

Ing. Milan OSTRÝ, Ph.D.
VUT v Brně, Fakulta stavební,
Ústav pozemního stavitelství

Potenciál využití materiálů s fázovou změnou v lehkých konstrukcích

Potential of Phase Change Materials Use in Light-weight Structures

Recenzent
prof. ing. Jan Tywoniak, CSC.

Autor se zabývá atraktivním tématem, jakým je hledání cest k omezení rizika přehřívání interiérů budov v důsledku krátkodobě přítomných vnitřních tepelných zisků od osob a technologií a od pasivních solárních zisků pronikajících prosklenými plochami. Po vyčerpání všech možností snížení výše zmíněné zátěže vhodným architektonicko-stavebním konceptem, řízené sluneční ochrany oken apod., stojí za to hledat další možnosti. Za nadějně je možné označit snahu o využití efektu fázové změny v materiálech ve stavebních konstrukcích, zejména pokud je umístění obvyklých teplo akumulujících ploch kvůli nepřijatelné hmotnosti omezené. Článek přináší přehled tzv. PCM materiálů vhodných pro využití v budovách.

Klíčová slova: přehřívání interiérů, fázová změna, PCM-materiály, lehké stavební konstrukce

The author deals with the attractive theme as the search is of ways for limiting the risk of building interior overheating due to heat gains from persons present for a short time and technologies and from passive solar gains penetrating through glazed surfaces. After exhausting all possibilities of the above mentioned loading decrease by suitable architectural-structural conception, controlled solar windows protection, etc., it is worth to search further possibilities. As promising it is possible to designate the efforts to utilize the effect of the phase change in materials in building structures, especially in cases when the location of heat accumulating surfaces is limited due to the unacceptable mass. The article brings the survey of the so called PCM materials suitable for use in buildings.

Key words: interiors overheating, phase change, PCM-materials, light building structures

ÚVOD

V současné době můžeme pozorovat nárůst objemu realizovaných stavebních objektů, jejichž obalové konstrukce jsou buď částečně nebo zcela z lehkých stavebních hmot. Jde zpravidla o střechní nástavby nebo půdní vestavby, u kterých jsou lehké stavební hmoty používány z důvodu co možná nejmenšího zvýšení zatížení stávajících nosných konstrukcí. Lehkých stavebních hmot je užíváno v čím dál větším rozsahu také při výstavbě nových stavebních objektů, např. montovaných dřevostaveb, které jsou často navrhovány z hlediska měrné spotřeby tepla jako objekty nízkoenergetické nebo pasivní.

Řada projektantů stále považuje za hlavní, možná i jedinou, kritériální veličinu pro hodnocení obalových konstrukcí z tepelně technického hlediska součinitel prostupu tepla vlastní konstrukce.

Na vnitřní tepelně vlhkostní mikroklima mají ale vliv i tepelně akumuláční schopnosti vnějších konstrukcí. Pokud objekt nebo jeho místnosti nejsou vybaveny vzduchotechnickým nebo klimatizačním zařízením, může ve slunečných a horkých letních dnech docházet k přehřívání vnitřních prostor. Je třeba připomenout, že toto riziko hrozí u místností, jejichž průsvitné konstrukce jsou orientovány na jih, jihovýchod, jihozápad či západ. Svoji roli hraje i velikost průsvitných konstrukcí a jejich propustnost slunečního záření, od čehož se odvíjejí potenciální energetické zisky. Pokud nedovedeme účinně využívat energetických zisků průsvitnými konstrukcemi, pak nám naopak tyto zisky výrazně zhoršují tepelnou pohodu v místnostech.

AKUMULACE TEPELNÉ ENERGIE

Na tomto místě uvádím tři možnosti akumulace tepelné energie, uvedené v [1] a [2] a to:

- akumulace citelného, nebo-li zjevného tepla (sensible heat);
- akumulace latentního tepla (latent heat);
- akumulace termochemickými procesy.

U obvyklých stavebních materiálů lze uvažovat s akumulací pouze citelného tepla. Dodané teplo se projeví zvýšením teploty látky. Tento způsob

akumulace tepelné energie je nejnámější a naše smysly také dokáží dobře vnímat množství akumulované energie právě prostřednictvím změny teploty materiálu. Pro akumulaci citelného tepla můžeme využívat jak pevných, tak tekutých látek. Akumulace citelného tepla je nejméně účinnou metodou skladování tepelné energie, protože je k němu potřeba velké množství akumuláčního materiálu. Pokud je překročen teplotní interval akumuláčního média, mohou nastat velké problémy s kontrolou a regulací při zpětném získávání tepla.

Akumulace tepelné energie při použití materiálů s fázovou změnou je odlišná oproti klasickým stavebním materiálům v tom, že pro akumulaci energie se využívá mimo prostého ohřevu látky vratných skupenských změn. Nejběžnější je využívání transformace z pevného stavu na kapalný a obráceně, ačkoliv transformace pevná látka – pevná látka byla rovněž zkoumána. Při fázové změně kapalina – plyn nebo pevná látka – plyn je možno ze všech způsobů akumulace na bázi latentního tepla nakumulovat nejvíce energie. Ale skladování plynné fáze je obtížné a náročné na prostor.

U materiálů s fázovou změnou dochází nejprve k ohřevu na teplotu tání. Poté dochází ke skupenské změně, která je doprovázena velkou spotřebou energie, kterou tyto materiály odebírají z okolního prostředí. Po změně pevného skupenství v kapalné jsou tyto látky schopny přijímat tepelnou energii tím, že dochází k ohřevu látky v kapalném stavu. Akumulované latentní teplo obvykle převládá, ale citelné teplo může tvořit nezanedbatelnou část celkové akumulované energie. Akumulace latentního tepla je výhodná především pro vyšší tepelně akumuláční kapacitu, čímž lze snížit velikost a hmotnost tepelně akumuláčních prvků.

Právě jako materiály s fázovou změnou poskytují vyšší kapacitní možnosti v porovnání s médiem na bázi tepla citelného, technologie skladování tepelné energie termochemickou cestou má potenciálně ještě větší kapacitu, než je tomu u akumulace prostřednictvím materiálů s fázovou změnou. Termochemické systémy jsou založeny na absorbování energie prostřednictvím přerušení a změn molekulárních vazeb při dokonale vratných chemických reakcích. Využívání tohoto procesu je však v porovnání s ostatními dvěma výše uvedenými systémy v rané fázi.

Tab. 1 Hodnocení rozdílných technik akumulování tepelné energie [1]

Kritérium	Akumulace citelného tepla		Akumulace latentního tepla (pevná látka – kapalina)
	voda	beton	
Teplotní rozsah	limitován (0 až 100 °C)	velký	velký, závisí na výběru materiálu
Měrná tepelná kapacita	vysoká (4,18 kJkg ⁻¹ K ⁻¹)	malá (1,02 kJkg ⁻¹ K ⁻¹)	střední (např. CaCl ₂ · 6H ₂ O – 2,10 kJkg ⁻¹ K ⁻¹)
Akumulace při malých teplotních rozdílech	nízká	nízká	vysoká
Stabilita pro cyklické nabíjení a vybíjení	dobrá	dobrá	k dispozici jsou omezené informace
Potřebný teplotní gradient	velký	velký	malý
Koroze s klasickými konstrukčními materiály	korozi lze omezit přidáním inhibitorů	nezpůsobuje korozi	záleží na materiálu, lze zamezit inhibitory
Životnost	vysoká	vysoká	k dispozici jsou omezené informace
Dostupnost	výborná	výborná	závisí na materiálu
Cena	nízká	nízká	vyšší, závisí na materiálu

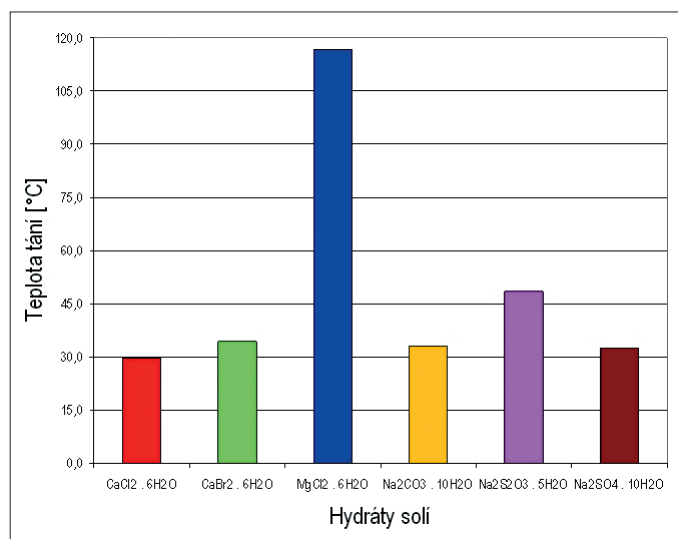
Z tab. 1 je možno vyčíst, jaké výhody má akumulace tepelné energie při využití latentního tepla materiálů s fázovou změnou oproti akumulaci citelného tepla. V současné době je při hodnocení materiálů s fázovou změnou možno vycházet pouze z údajů ze zahraniční literatury, např. [1], [2], [3] z údajů udávaných výrobcí. Bohužel hodnocení zejména z hlediska životnosti je problematické a vyžaduje poměrně rozsáhlý výzkum, který doposud v tuzemských podmínkách chybí.

MATERIÁLY S FÁZOVOU ZMĚNOU

Materiály s fázovou změnou (Phase Change Materials – PCMs), které připadají v úvahu pro praktické aplikace ve stavebních konstrukcích, lze rozdělit na:

- ☐ organické – např. parafíny, polyethylen glykoly, sířované polymery, HDPE;
- ☐ hydráty solí– např. Glauberova sůl, hexahydrát chloridu vápenatého.

Organické materiály s fázovou změnou jsou v porovnání s anorganickými hydráty solí méně tepelně vodivé, mají nižší hustotu, jsou hořlavé a mají více problematických vlastností [2]. Parafíny jsou produkty minerálních



Obr. 1 Teploty tání vybraných hydrátů solí

olejů. Parafíny sestávají z řetězců i-alkanů nebo n-alkanů CH₃ – (CH₂) – CH₃ a odvozuji vznik svého latentního tepla od krystalizace – (CH₂) – řetězce. Parafíny představují slibné médium pro akumulaci tepelné energie i přes nižší objemové hustoty skladované energie, než je tomu např. u solí. Jejich výhodou je však pouze 10% objemová změna při fázovém přechodu. U těchto materiálů nevznikají problémy se separováním některých složek během tání a není třeba k nim přidávat žádné inhibitory.

Polyethylen glykoly mohou být také aplikovány jako materiály s fázovou změnou. Jsou vhodné jako směsi různých dlouhých řetězců oxidovaných ethylen polymerů. Akumulační schopnost závisí na krystalizaci řetězců lineárních polymerů. Tyto materiály mohou nalézt komerční využití ve vytápěcích nebo chladicích systémech, protože je nedostatek kongruentně tajících anorganických solí v rozsahu 0 až 20 °C.

Hydráty solí [2] jsou charakterizovány vzorcem X (Y)_n · m H₂O, kde X (Y)_n je anorganická sloučenina. Hydráty solí jsou materiály s fázovou změnou v současné době komerčně vyráběné a vyvíjené v teplotním rozsahu od 7 do 117 °C. U hodně hydrátů solí dochází při přechodu z kapalného na pevné skupenství k přechlazení v kapalném stavu před zahájením krystalizace. Tzn., že hydráty solí nezačnou tuhnout při teplotě tání, ale teplota látky může před zahájením krystalizace klesnout o několik stupňů níže. V důsledku přechlazení hydráty solí nemohou vybit naakumulovanou energii.

Hydráty solí, jako je dekahydrát síranu sodného nebo hexahydrát chloridu vápenatého, mají vhodnou teplotu fázové změny pro použití jako akumulátory tepelné energie. Jsou výhodné pro vyšší hustotu skladované energie. Všechny materiály by měly být hermeticky uzavřeny v kontejnerech, které mají nízkou prostupnost pro vodní páry. Jako skupina mají hydráty solí vysokou objemovou hmotnost. Hydráty solí jsou obecně kompatibilní s plasty a jsou s výjimkou nitridů nehořlavé.

APLIKACE MATERIÁLŮ S FÁZOVOU ZMĚNOU VE STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍCH

Pro správnou aplikaci materiálů s fázovou změnou ve stavebních konstrukcích je na prvním místě třeba zvolit vhodný typ zapouzdření. Zapouzdření materiálů s fázovou změnou je nezbytné, protože u většiny systémů je využívána fázová změna pevná fáze – kapalina a obráceně.

Materiál pro zapouzdření musí být [3]:

- ❑ chemicky kompatibilní s materiálem s fázovou změnou;
- ❑ schopen přenášet co nejrychleji teplo při nabíjení a vybíjení;
- ❑ stabilní v celém teplotním rozsahu, který lze očekávat při praktickém používání;
- ❑ schopen snášet napětí při změně objemu vlivem skupenské změny;
- ❑ zdravotně nezávadný.

Na počátku osmdesátých let minulého století se začala hodně zapouzdřených produktů úspěšně prosazovat na trhu jak v centrálních, tak lokálních systémech akumulace tepelné energie. Výrobky byly dobře navrženy a vykazovaly potřebné vlastnosti pro praktické použití. Ale jejich potenciální možnost aplikace byla ztížena kvůli jejich nedostatečné univerzálnosti a zabudovatelnosti do stavebních konstrukcí. Teprve nedávno zapouzdřené prvky na bázi PCMs se staly vhodnými pro praxi, protože jsou lépe integrovatelné do stavebních konstrukcí. Nezbytným krokem k úspěchu této technologie je návrh stavebních modulů se zabudovanými PCMs.

Plošné prvky

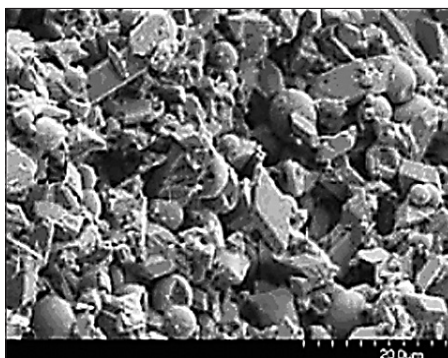
Na konci 70. let 20. století byly vyvinuty horizontálně orientovaných a uzavřených plastových desky [3], které byly určeny pro plnění Glauberovou solí. Valmont Energy System v USA představil na trhu prvky z vysoko hustotního polyethylenu o rozměrech 617 x 315 x 50 mm. Použitým materiálem s fázovou změnou byla směs na bázi Glauberovy soli. Tyto výrobky měly žebrovaný povrch pro zvýšení pevnosti, který rovněž zabezpečoval větší povrch a kanálky pro proudění vzduchu. Po naplnění byly kontejnery uzavřeny plastickými zátkami.

Vaky nebo polštářky plněné materiálem s fázovou změnou

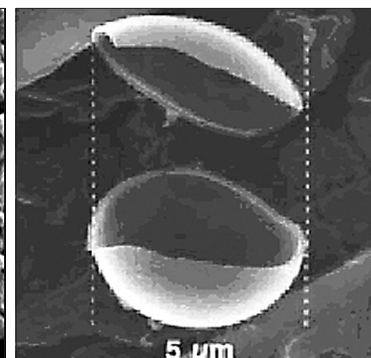
V minulosti využívala americká firma Phase Change Technology, Inc. jako obalový materiál tří vrstvý laminovaný polyesterový film, jehož jednu vrstvu tvoří hliníková fólie nebo pokovený polyester. Ploché vaky byly navrženy pro uložení do meziprostoru u zavěšených stropních podhledů. Rovněž lze takto konstruované výrobky upevnit do dutin betonových bloků ve stropě nebo ve stěnách. Firma Dörken [7] na tuzemském trhu nabízí spojené hliníkové polštářky plněné materiálem s fázovou změnou na bázi hydrátů soli nebo směsných solných hydrátů. Výrobek se dodává pod označením Delta-cool a je balen v aluminiových polštářcích v rozměru 300 x 600 mm, rozdělených na jednotlivé sáčky po 300 x 150 mm. Rozměr je uzpůsoben obvykle používaným rastrům podhledů. Proto je i dodatečné zabudování Delta-cool jednoduchým vsunutím na stropní desky bez problémů. Dobrá tepelná vodivost napomáhá akumulaci energie, proto je výhodné pokládat polštářky ve spojení s kovovými stropními deskami nebo je nechat aktivně obtékat vzduchem. Teplota tání výrobku je 24 °C a teplota počátku krystalizace 22 °C.

Trubice plněné materiálem s fázovou změnou

Velké zkušenosti s vývojem a testováním plastových válcových nádob naplněných PCM vyústily v návrh tzv. tepelných prutů [3]. Tyto prvky jsou tvořeny trubicemi z vysoko hustotního polyethylenu, které jsou naplněny PCM a hermeticky uzavřeny. Firma Energy Systems, Inc. (USA) vyrábí a prodává tzv. PSI Energy Rods černé barvy, které jsou z UV stabilizovaného vysoko hustotního polyethylenu. Průměr činí 89 mm a délka 1800 mm. Boardman Energy Systems (USA) nabízí výrobky pod názvem Boardman Energy Tube, které jsou provedeny z nerezové oceli. Jako materiál s fázovou změnou je použita cementem stabilizovaná Glauberova sůl. Trubice jsou nabízeny také s teplotou tání 26, 20, 15 a 7 °C. Například u skladby s Trombeho stěnou mohou být trubice instalovány horizontálně na rámu, jehož vnitřní strana je opláštněna sádkovými deskami a na exteriérové je provedeno zasklení.



Obr. 2 Detail sádrové omítky s obsahem PCM [5]



Obr. 3 Detail Mikrokaple s PCM [5]

Pelety nebo kuličky plněné materiálem s fázovou změnou

Koule má nejmenší poměr plochy k objemu ze všech pevných těles. Tudíž zapouzdřování materiálů s fázovou změnou do koulí vyžaduje nejmenší množství obalového materiálu. Nevýhodou koulí je, že zabezpečují nejmenší přenos tepla přes povrch na jednotku hmotnosti. Firma Penwalt Corp. zapouzdřuje materiál s fázovou změnou do zhruba kulatých pelet o průměru 6,3 až 18,9 mm. Jako obalový materiál používá tuhý polymer, který se liší svou tloušťkou a závisí na způsobu aplikace. Materiál stěn tvoří 15 až 25 % objemu kapslí. Peletizované materiály s fázovou změnou mohou být také zabudovány do stavebních materiálů, jako je beton nebo sádkovokarton, čímž vznikne efektivní tepelně akumulující stěna. V současné době se testuje na Fakultät Bauingenieurwesen an Bauhaus Universität ve Weimaru v SRN sádrová omítka Maxit Klima, ve které je rozptýleno 20 hm.% zapouzdřeného materiálu s fázovou změnou na bázi parafínů firmy BASF [4], [5].

Francouzská firma Cristopia [6] nabízí koule, jejichž obalový materiál je tvořen směsí polyolefinů. Akumulace tepelné energie je možná ve velkém rozsahu pracovních teplot od -33 do +27 °C. Koule jsou vyráběny ve třech velikostech o průměrech 77, 78 a 98 mm. Mechanické a chemické vlastnosti koulí jsou plně adaptovatelné pro podmínky, ve kterých budou používány. Životnost těchto výrobků je větší než 20 let při běžném použití. Koule snáší 10 000 pracovních cyklů bez porušení. Navíc polyolefinový materiál je zcela neutrální k eutektickým solím a k teplotně odolným mediím. Vzduchová kapsa uvnitř kuličky je určena pro zachycení expanze při fázové přeměně a díky ní je vyvíjen malý tlak na obal.

Další firmou, která v Evropě vyrábí výrobky na bázi materiálů s fázovou změnou, je německý Rubitherm [8]. Firma nabízí materiály s fázovou změnou na bázi parafínů. Výrobky mají formu granulátů nebo pudrů. Výborné uplatnění nacházejí granuláty při plnění prostorů kolem trubek podlahového vytápění pro zvýšení tepelné setrvačnosti otopné soustavy.

Tento článek vznikl s podporou projektu 103/07/0907 Grantové agentury ČR.
Kontakt na autora: ostry.m@fce.vutbr.cz

Použité zdroje:

- [1] Garg, H., Mullick, S., Bhargava, A.: *Solar Thermal Energy Storage*. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland 1985.
- [2] Lane, G.: *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Volume I : Background and Scientific Principles*. CRP Press, Inc. Boca Raton, Florida 1983
- [3] Lane, G.: *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Volume II : Technology*. CRP Press, Inc. Boca Raton, Florida 1983
- [4] Ostrý, M.: *Disertační práce Vliv materiálů s fázovou změnou na vnitřní mikroklima*, Brno 2005
- [5] Prohaska, S.: *Diplomarbeit Untersuchung zum thermischen Verhalten der Raumlufttemperatur unter dem Einfluss PCM-haltiger Begrenzungsflächen in einer Versuchsbox eingereicht*, Weimar 2003
- [6] <http://www.cristopia.com/>
- [7] <http://www.doerken.de/>
- [8] <http://www.rubitherm.com/>