

PŘÍPRAVA A ZKOUŠENÍ TEPELNĚ-IZOLAČNÍCH ALKALICKY AKTIVOVANÝCH HMOT

PREPARATION AND TESTING OF HEAT-INSULATING ALKALI-ACTIVATED MATERIALS

Ing. Stanislav Staněk

ABSTRAKT

Příspěvek se zabývá přípravou alkalicky aktivovaných systémů s tepelně-izolačními vlastnostmi, kde byly jako plnivo použity materiály s nízkou objemovou hmotností. Experiment byl zaměřen na stanovení pevností v tlaku a součinitele tepelné vodivosti připravených kompozitů.

Cílem je příprava izolačních materiálů na bázi alkalicky aktivované vysokopecní strusky. Stanovené pevností v tlaku a součinitelů tepelné vodivosti testovaných kompozitů kvalitativně odpovídají komerčně dostupným stavebninám.

Klíčová slova: Tepelně-izolační, alkalicky aktivovaný, vysokopecní granulovaná struska, lehčené kamenivo

ABSTRACT

The paper deals with a laboratory research and development of alkali activated system with heat-insulating properties, where, such as fillers low density materials were used.

The experiment was focused on compressive strengths and heat conductivity of prepared materials. The values of compressive strengths and thermal conductivity of tested admixtures qualitatively correspond to commercially available building material..

Key words: Heat-insulating, Alkali-activate, granulated blast furnace slag, lightweight Aggregate

1 ÚVOD

Aktuální vývoj cen energií a zároveň zvyšující se ekologické nároky na provedení staveb nás při výstavbě nutí vyhledávat nové materiály a také nové konstrukční systémy, aby energetické ztráty při užívání byly minimalizovány. Současný stavební trh nabízí mnoho variant, jak tepelné ztráty staveb eliminovat, využívá k tomu především tradiční postupy a také tradiční materiály, a to zejména v oblasti pojivových systémů. V závislosti na požadavcích na stavby je však nutné řešit také trvale udržitelný rozvoj stavebnictví při šetrném využívání přírodních zdrojů. Z tohoto důvodu musíme hledat cesty, jak v co nejvyšší míře zpracovávat odpadní materiály a minimalizovat těžbu výhledově nedostatkových surovin.

V současnosti je pozornost zaměřena na výzkum a vývoj alkalicky aktivovaných systémů, jež by mohly v budoucnosti alespoň parciálně nahradit pojiva na bázi cementu. [6, 9] Jedná se o kompozity, v nichž se jako pojivové složky uplatňují především druhotné suroviny technogenního původu, u nichž jsou latentně hydraulické vlastnosti vybuzeny pomocí alkalického aktivátoru. U těchto materiálů lze kombinováním jednotlivých vstupních složek a také podmínek okolního prostředí během jejich

přípravy, dosáhnout různých konečných vlastností v závislosti na požadavcích při zamýšleném použití v konstrukci. [1, 3 - 7, 9, 10]

Cílem experimentu je vývoj tepelně izolačního materiálu, který by konečnými vlastnostmi vyhověl jak pevnostním tak i tepelně izolačním požadavkům pro použití ve výstavbě. Vzhledem k širokému množství možných plniv je výzkum zaměřen především na stanovení fyzikálně-mechanických a tepelně-izolačních vlastností.

2 SUROVINY POUŽITÉ V EXPERIMENTU

Na základě předchozích výzkumných prací byla pro experiment zvolena matrice vysokopecní jemně mleté granulované strusky (GVS) alkalicky aktivované pomocí upraveného vodního skla sodného, jehož silikátový modul byl upraven na hodnotu 2,0. Jelikož je předpokladem, že u připraveného kompozitu bude plnivo plnit funkci tepelně-izolační a pojivo bude tvořit jeho nosnou kostru, byla zvolena varianta alkalicky aktivované vysokopecní strusky s využitím sodného vodního skla. [1, 8]

V rámci výzkumu tedy byly jako vstupní suroviny použity granulovaná vysokopecní struska, vodní sklo, hydroxid sodný a voda pro zlepšení reologie výsledné směsi.

Jako plniva s tepelně izolační funkcí byly pro experiment vybrány materiály s nízkou objemovou hmotností, konkrétně expandovaný perlit (experlit), expandovaný vermikulit, keramické kamenivo Liapor, recyklovaný polystyren Ekostyren, expandovaný písek Siopor, odpadní pórobeton, recyklované sklo REFAGLASS, odpadní třísky, odpadní korek a konopné pazdeří.

3 PŘÍPRAVA HMOT

Alkalicky aktivované systémy jsou aktuálně podrobovány podrobnému průzkumu mnoha výzkumných pracovišť, ve stavební praxi jsou však zatím využívány pouze minimálně. Proto byla všechna zkušební tělesa připravena a následně zkoušena podle norem pro zkoušení malt, cementů a betonů. [1, 8]

Vzhledem ke značné rozdílnosti použitého plniva (různá nasákavost, granulometrie, objemová hmotnost) bylo již na začátku experimentu zřejmé, že není možné receptury sjednotit podle některého z parametrů tak, aby mohly být na jeho základě výsledky jednotlivých kompozitů porovnávány mezi sebou, cílem byla především maximalizace tepelně-izolačních vlastností.

Cílem práce bylo najít u každého z použitých materiálů ideální poměr mezi pojivovou složkou a plnivem pro získání co nejlepšího poměru mezi výslednými pevnostními parametry a tepelně izolačními vlastnostmi, a to s ohledem na bezproblémovou zpracovatelnost při případném použití v průmyslové výrobě.

Základem pro přípravu všech záměsí je ověřená receptura [1] na bázi alkalicky aktivované granulované vysokopecní strusky (GVS), v níž byl jako plnivo použit normový písek. Složení této referenční receptury je uvedeno v tab. 1. Pevnosti v tlaku u této receptury dosahovaly po 28 dnech zrání průměrné pevnosti převyšující 90 MPa, referenční směs tedy plnila předpoklad, že pojivová složka bude tvořit nosnou kostru vytvořeného kompozitu.

Materiál	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Normový písek [g]
Množství	450	118,6	90	1350

Tab. 1 Složení referenční receptury [1]

V první fázi experimentu byly směsi připraveny podle receptury referenční směsi. Plnivo bylo vzhledem k jeho nízké objemové hmotnosti nutno dávkovat objemově. Na základě měření bylo zjištěno, že 1350 g normového písku z referenční receptury odpovídá objemu 800 ml ve volně sypaném stavu. Následně tedy byly zpracovány receptury obsahující vždy 800 ml tepelně izolačního materiálu jako plniva, GVS a aktivátor dle referenční záměsi, a bylo zjišťováno potřebné množství vody pro vhodnou zpracovatelnost směsí. [2]

V průběhu experimentálních prací pak byla postupně upravována množství jednotlivých složek v závislosti na stanovených požadavcích. Na základě porovnání výsledků pevnostních parametrů, konzistencí a zpracovatelnosti u jednotlivých směsí, byly vybrány pro další zkoušky následující receptury. Konečná složení jednotlivých receptur jsou uvedena v tab. 2.

Vzorek	GVS [g]	Aktivátor [ml]	Voda [g]	Množství plniva [ml]
Liapor	450	119	80	1300
Vermikulit	585	154	300	1300
Experlit	585	154	220	1300
Ekostyren	450	119	90	800
Siopor	675	178	225	900
Pórobeton	450	118	250	600
Refaglass	750	178	375	1500
Odpadní třísky	650	233	276	800
Odpadní korek	650	233	98	800
Konopné pazdeří	650	233	200	1000

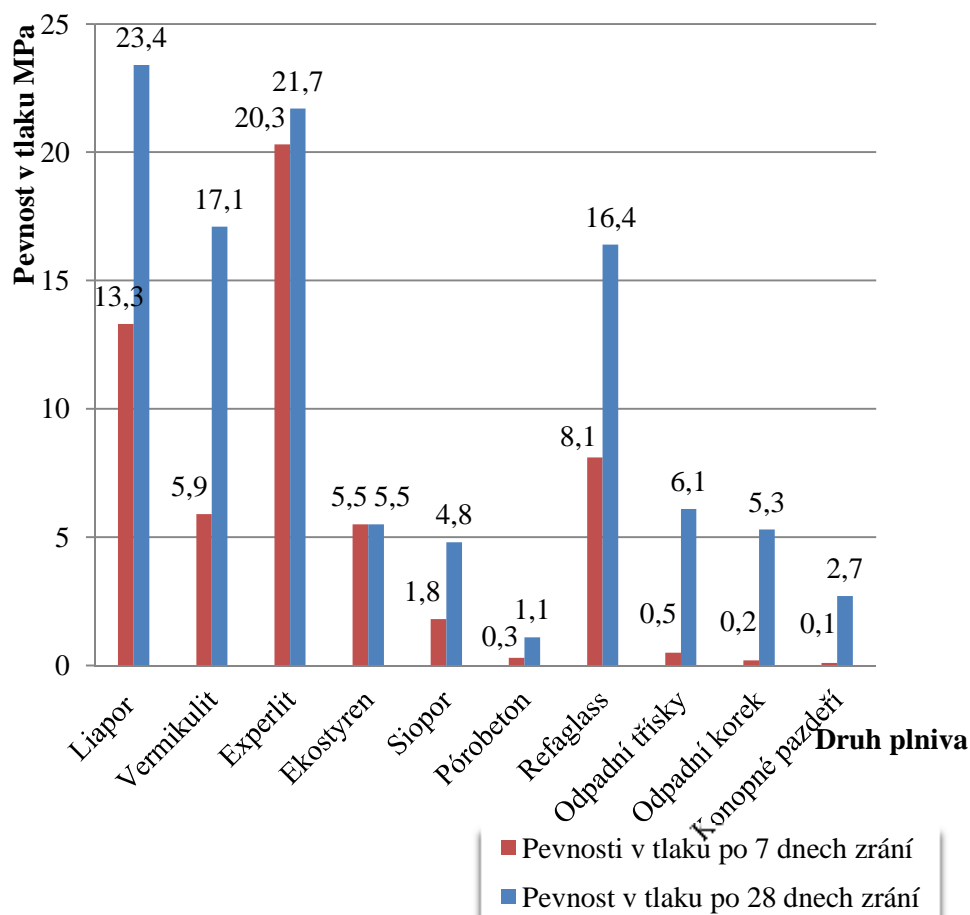
Tab. 2 Složení výsledných receptur

4 VÝSLEDKY

U připravených směsí byly stanoveny pevnosti v tlaku po 7 a 28 dnech zrání, objemové hmotnosti ve vlhkém stavu (po vyjmutí z vlhkostní skříňe), objemová hmotnost vysušeného vzorku v sušárně při teplotě 105 °C do ustálení hmotnosti a součinitel tepelné vodivosti u vysušeného vzorku. Výsledky jsou zaznamenány v tab. 3.

Vzorek	Pevnost v tlaku po 7 dnech [MPa]	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]	Obj. hm. vlhký vzorek [kg.m ⁻³]	Obj. hm. vysušený vzorek [kg.m ⁻³]	Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Liapor	13,3	23,4	1250	1150	0,237
Vermikulit	5,9	17,1	1570	1130	0,165
Experlit	20,3	21,7	1380	1070	0,219
Ekostyren	5,5	5,5	880	840	0,123
Siopor	1,8	4,8	1360	570	0,114
Pórobeton	0,3	1,1	1680	1100	0,222
Refaglass	8,1	16,4	2000	1000	0,147
Odpadní třísky	0,5	6,1	1100	880	0,073
Odpadní korek	0,2	5,3	1000	780	0,154
Konopné pazdeří	0,1	2,7	1330	890	0,035

Tab. 3 Pevnosti, objemové hmotnosti a součinitel tepelné vodivosti těles

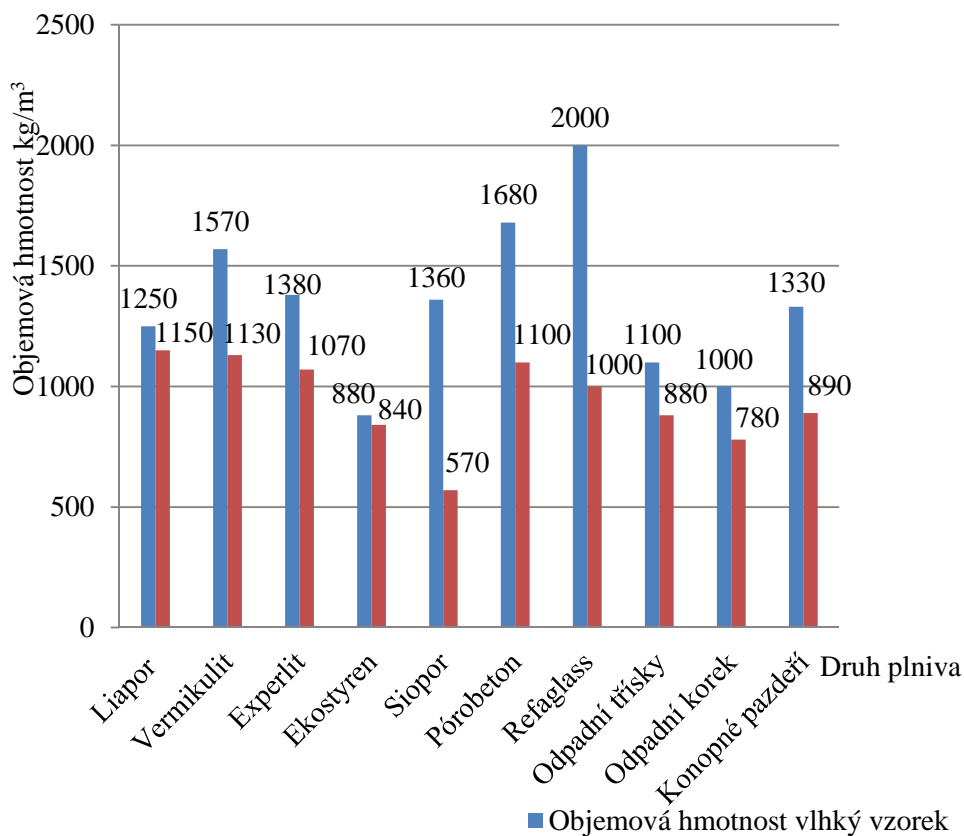


Obr. 1 Porovnání pevností v tlaku po 7 a 28 dnech zrání

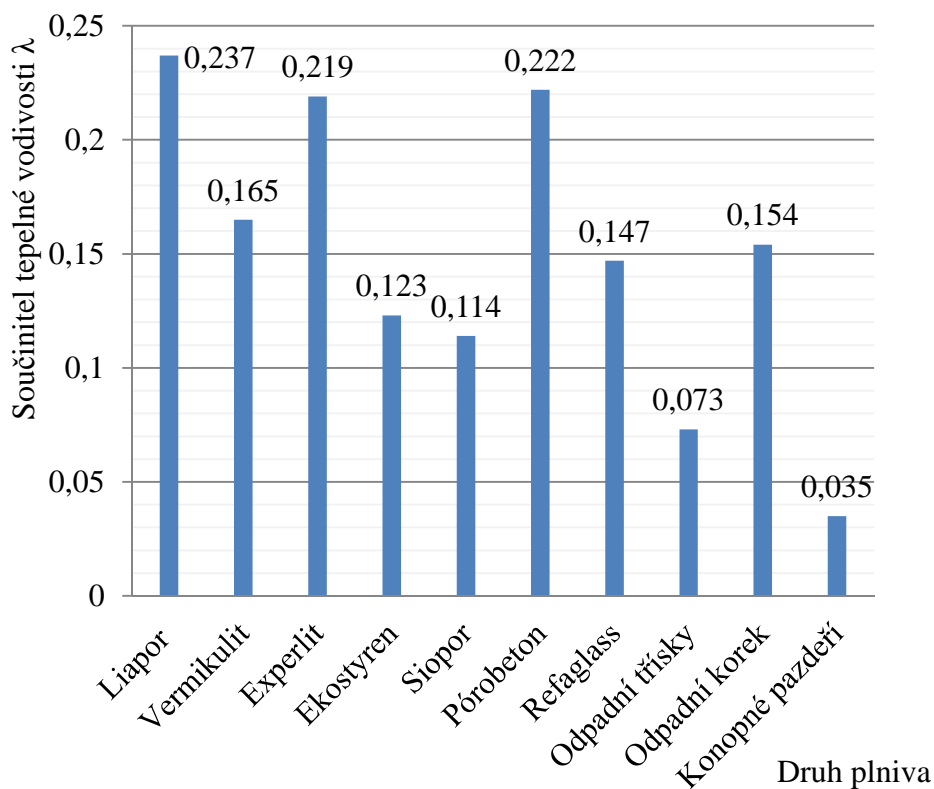
Z výsledků (obr. 1) je zřejmé, že nejvyšších pevností v tlaku po 28 dnech zrání bylo dosaženo u směsí s plnivem Liapor, experlit, vermikulit a Refaglass. Pouze minimální pevnosti na hranici 1 MPa byly zjištěny u směsí s plnivem pórobeton, u směsí s konopným pazdeřím se pevnosti v tlaku blížily 3 MPa. K nejvýraznějšímu nárůstu pevností v intervalu 7 až 28 dní došlo u směsí s vermikulitem, Liaporem a Refaglass, naopak u směsí s Ekostyrenem již po 7 dnech zrání pevnost nenarůstala.

Z obr. 2 je zřejmé, že nejnižší objemové hmotnosti ve vysušeném stavu dosahovala směs s plnivem Siopor a Ekostyren. Naproti tomu nejvyšší objemové pevnosti ve vysušeném stavu byly zjištěny u směsí s plnivem Liapor a vermikulit. Nejčastěji se objemové hmotnosti vysušených vzorků pohybovaly v rozmezí cca 800 - 1150 kg.m⁻³.

Nejnižšího součinitele tepelné vodivosti bylo dosaženo u směsí s plnivem konopné pazdeří a odpadní třísky (obr. 3). Tyto směsi se na základě součinitele tepelné vodivosti řadí mezi materiály vysoce tepelně izolační ($\lambda \rightarrow 0,03 - 0,10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) [8], i přesto, že objemová hmotnost se u připravených těles pohybovala na hodnotě 890 kg.m⁻³ resp. 880 kg.m⁻³.



Obr. 2 Porovnání objemových hmotností těles



Obr. 3 Součinitel tepelné vodivosti kompozitů

Všechny ostatní připravené receptury se při stanovení součinitele tepelné vodivosti pohybovaly v rozmezí hodnot 0,10 - 0,24 W.m⁻¹.K⁻¹, řadí se tedy mezi materiály s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi ($\lambda \rightarrow 0,10 - 0,30 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) [8], i když i zde je překročen obecný předpoklad objemové hmotnosti v rozmezí 500 - 800 kg.m⁻³, a to až o cca 350 kg.m⁻³.

5 ZÁVĚR A DISKUZE

Výsledky provedených laboratorních zkoušek prokazují, že se i alternativní kompozity na bázi alkalicky aktivovaných systémů mohou uplatnit při výrobě tepelně-izolačních stavebních materiálů.

Použitím lehkého kameniva do alkalicky aktivovaných systémů vznikají hmoty s nízkým součinitelem tepelné vodivosti. V souvislosti se snižováním objemové hmotnosti dochází ke zhoršování pevnostních vlastností, díky použití matrice s alkalicky aktivovanou struskou jsou však pevnosti v porovnání s komerčními výrobky dostačující.

Je nutné konstatovat, že možnosti vylehčení materiálu nebyly zcela vyčerpány, dalším snížením objemové hmotnosti vlivem zvýšení podílu plniva je možno dosáhnout ještě lepších tepelně-izolačních vlastností, toto by ovšem v konečném důsledku znamenalo další snížení pevnostních parametrů, což již v případě většiny testovaných receptur není žádoucí.

Ačkoli jsou obecně laboratorní výsledky testovaných směsí na bázi alkalicky aktivovaných strusek pozitivní, nejsou tyto materiály téměř vůbec zaváděny do stavební praxe. Důvodem jsou především problémy s udržitelností kvality produktů v přímé závislosti na široké variabilitě podmínek při procesu alkalické aktivace.

6 LITERATURA

- [1] J. Boháčová, "Studium vlivu různých typů plniv na vlastnosti geopolymerních systémů na bázi alkalicky aktivovaných strusek", Bakalářská práce. Ostrava, 2008.
- [2] J. Boháčová, M. Vavro, S. Staněk, "Properties of Thermal Insulating Alkali Activated System Research and Development". TRANSACTIONS of the VŠB - Technical University of Ostrava. Civil Engineering Series. No. 2, vol. XI, paper 19, Ostrava, 2011.
- [3] J. Brandštetr, "Struskoalkalické betony", Stavivo, no. 3, pp. 110-114, 1984.
- [4] J. Brandštetr and J. Havlica, "Zeolity v maltách a betonech", *Materiály pro stavbu*, no. 6, pp. 48-50, 2000.
- [5] J. Brandštetr, D. Koloušek, J. Vorel, T. Opravil, and P. Bayer, "Geopolymery, geopolymerní cementy a betony", *SILIKA*, no. 7-8, pp. 208 - 211, 2005.
- [6] J. Brandštetr and P. V. Krivenko, "Alkalické cementy a betony", *SILIKA*, pp. 26 - 28, 1999.
- [7] J. Brandštetr, O. Meluzín, J. Kohut, and Š. Zavřel, "Příprava a některé vlastnosti struskoalkalických betonů", *Stavivo*, pp. 182-188, 1986.
- [8] S. Staněk, "Vývoj tepelně-izolačního materiálu na bázi alkalicky aktivovaných systémů", Teze disertační práce, Ostrava, 2015.
- [9] F. Škvára, *Alkalicky aktivované materiály - geopolymery*. Praha, 2007. ISBN 978-80-7080-004-1
- [10] S. D. Wang, X. C. Pu, K. L. Scrivener, and P. L. Pratt, "Alkali-Activated Slag Cement and Concrete: A Review of Properties and Problems", *Advances in Cement Research*, no. 7, pp. 93-102, 1995.