

Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava

číslo 1, rok 2011, ročník XI, řada stavební

článek č. 10

Pavel MEC¹, Martin VAVRO², František PTICEN³**VÝVOJ A VÝZKUM VLASTNOSTÍ LEHČENÝCH VÁPENNÝCH MALT S PŘÍDAVKEM METAKAOLÍNU****DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT LIME MORTARS WITH ADMIXTURE OF METAKAOLIN****Abstrakt**

Příspěvek se zabývá laboratorním výzkumem vápenných malt s přidavkem komerčních metakaolínů a jejich vylehčením pomocí expandovaného perlitu. Prezentovány jsou výsledky zkoumaných vlastností a jejich srovnání s běžnou vápennou maltou. Výsledky by měly posloužit jako základ pro další výzkum tepelně izolačních malt s vysokými užitnými vlastnostmi a jejich využití v praxi.

Klíčová slova

Vápenné malty, lehčené malty, tepelně izolační materiály, metakaolín, expandovaný perlit

Abstract

This paper deals with laboratory investigation of lime mortars with admixture of commercially produced metakaolin and their lightening by expanded perlite (experlite). The result of the investigation and the comparison with common lime mortar are presented. These results ought to be used as a basis for the next research of thermal insulation mortars with high performance properties or for their use in practice.

Keywords

Lime mortars, lightweight mortars, thermal insulation materials, metakaolin, expanded perlite.

1 ÚVOD

Vápno představuje, a to už od raného středověku, jedno z hlavních pojiv používaných v evropském stavebnictví. Používalo se a stále se používá na přípravu různých druhů omítek a malt. Z dnešního pohledu byla dříve používaná technologie pro výrobu vápna poměrně jednoduchá a použité suroviny nedosahovaly takové čistoty jako materiály používané v současnosti. Vyrobené vápno proto ve většině případů obsahovalo značné příměsi sialitických složek a vykazovalo tak hydraulické vlastnosti. Hydraulické vlastnosti měly za následek zvýšenou mechanickou a korozní odolnost. Vlastnosti vápenných malt byly také často upravovány přidavkem různých materiálů anorganického charakteru. V České republice se používaly například keramické střepy, drcené cihly,

¹ Ing. Pavel Mec, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321952, e-mail: pavel.mec.st@vsb.cz, mecour@gmail.com.

² Ing. Martin Vavro, Ph.D., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321382, (+420) 728 963 397, e-mail: martin.vavro@vsb.cz, vavro590@seznam.cz.

³ Ing. František Ptíčen, Vršní 798/15, 182 00 Praha 8, tel.: (+420) 607 176 532, e-mail: f.pticen@seznam.cz.

struska, později také popílky [6,8,9]. Účelem používání těchto přísad bylo zlepšení zpracovatelnosti, zvýšení pevnosti a odolnosti [10]. V současnosti se však vzdušné vápno vyrábí pálením velmi čistých surovin a obsah hydraulických složek ve výsledném produktu je tak téměř nulový. Z toho důvodu je nutno hydraulické složky do vápenných systémů vnášet uměle. Proto je aktuálně značná pozornost věnována vápenným omítkám s přidavkem přírodních nebo umělých pucolánů.

Největší pozornost je v oblasti pucolánových látek věnována metakaolínu [11, 12]. Přídavek metakaolínu prokazatelně pozitivně ovlivňuje parametry vápenných malt. Výrazně zvyšuje jak výsledné pevnosti, tak odolnost vůči působení mrazu, solí a ostatních agresivních látek. Výhodou použití může být rovněž vliv na objemové a difuzní vlastnosti malt. Výsledné vlastnosti jsou závislé jak na použitém druhu metakaolínu, tak na jeho množství. Metakaolín se proto v současnosti jeví jako velmi perspektivní materiál pro zlepšení materiálových parametrů stavebních hmot na bázi vápna.

Současné požadavky na energetickou nenáročnost, nutí stavební průmysl vytvářet stavby s čím dál nižší spotřebou energie. Tato snaha je patrná jak u nových objektů, tak i při rekonstrukcích objektů stávajících. Tyto požadavky jsou splňovány především díky tepelně izolačním stavebním materiálům. V současnosti se využívají také tepelně izolační malty, jejichž vlastností je dosaženo snížením objemové hmotnosti díky použití lehkého kameniva. Použití takového kameniva s sebou však přináší nežádoucí snížení mechanických parametrů. Jedním řešením těchto problémů může být spojení vápenných omítek modifikovaných pucolány a využití lehkého kameniva. Takto připravené malty jsou vhodné pro použití jak u nových tak i u stávajících staveb.

2 POUŽITÉ MATERIÁLY

Provedený výzkum využíval komerčně vyráběných materiálů. Jejich jednotlivé vlastnosti byly detailně popsány v některých předcházejících pracích [7, 13]. Používaly byly především materiály, se kterými měli autoři dřívější zkušenosti. Pro přípravu vápenných malt byl použit také komerční vápenný hydrát, čímž se eliminuje různorodost vlastnoručně připraveného hydrátu.

2.1 Metakaolín

Česká republika představuje významného světového těžaře kaolínu. V evropském měřítku je rovněž jedním z mála producentů metakaolínu. Dosavadní nevýhodou stavebního užití metakaolínů je jejich vysoká cena, která převyšuje komerční ceny současně používaných pojiv. Vybrané vlastnosti tuzemských metakaolínů jsou uvedeny v tab. 1. V rámci prezentovaného výzkumu byly použity metakaolíny I-META 4 a N-META 2 (tab. 2.), vyráběné společností Sedlecký kaolín, a.s. V modifikovaných směsích bylo nahrazeno 50hm % vápenného hydrátu metakaolínem. Předchozí práce totiž ukázaly, že při tomto poměru hydrát: metakaolín mohou být dosahovány nejlepší užitné vlastnosti malt [11].

Tab. 1: Vybrané vlastnosti komerčních metakaolínů.

Vlastnost metakaolínu	Značka metakaolínu				
	Mefisto K05	N META 4	S META 4	I META 4	KM 40
SiO ₂ [hm. %]	59,00	53,52	53,08	52,94	52,35
Al ₂ O ₃ [hm. %]	37,50	43,42	42,47	41,04	40,10
Fe ₂ O ₃ [hm. %]	0,70	0,91	1,03	1,64	1,45
TiO ₂ [hm. %]	0,53	0,59	0,33	0,36	0,74
CaO [hm. %]	0,11	0,32	0,33	0,26	0,38
MgO [hm. %]	0,26	0,25	0,24	0,30	0,40
K ₂ O [hm. %]	0,72	0,45	0,95	1,63	1,43
Na ₂ O [hm. %]	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01
ztráta žíháním [hm. %]	1,21	0,43	1,43	1,81	3,12
míra rozlití [mm]	130	200	130	160	150

Tab. 2: Granulometrie použitých metakaolínů I-META 4 a N-META 2

Parametr	X ₅₀ (laser) [μm]	X ₅₀ (sedigraph) [μm]	X ₉₉ (laser) [μm]	Pod 2μm [%]	Měrný povrch [cm ² .g ⁻¹]
N-META 2	2,26	1,8	11,64	53	16591
I-META 4	4,26	2,4	13,0	54	6588

2.2 Expandovaný perlit

Jedná se o materiál, který je vyráběn tepelnou úpravou přírodního perlitu. Přírodní perlit je kyselá hornina vulkanického původu, řazená do skupiny vulkanických skel a svým složením a výskytem blízká ryolitu. Perlit se, oproti jiným vulkanickým sklům, vyznačuje kuličkovitou (perlitickou) odlučností a poměrně vysokým obsahem vody (až 9 % hm.). Při výpalu na teploty 900 – 1300°C se povrch jednotlivých zrn perlitu uzavře a díky vodě zvětšuje svůj objem 5x až 10x. Vzniká tak šedobílý zrnitý materiál s velmi nízkou objemovou hmotností. V České republice je perlit dodáván v orientačních zrnitostech 0-0,5mm, 0,5-1mm a 1-2mm s drobnými odchylkami. Sypná hmotnost expandovaného perlitu se pohybuje v rozmezí 70 – 100 kg.m³. Vzhledem k velmi nízké objemové hmotnosti je nutno tento druh plniva dávkovat objemově.

3 ZKOUŠENÉ VLASTNOSTI

Zkoušení jednotlivých materiálových vlastností probíhalo na předem připravených vzorcích. Tyto vzorky byly vyrobeny dle platných norem pro zkoušení vápenných malt. Pro možnost srovnání jednotlivých výsledků je potřeba připravovat vzorky se stejnými vstupními parametry. U malt je tímto parametrem konzistence čerstvé malty. Všechny vzorky byly připraveny na jednotnou konzistenci dle normy ČSN EN 1015 – 3 [2]. Celkem bylo připraveno osm záměsí lehčených malt a dvě záměsí referenční.

Označení a složení jednotlivých záměsí:

- **I-META** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem I-META4;
- **N-META** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem N-META2;
- **I-META + 25 %exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem I-META 4 a 25 % náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **I-META + 50 %exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem I-META 4 a 50 % náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **I-META + 75 %exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem I-META 4 a 75 % náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **I-META + 100 %exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem I-META 4 a 100 % náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **N-META + 25 %exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem N-META 2 a 25% náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **N-META + 50%exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem N-META 2 a 50% náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **N-META + 75%exp** – vápenná malta s 50% náhradou vápenného hydrátu metakaolínem N-META 2 a 75% náhradou kameniva expandovaným perlitem;
- **N-META + 100%exp** – vápenná malta s % náhradou vápenného hydrátu metakaolínem N-META 2 a 100% náhradou kameniva expandovaným perlitem.

Pro zkoušení mechanických a odolnostních vlastností připravených malt byly vyrobeny vzorky dle normy ČSN EN 1015 – 2 [1]. Jedná se o tělesa rozměrů 160x40x40mm. Na takto připravených vzorcích byla dle platných českých norem zkoušena pevnost v tlaku, v tahu za ohybu po 7, 28, 56 dnech [4], a také byla provedena zkouška mrazuvzdornosti malty [5]. U všech těles byla stanovena objemová hmotnost zatvrdlé malty [3]. Výsledky provedených zkoušek byly porovnávány s referenční maltou, která obsahovala použité metakaolíny N- META 2 a I – META 4, avšak nebyla nijak vylehčena. Hlavním sledovaným parametrem byla závislost objemové hmotnosti na množství

explitu a také snížení pevnostních a odolnostních vlastností. Pevnost vápenné malty bez metakaolinu se pohybuje většinou okolo hodnoty 1 MPa v tlaku po 28 dnech zrání na vzduchu.

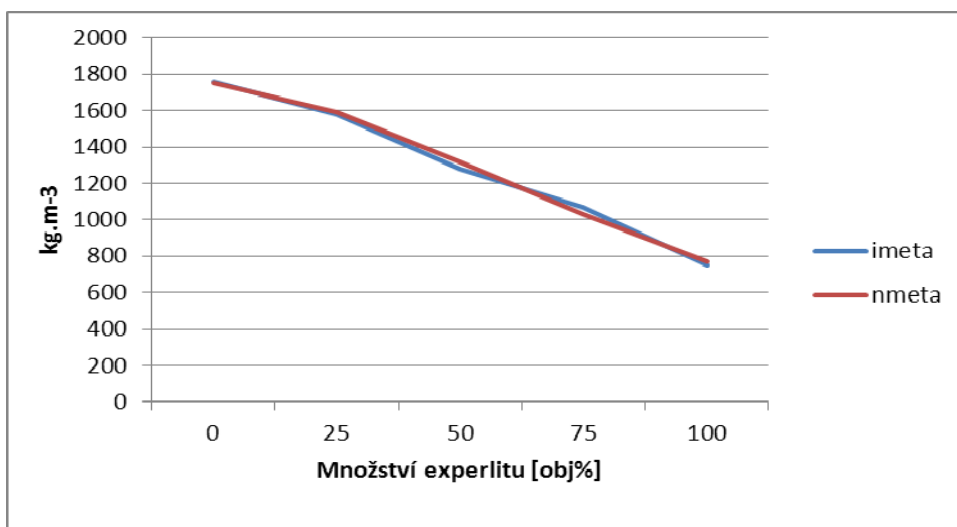
4 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Jednotlivé zkoušky byly prováděny vždy na třech zkušebních tělesech, z dílčích výsledků byl pak následně vypočten aritmetický průměr. Výsledky stanovení objemové hmotnosti, pevnostních parametrů, součinitele tepelné vodivosti a mrazuvzdornosti referenčních vápenopucolánových malt a vyvíjených lehčených vápenopucolánových malt jsou prezentovány v tab. 3 – 8 a na obr. 1 – 6.

Tab. 3: Objemová hmotnost a pevnost v tahu za ohybu (R_f).

Vzorek	Množství explitu	Obj. hmot. [kg.m ⁻³] 7 dní	Obj. hmot. [kg.m ⁻³] 28 dní	Obj. hmot. [kg.m ⁻³] 56 dní	R_f [MPa] 7 dní	R_f [MPa] 28 dní
I-META 4	0 %	1790	1770	1720	1,3	1,3
I-META +25exp	25 %	1610	1580	1490	1,1	2,1
I-META +50exp	50 %	1370	1280	1200	1,0	1,7
I-META +75exp	75 %	1160	1070	900	1,1	1,7
I-META +100exp	100 %	840	750	670	0,6	1,5
N-META 2	0 %	1800	1760	1710	1,5	2,6
N-META +25exp	25 %	1620	1590	1510	1,3	2,6
N-META +50exp	50 %	1350	1320	1230	1,2	2,2
N-META +75exp	75 %	1110	1030	1020	0,8	1,7
N-META +100exp	100 %	800	770	730	0,8	1,5

Při zkoušení lehčených malt hraje dominantní úlohu objemová hmotnost zatvrdlé malty. Obr. 1. dokumentuje závislost objemové hmotnosti lehčené malty na aplikovaném množství expandovaného perlitu po 28 dnech zrání. Je patrné, že se zvyšujícím se množstvím lehkého kameniva téměř lineárně klesá objemová hmotnost zatvrdlé malty, a to až na hodnoty pod 800 kg.m⁻³.

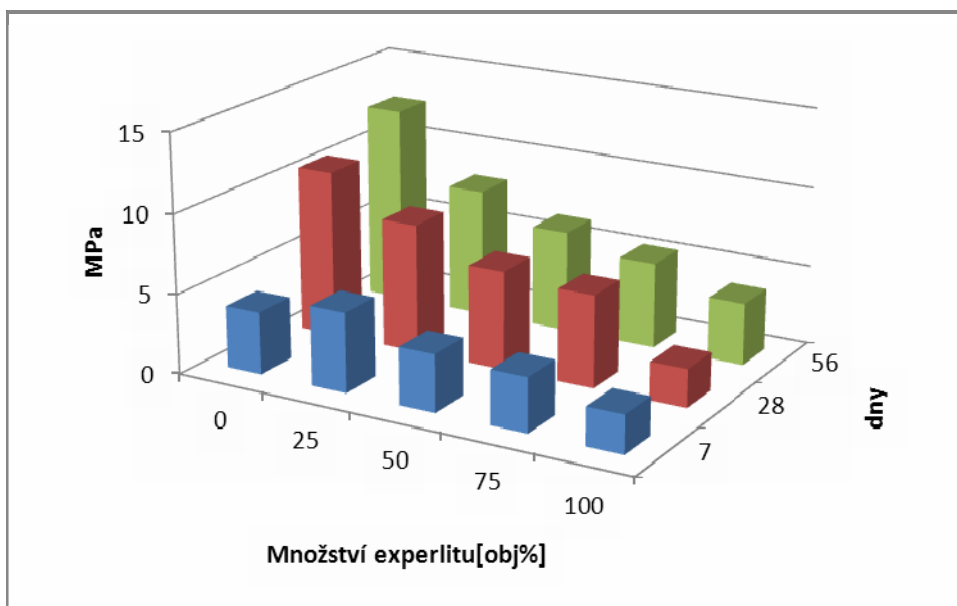


Obr. 1: Závislost objemové hmotnosti na množství explitu po 28 dnech zrání malty

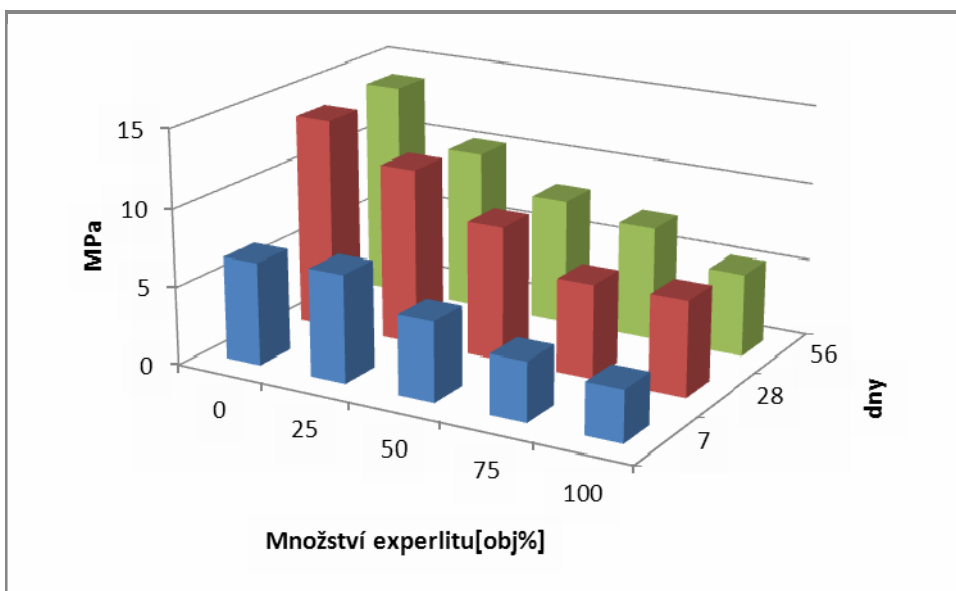
Tab. 4: Pevnost v tlaku (R_{av})

Vzorek	Množství experlitu	R_{av} [MPa] 7 dní	R_{av} [MPa] 28 dní	R_{av} [MPa] 56 dní
I-META 4	0 %	3,9	10,5	11,3
I-META +25exp	25 %	5,0	8,1	8,1
I-META +50exp	50 %	3,6	6,2	6,4
I-META +75exp	75 %	3,4	5,8	5,4
I-META +100exp	100 %	2,4	2,4	3,9
N-META 2	0 %	6,6	13,6	13,9
N-META +25exp	25 %	6,9	11,3	10,3
N-META +50exp	50 %	5,1	8,6	8,1
N-META +75exp	75 %	3,8	6,0	7,3
N-META +100exp	100 %	3,3	6,1	5,3

U jednotlivých záměsí byla sledována vzájemná závislost mechanických vlastností na množství lehkého kameniva a době zrání malty. Výsledek může poskytnout důležitou informaci pro další návrh složení směsi. U obou druhů metakaolínů je vývoj pevnosti v čase podobný (viz obr. 2. a obr. 3.).



Obr. 2: Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na čase a množství použitého experlitu u lehčených malt s metakaolínem I-META 4



Obr. 3: Vývoj pevnosti v tlaku v závislosti na čase a množství použitého experlitu u lehkých malt s metakaolínem N-META 2

Nejvýznamnější roli v problematice tepelně izolačních materiálů představuje součinitel tepelné vodivosti. Tento materiálový parametr byl stanoven na Oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i. v Ostravě. Pro stanovení byl použit přístroj ISOMET 2104, měření provedla paní Anežka Dušková. Výsledky stanovení součinitele tepelné vodivosti jsou uvedeny v tab. 5 a 6.

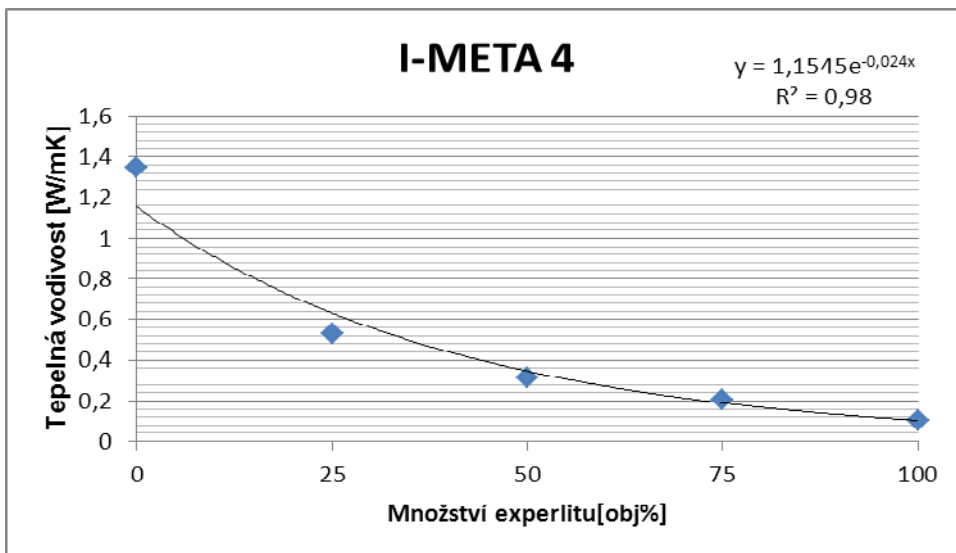
Tab. 5. Tepelná vodivost vzorků s metakaolínem I-META 4

Vzorek	I-META	I-META +25 %exp	I-META +50 %exp	I-META +75 %exp	I-META +100 % exp
λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	1,350	0,533	0,311	0,208	0,106

Tab. 6. Tepelná vodivost vzorků s metakaolínem N-META 2

Vzorek	N-META	N-META +25 %exp	N-META +50 %exp	N-META +75 %exp	N-META +100 %exp
λ [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$]	0,995	0,845	0,509	0,283	0,139

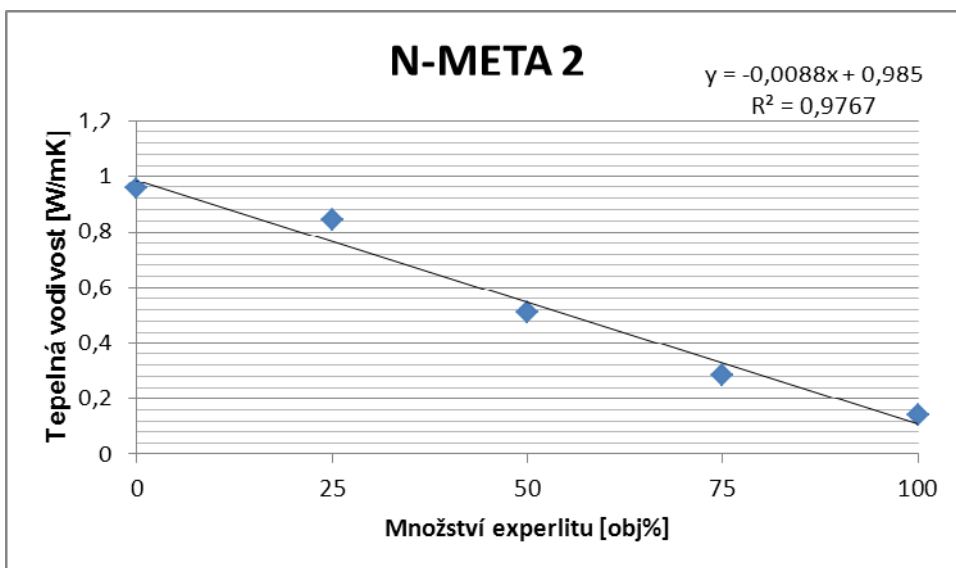
Jelikož je součinitel tepelné vodivosti v podstatě nejdůležitějším parametrem u tepelně izolačních malt, je vhodné využít jednoduchých metod regresní analýzy pro stanovení jeho závislosti na množství expandovaného perlitu. Znalost takovéto závislosti je výhodná při návrhu složení směsi.



Obr. 4: Tepelná vodivost v závislosti na množství expeditu pro metakaolín I –META 4

U malt s přidavkem metakaolínu I – META 4 je závislost tepelné vodivosti na množství expandovaného perlitu exponenciální. Z regresní analýzy je možné tuto závislost popsat přibližným vztahem:

$$\lambda(x) = 1,154e^{-0,024x} \quad (1)$$



Obr. 5: Tepelná vodivost v závislosti na množství expeditu pro metakaolín N –META 2

U záměsí s metakaolínem N –META 2 se závislost jeví spíše lineární. Regresní model je proto výhodnější zvolit jako lineární funkci:

$$\lambda(x) = 0,985 - 0,0088x \quad (2)$$

Jak již bylo uvedeno dříve, použití metakaolínu bylo v rámci tohoto výzkumu zvoleno jednak z důvodu jeho příznivého ovlivnění výsledných mechanických vlastností malt, tak také kvůli zvýšení odolnosti vůči agresivním vlivům. Jedním z takových vlivů okolního prostředí, uplatňujících se v reálných podmínkách, je střídání teplot. Proto byly vzorky testovány rovněž na odolnost vůči cyklickému zmrazování a rozmrazování a bylo sledováno, po kolika cyklech dojde k porušení vzorků. Pro úplnost je potřeba uvést, že testována byla také běžná vápenná malta bez jakékoli modifikace metakaolínem. U takovéto vápenné malty dojde, při cyklickém zmrazování a rozmrazování, k rozpadu již po zhruba třech zmrazovacích cyklech. Výsledky zkoušky mrazuvzdornosti, tj. počet cyklů, které byly jednotlivé záměsi schopny absolvovat bez rozpadu vzorků, jsou uvedeny v tab. 7 a 8.

Tab. 7. Počet zmrazovacích cyklů vzorků s metakaolínem I-META 4

Vzorek	I-META +25 %exp	I-META +50 %exp	I-META +75 %exp	I-META +100 %exp
Počet cyklů	12	12	8	6

Tab. 8. Počet zmrazovacích cyklů vzorků s metakaolínem N-META 2

Vzorek	N-META +25 %exp	N-META +50 %exp	N-META +75 %exp	N-META +100 %exp
Počet cyklů	12	12	8	6

V souvislosti se stanovením mrazuvzdornosti je potřeba dodat, že na rozdíl od běžné vápenné malty, nedochází u vzorků s metakaolínem k jejich naprosté destrukci. Jednotlivé vzorky pouze šupinovitě ztrácejí povrchové vrstvy, celistvost těles však zůstává zachována. Toto chování dokumentuje obr. 6.



Obr. 6: Šupinovité odpadávání povrchových vrstev při zkoušce mrazuvzdornosti

5 HODNOCENÍ A ZÁVĚR

Výsledky provedených zkoušek ukazují, že u vápenných malt, modifikovaných pucolány a zároveň vylehčených lehkým kamenivem, je možno dosáhnout kvalitních směsí s velmi nízkou objemovou hmotností a zároveň vysokými užitnými vlastnosti. Metakaolín výrazně zvyšuje mechanické a odolnostní parametry zatvrdlé malty, čímž je předurčen především pro použití u malt, které budou vystaveny nepříznivým vlivům vnějšího okolí. Díky jeho „přírodnímu původu“ lze předpokládat, že vápenopucolánové malty s metakaolínem by mohly najít své uplatnění zejména v oblasti památkové péče při rekonstrukci a sanaci památkově chráněných staveb.

Použitím lehkého kameniva ve formě expandovaného perlitu dochází k rapidnímu snížení objemové hmotnosti, čímž je také docíleno velmi nízkého součinitele tepelné vodivosti malty. Díky snížení tepelné vodivosti až o 90 % oproti běžné vápenopucolánové maltě je možno tyto malty řadit již do skupiny výrazně tepelně izolačních materiálů. Je potřeba podotknout, že množství experlitu bylo dávkováno pouze na objemovou úroveň písku. Možnosti lehčení tedy nebyly zcela vyčerpány a množství lehčiva lze dále zvýšit a dosáhnout tak ještě nižších hodnot objemových hmotností. Snížení objemové hmotnosti s sebou pochopitelně přináší také snížení mechanických a odolnostních vlastností. Avšak díky spojení s metakaolínem jsou užitné parametry stále výrazně lepší než u běžné vápenné malty.

Výsledky provedeného testování ukazují na velmi perspektivní možnost využití metakaolínu v lehčených maltách. Je evidentní, že použití metakaolínu může pomoci řešit dosavadní problém s nízkými pevnostmi a odolnostmi u tepelně izolačních malt. Dalším směrem vývoje může být zvyšování množství lehčiva, použití jiných typů lehkého kameniva, např. metakaolínu s vysokou porozitou. Dosavadní nevýhodou metakaolínu je jeho vyšší cena. Tento problém by však mohl být vyřešen použitím jiných, alternativních surovin na bázi jílu.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek byl financován z prostředků decentralizovaného projektu MŠMT, „Podpora talentovaných studentů magisterského oboru Stavební hmoty a diagnostika staveb a doktorského oboru Hornické a podzemní stavitelství“.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 1015-2 – *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [2] ČSN EN 1015-3 – *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střásacího stolku)*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [3] ČSN EN 1015-10 – *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 10: Stanovení objemové hmotnosti suché zatvrdlé malty*, Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [4] ČSN EN 1015-11 – *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*, Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [5] ČSN 72 2452 – *Zkouška mrazuvzdornosti malty*, Český normalizační institut, Praha, 1968
- [6] HOŠEK, J., LOSOS, L.: *Historické omítky*. Praha: Grada Publishing, a.s, 2007, 168 s. ISBN 978-80-247-1395-3.
- [7] PTICEN, F., VAVRO, M., NOŽIČKA, T., ŠUSTEK, P., BOHÁČOVÁ, J., BUJDOŠ, D.: *Metakaolíny připravené z kaolínů s odlišným mineralogickým a zrnitostním složením*. In *Sbor. semináře „Metakaolin 2010“*, s. 95 – 102. Brno: FAST VUT v Brně, 18. 3. 2010. ISBN 978-80-214-4064-7.
- [8] ROVNANÍKOVÁ, P.: *Omítky – Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek – STOP, 2002, 89 s. ISBN 80-86657-00-0.

- [9] ROVNANÍKOVÁ, P.: Materiály historických omítek. In *Sbor. konf. Obnova památek 2004 – Omítky historických budov*. Praha: WTA CZ, přístupno z <http://www.studioaxis.cz/index.asp?menu=633&record=4015>.
- [10] ROVNANÍKOVÁ, P., KRÍSTEK, R. Pucolány jako modifikující přísady do vápenných malt. *Informační zpravodaj*, č. 3 a 4, 2003, Praha: VUMO, s. 111-116.
- [11] ROVNANÍKOVÁ, P., VAVERKA, R., VRAŽIČOVÁ, J.: Metakaolín jako pucolánová přísada do vápenných malt. In *Sbor. konf. Sanace a rekonstrukce staveb 2002*. Praha: WTA CZ, 2002, s. 88-93, ISBN 80-02-01502-9.
- [12] SLÍŽKOVÁ, Z.: Vývoj směsného hydraulického pojiva na bázi metakaolinu. In *Sbor. konf. Obnova památek 2004 – Omítky historických budov*. Praha: WTA CZ, přístupno z <http://www.studioaxis.cz/index.asp?menu=633&record=4015>.
- [13] VAVRO, M., PTICEN, F., MEC, P. Studium vlastností metakaolínů vyrobených z alternativních jílových surovin. In *Sbor. semináře „Metakaolin 2010“*, s. 116 – 121. Brno: FAST VUT v Brně, 18. 3. 2010. ISBN 978-80-214-4064-7.

Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ing. Pavla Rovnaníková, CSc., Ústav chemie, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.

Doc. Ing. Jozef Vlček, Ph.D., Ústav průmyslové keramiky, Katedra tepelné techniky, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB – Technická univerzita Ostrava.