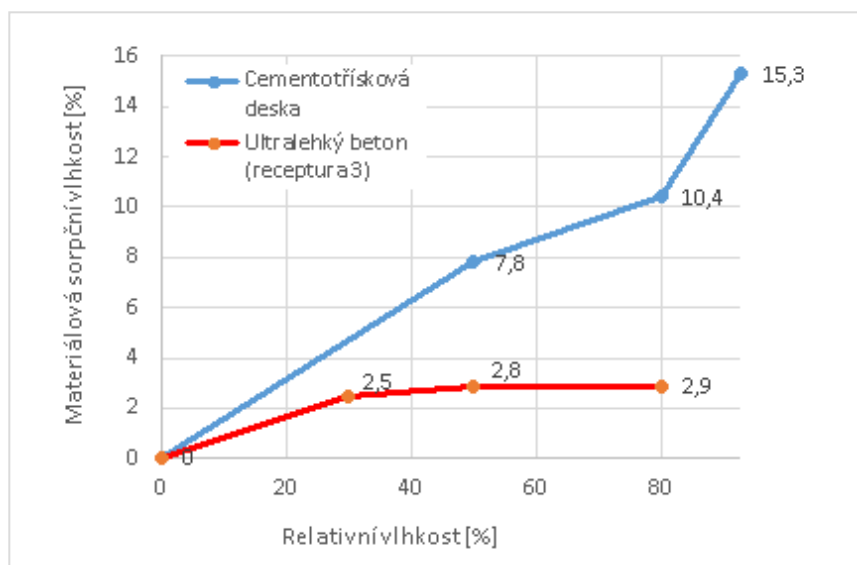
Vzorek	Vlastnost	Vlhkost prostředí [%]			
		0	50	80	93
Cementotřísková deska	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m.K)]	0,1736	0,2201	0,2257	0,2449
	Objemová hmotnost [kg/m³]	1260	1320	1350	1410
	Sorpční vlhkost [% hm]	0	7,8	10,4	15,3

Tab. 5. Přehled vlastností ultralehkého betonu receptura 3

Vzorek	Vlastnost	Vlhkost prostředí [%]			
		0	30	50	80
Ultralehký beton (receptura 3)	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m.K)]	0,1067	0,1149	0,1138	0,1193
	Objemová hmotnost [kg/m³]	570	580	590	590
	Sorpční vlhkost [% hm]	0	2,5	2,8	2,9



Obrázek 6. Závislost součinitele tepelné vodivosti na relativní vlhkosti prostředí při teplotě +23 °C



Obrázek 7. Závislost materiálové sorpční vlhkosti na relativní vlhkosti prostředí při teplotě +23 °C

Využití ultralehkého mezerovitého betonu v podlahových konstrukcích

Na základě naměřených tepelných vodivostí materiálů byl proveden návrh modelové podlahové konstrukce a byla stanovena potřebná tloušťka lehkého betonu, aby bylo dosaženo požadované hodnoty součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2 $U_{N,20} = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Při návrhu nebyla započítána finální nášlapní vrstva, aby nebyl výpočet ovlivněn případným vyšším tepelným odporem přídavných vrstev (např. v případě plovoucí podlahy). Pro dosažení požadovaných vlastností by byla nutná vrstva cca 240 mm lehkého betonu (s návrhovou tepelnou vodivostí $0,1193 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), což je hodnota mírně vyšší než je běžná skladba obsahující tepelný izolant a např. železobetonovou desku. Výhodou je však rychlejší a jednodušší provádění podlahy a i skutečnost, že je použito

lehké kamenivo vyráběné z recyklovaného skla. Při zohlednění objemové hmotnosti použitého betonu lze tvrdit, že 240 mm lehkého betonu odpovídá hmotnostně cca 59 mm železobetonu při objemové hmotnosti 2400 kg/m³.

Ve většině skladeb lze kombinovat lehký mezerovitý beton a tepelný izolant, kterého je ovšem možné využít menší množství, čímž se dosáhne výrazných úspor (i finančních) a zlepší se také tepelně technické parametry výsledné konstrukce a její chování v obvodové části přiléhající se svislým konstrukcím, a také bude dosaženo příznivější hodnoty tepelné jímavosti v případě, kde bude jako nášlapná vrstva použita povlaková krytina nebo dlažba (zde především v případech, že by byla aplikována přímo na vyrovnaný lehký beton.

Konečně ultra lehký beton může najít využití i u rekonstrukcí, kde jeho aplikací lze snížit zatížení konstrukce, lze ho využít i na vyplnění dutin, nerovností, zateplení kleneb sklepů a podobně.

Závěr

Lehký beton je možné kombinovat v podlahových konstrukcích velmi výhodně s dřevocementovými, dřevovláknitými a dalšími deskovými materiály, které budou působit na povrchu jako roznášecí vrstva a chránit ultralehký beton před účinky bodového zatížení. Výhodou tohoto systému je relativně jednoduchá a rychlá výstavba a menší nároky na vlastnosti podkladního povrchu, což může být výhodné především u rekonstrukcí, kdy je možné podkladní konstrukci vyrovnat přímo mezerovitým betonem.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci řešení projektu FV20086 „Vývoj lehkých novodobých stavebních materiálů s využitím lehkého kameniva na bázi odpadní skleněné moučky“ podporovaného Ministerstvem průmyslu a obchodu a projektu specifického výzkumu VUT v Brně FAST-J-19-6034 – Trvanlivost a chování deskových materiálů na bázi dřeva při různých expozicích.

Reference

- [1] ČSN 74 4505 Podlahy – společná ustanovení, Praha: Český normalizační institut. 2012.
- [2] M. Collepari, Moderní beton. 1. vyd. Praha: ČKAIT, 2009, 342 s. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [3] ČSN EN 206+A1 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Český normalizační institut. 2018.
- [4] J. Kadlec, M. Kratochvíl, I. Terzijski, L. Zvolánek. Vývoj a základní vlastnosti ultralehkého betonu, TZB-info [online], Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10785-vyvoj-a-zakladni-vlastnosti-ultralehkeho-betonu>, 18. 9. 2019.
- [5] S-Y. Chung, M. Abd Elrahman, J-S. Kim, T-S. Han, D. Stephan, P. Sikora, Comparison of lightweight aggregate and foamed concrete with the same density level using image-based characterizations, Construction and Building Materials. 2019.

- [6] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Praha: Český normalizační institut. 2020.
- [7] ČSN EN 12390-5, Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. Praha: Český normalizační institut. 2019.
- [8] ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. Praha: Český normalizační institut. 2020.
- [9] ČSN EN 12390-7, Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Praha: Český normalizační institut. 2019.
- [10] Česká technická norma ČSN EN 12667 Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu, Český normalizační institut, 2001.
- [11] International Standard ISO 8301 Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus, International Organization for Standardization, 1991.
- [12] ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011 (Z1/2012).
- [13] ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Návrhové hodnoty veličin. Praha: Český normalizační institut, 2005, 89 s.
- [14] ČSN EN 633. Cementotřískové desky. Definice a klasifikace. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [15] ČSN EN 317 Třískové a vláknité desky. Stanovení bobtnání po uložení ve vodě. Praha: Český normalizační institut, 1996.

English Synopsis

Datum: 20.7.2020

Autor: doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D., VUT FAST Brno, Ústav technologie stavebních hmot a dílců [všechny články autora](#)

Ing. Jan Bubeník, VUT Brno, Fakulta stavební, Centrum AdMaS [všechny články autora](#)

Ing. Martin Sedlmajer, Ph.D., VUT Brno, Fakulta stavební, Centrum AdMaS [všechny články autora](#)

Ing. Jan Cimburek, Refaglass Příbram [všechny články autora](#)

Recenzent: Ing. Pavel Reiterman, Ph.D., ČVUT Praha, pracoviště UCEEB