

# MOŽNOSTI ZA ZMANJŠANJE POTREBE PO OGREVALNI ENERGIJI S POVEČANJEM TOPLOTNE KAPACITETE STAVBE

## POSSIBILITIES FOR REDUCTION OF DEMAND FOR HEATING ENERGY WITH ENLARGEMENT OF THERMAL CAPACITY OF BUILDING

**dr. Azra Korjenic, univ. dipl. inž.**

azra.korjenic@tuwien.ac.at

**prof. dr. Jürgen Dreyer, univ. dipl. inž.**

juergen.dreyer@tuwien.ac.at

Inštitut za gradnjo in tehnologijo stavb,

Oddelek za gradbeno fiziko in akustiko, Tehniška univerza Dunaj,  
Karlsplatz 13/206-2, 1040 Vienna, Austria

**Znanstveni članek**

UDK: UDK: 699.86

**Povzetek** | Glavni lastnosti kvalitete zraka v notranjih prostorih sta temperatura in vlaga. V novih ali starih stavbah so temperature zelo pogosto previsoke ali preveč spremenljive. Spuščen strop s fazno spremenljivimi materiali – PCM (*Phase Changed Material*) – ugodno vpliva na preprečevanje previsokih temperatur v notranjih prostorih. Dodaten toplotni prenosnik na zunanji strani stavbe lahko z nočnim delovanjem in ohlajanjem PCM poveča učinkovitost sistema, tako da je po tem ohlajanju na voljo celotna toplotna kapaciteta hranilnika. Nadalje velika toplotna kapaciteta PCM zmanjša potrebe zgradb po ogrevalni energiji.

**Summary** | Temperature and humidity are the main properties of the indoor air quality. In new and old buildings the temperature is very often too high or varies too strongly. A suspended ceiling with phase change materials has a good influence to prevent too high indoor air temperatures. An additional heat exchanger at the outside of the building can increase the efficiency of the system by working in the night and cooling down the phase change material (PCM), so that after this cooling the full heat storage capacity is attainable. Further, a great heat storage capacity of phase change materials decreases the heating energy demand of buildings.

### 1 • UVOD

V izogib neugodnim zračnim razmeram so v stavbah zelo pogosto potrebni klimatizacijski sistemi. Toplotna kapaciteta stavbe ima

izravnalni vpliv na nihanje temperature. Materiali PCM (*Phase Changed Material*) pomembno povečajo toplotno kapaciteto (Lane,

1983). Dodatno je lahko delovni razpon sistema prilagojen razmeram v zaprtih prostorih, saj je točko fazne spremembe možno prilagoditi s tipom PCM. Izboljšanje kvalitete zraka v zaprtih prostorih s shranjevalnim učinkom PCM je zanimivo, saj ta deluje pasivno in brez toplotnih črpalk.

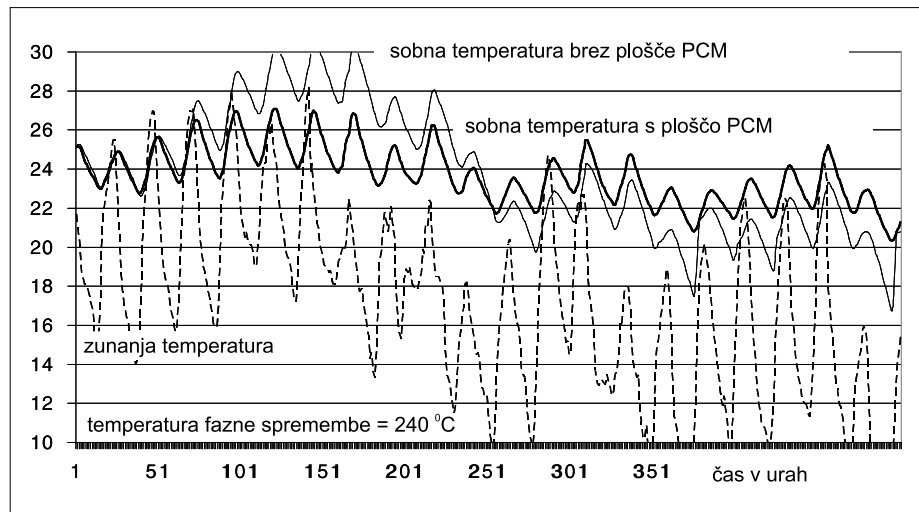
## 2 • RAZVOJ SISTEMA ZA SHRANJEVANJE TOPLOTE

Prva aplikacija je materiale PCM uporabila v obliki dodatkov h gradbenim materialom ((Kornadt, 2005), (Zubillaga, 2006), (Virgone, 2006), (Stritih, 2006), (Kalousek, 2006)). Za nadaljnje izboljšave so bili materiali PCM vgrajeni v ploščo, tako da je lahko uporabljenega več materiala in da je prenos toplote večji. Spuščen strop s PCM je odličen primer uporabe. Shranjevalec toplote v spuščnem stropu zniža temperature in časovno obdobje s temperaturami, ki so višje od tistih, ki še zagotavljajo ugodje. Na sliki 1 je prikazana sprememba temperature z in brez spuščnega stropa z materialom PCM. V obdobju shranjevanja toplote je rast temperature omejena. Če je sposobnost shranjevanja izčrpana in je ves material stopljen, je učinek zmanjševanja temperature ustavljen. V obdobju nižjih temperatur bo hrabna kapaciteta spei razbremenjena. V tem času latentna toplota fazno spremenljivih materialov segreje prostor in temperatura ne pade tako veliko. Učinek shranjevanja toplote fazno spremenljivega materiala se lahko uporabi kot odličen blažilec, ki lahko prepreči

previsoke ali prenizke temperature v notranjih prostorih.

Da bi ugotovili najboljše načine uporabe materialov PCM pri blaženju temperaturnih sprememb in izogibanju neugodnim visokim

temperaturam v zaprtih prostorih, je treba preučiti kvalitete sistema in medsebojne vplive. Učinkovitost uravnavanja temperature v zaprtih prostorih je odvisna od kvalitete stavbe in klimatskih pogojev, od prenosa toplote med notranjim zrakom in sistemom za shranjevanje toplote in toplotno kapaciteto oziroma maso fazno spremenljivih materialov.



Slika 1 • Odvisnost temperature in časa v poletnem mesecu z in brez stropa s sposobnostjo shranjevanja toplote iz materialov PCM

## 3 • MODELIRANJE PROCESA

Razvit je bil model za opis procesov in učinkov in za izračun temperature v notranjih prostorih. Temperatura v notranjih prostorih je rezultat ogrevanja, ohlajanja, toplotnih izgub toplotnih zalog in toplotnega dobitka. Učinkovitost naprave je možno obravnavati v zvezi z izmenjavo toplote, temperature fazne spremembe in toplotno kapaciteto materialov PCM.

Ogrevalni in ohlajevalni sistemi se uporabljajo za uravnavanje temperature v zaprtih prostorih. Enačba (1) opisuje ogrevalno in ohlajevalno moč  $Q$  (W) klimatizacijskih sistemov.

$$Q_{ogrev} = \alpha_i \cdot A_{ogrev} \cdot (t_{ogrev} - t_{notr}) \quad \text{in}$$

$$Q_{ohlaj} = \alpha_i \cdot A_{ohlaj} \cdot (t_{ohlaj} - t_{notr}) \quad (1)$$

Izmenjava toplote med prostorom in sistemom je opisana s koeficientom prenosa toplote  $\alpha_i$  ( $W/m^2K$ ), temperaturami prostora in ogrevalnega in ohlajevalnega sistema  $t$  (K) in površinami ogrevalnega ali ohlajevalnega sistema  $A$  ( $m^2$ ). Toplotna izguba prostora je

izražena v enačbi (2), kjer je  $Q_{prenos}$  toplotni tok s prenosom,  $U$  ( $W/m^2K$ ) toplotna prehodnost za steno in okno ter  $t$  temperatura notranjega in zunanjega zraka.

$$Q_{prenos} = U_{stena} \cdot A_{stena} \cdot (t_{notr} - t_{zunan}) +$$

$$U_{okno} \cdot A_{okno} \cdot (t_{notr} - t_{zunan}) \quad (2)$$

Enačba (3) opisuje toplotno izgubo s prežračevanjem  $Q_{prezr}$ . Toplotna izguba je odvisna od menjave zraka v eni uri  $n_{prezr}$  (1/h), toplotne kapacitete zraka  $c$  ( $J/kg.K$ ) in gostote zraka  $\rho$  ( $kg/m^3$ ), volumna zraka v zaprtim prostoru in razlike v temperaturah zraka v prostoru  $t_{notr}$  (K) in zunanjim zrakom  $t_{zunan}$ .

$$Q_{prezr} = n_{prezr} \cdot C \cdot \rho \cdot V_{notr} \cdot (t_{notr} - t_{zunan,zrak}) \quad (3)$$

Nadalje je treba upoštevati toplotni dobitek preko sevanja skozi okna. Ta učinek je odvisen od intenzivnosti sevanja  $q_{sonsev}$  ( $W/m^2$ ), koeficienta senčenja  $z$ , koeficienta orientacije okna  $f_o$ , transmisijskega koefi-

cienta stekla  $g$  in aktivne imisijske površine okna  $A_{imis}$  ( $m^2$ ).

$$Q_{sevprib} = q_{sonsev} \cdot z \cdot f_o \cdot g \cdot A_{imis} \quad (4)$$

Temperatura zraka v notranjem prostoru je rezultat toplotne oskrbe in toplotne izgube  $\{\sum Q_i \Delta \tau_i\}$ , na kar vpliva toplotna kapaciteta prostora  $\{\sum c_j m_j\}$ .

$$t_{prost(n+1)} = t_{prost(n)} + \{\sum Q_i \Delta \tau_i\} / \{\sum c_j m_j\} \quad (5)$$

V primeru spuščnega stropa z materiali PCM obstaja dodatna izmenjava toplote med zrakom v notranjem prostoru in sistemom PCM, izražena je s koeficientom prenosa toplote  $\alpha_i$ , površino spuščnega stropa  $A_{PCM}$  in temperaturno razliko med zrakom v notranjem prostoru in sistemom PCM. Učinek shranjevanja toplote PCM stropa je omejen. Zato je nujno treba upoštevati, da energija, shranjena v stropu  $Q_{PCM}$ , ne more biti večja kot talilna toplota  $Q_{PCM,max}$  celotne mase PCM ( $Q = c \cdot m \cdot \Delta \tau$ ).

$$Q_{PCM} = \alpha_i \cdot A_{PCM} \cdot (t_{PCM} - t_{notr}) \quad \text{in} \quad 0 \leq Q_{PCM(n+1)} =$$

$$= Q_{PCM(n)} + c_{PCM} \cdot m_{PCM} \cdot \Delta T \leq Q_{PCM,max} \quad (6)$$

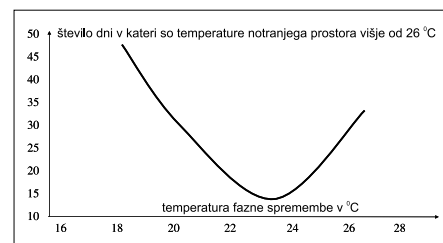
Razumljivo je, da mora biti shranjevalni učinek dovolj velik, da pride do učinka temperaturne izravnave. Zato je potrebna zadosti velika toplotna kapaciteta oziroma zadostna masa. Po drugi strani je možno uporabiti kapaciteto hrambe toplote učinkovitejše z dodatnim nočnim ohlajanjem sistema. Na ta način je možno, da je po veliki dnevni toplotni obremenitvi toplota ponoči oddvajana proč in je celotna kapaciteta hrambe toplote na razpo-

lago naslednji dan. Da bi lahko to možnost koristili, mora biti toplotni prenosnik nameščen znotraj PCM in na zunanji površini stavbe. Izmenjava toplote zunaj  $Q_{\text{zun.ohl}}$  je določena s koeficientom prehoda toplote  $\alpha_z$ , površino izmenjevalca toplote  $A_{\text{zun.ohl}}$  in temperaturno razliko med zunanjim zrakom in sistemom PCM.

$$Q_{\text{zun.ohl}} = \alpha_z \cdot A_{\text{zun.ohl}} \cdot (t_{\text{PCM}} - t_{\text{zun.zrak}}) \quad (7)$$

Ta opis in enačbe predstavljajo zelo osnovno predstavitev uporabljenega modela za preiskovanje sistema. Pri uporabi teh enačb je treba upoštevati odvisnost koeficientov od temperature in hitrosti zraka. Nadalje je treba preveriti čas in časovne korake, na katere se sistem enačb nanaša. Po drugi strani so procesi dovolj dovršeni, da je teoretično možno prikazati vse pomembne posledice. Zato rezultat predstavlja učinke dovolj dobro.

načini optimizacije lastnosti materialov so prikazani na sliki 2.



Slika 2 • Vpliv temperature taljenja PCM na število dni z notranjimi temperaturami, višjimi od 26 °C

izmenjavo toplote ponoči in učinkovitostjo sistema brez dodatne izmenjave toplote. Slika 4 prikazuje rezultate preiskave o vplivu količine PCM na zmanjšanje časa s previsokimi temperaturami notranjega zraka.

Število dni s temperaturami, višjimi od 26 °C, se bolj zmanjša, če je uporabljen dodaten prenosnik toplote. Prenos toplote in učinek shranjevanja toplote sistema PCM je lahko optimiziran. Sistem za shranjevanje je opazno bolj izkoriščen in izravnalni učinek dosežen z manj mase, če je uporabljen dodaten izmenjevalec toplote. Posebno v primeru majhne količine PCM je učinek večji.

## 4 • VPLIV TEMPERATURE FAZNE SPREMEMBE

Učinkovitost naprave je odvisna od toplotne izmenjave, temperature fazne spremembe in toplotne kapacitete oziroma mase materialov PCM. Slika 2 prikazuje število dni, v katerih je temperatura notranjega prostora višja od 26 °C. Če je temperatura fazne spremembe nizka, je kapaciteta shranjevanja toplote prezgodaj izčrpana. Če je temperatura fazne spremembe previsoka, se učinek izogibanja visokim temperaturam začne prepozno,

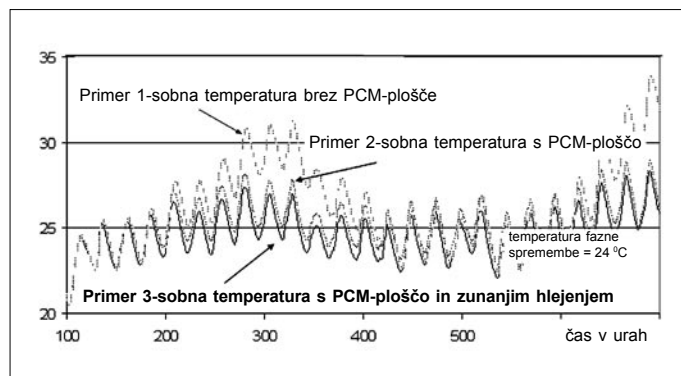
zmanjševalni vpliv pa je premajhen. Blažilni učinek za izogibanje notranjim temperaturam, ki so višje od 26 °C, postane učinkovitejši pri temperaturi fazne spremembe 23 °C. Za višje temperature fazne spremembe je učinkovitost blažilnega učinka spet zmanjšana. Temperatura taljenja mora biti izbrana v določenem razmerju do temperaturnega nivoja, ki ne sme biti presežen. Rezultati vpliva fazne spremembe na učinek izravnave temperatur in

## 5 • VPLIV DODATNEGA OHLAJANJA

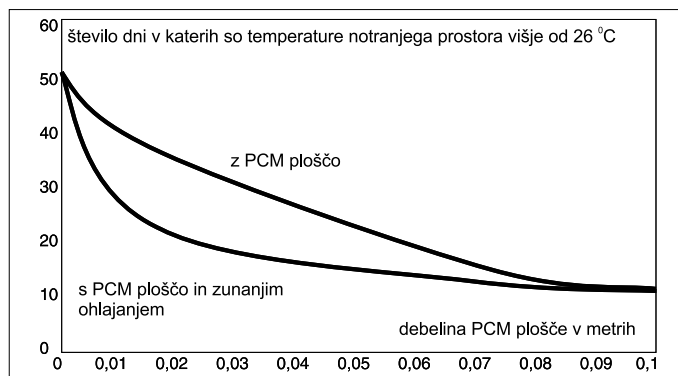
Učinek pasivnega uravnavanja temperature je boljši, če je uporabljen spuščeni strop z dodatnim toplotnim prenosnikom na zunanji strani stavbe. Izmenjevalec toplote je vgrajen v okno. Deluje ponoči in ohlaja material PCM, tako da je ta po hlajenju trden in da je na voljo celotna toplotna kapaciteta hranilnika. Na sliki 3 je prikazano obnašanje temperature notranjega zraka v poletnem času – 40 dni za več primerov. Primer 1 prikazuje temperature brez kakršnih koli vplivov materialov PCM. Primer

2 prikazuje situacijo s spuščnim stropom s fazno spremenljivimi materiali. Primer 3 prikazuje učinek spuščnega stropa s PCM in dodatno izmenjavo toplote ponoči z zunanjim izmenjevalcem toplote. Jasno je razvidno, da je učinek temperaturne izravnave vedno boljši, če je uporabljen sistem za shranjevanje toplote s PCM in če je prav tako uporabljeno dodatno nočno hlajenje.

Učinkovitost dodatne izmenjave toplote je bila raziskana s primerjavo sistema z dodatno



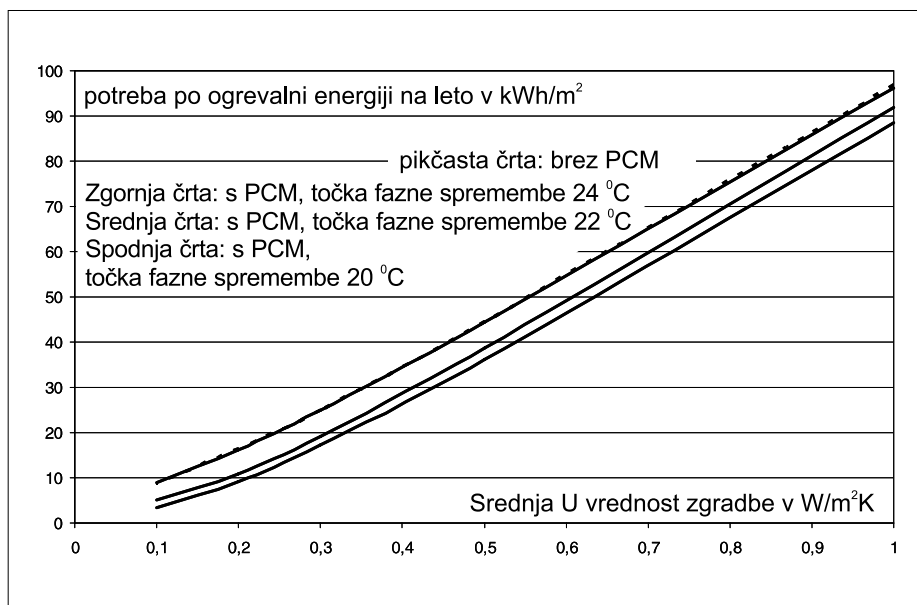
Slika 3 • Vpliv sistema PCM in dodatnega nočnega hlajenja



Slika 4 • Vpliv debeline oziroma količine PCM na zmanjšanje števila dni s previsokimi temperaturami

## 6 • MOŽNOSTI ZA ZMANJŠANJE POTREBE PO OGREVALNI ENERGIJI S PCM

Kapaciteta shranjevanja toplote, ki jo ima stavba, poveča učinkovitost solarnih in notranjih dobitkov. Uporaba PCM lahko izboljša učinek. Na sliki 5 je toplotna potreba stavbe prikazana v odvisnosti od stopnje izoliranosti. Grafikoni prikazujejo zmanjšanje letne potrebe po energiji v primeru večjega učinka shranjevanja toplote s PCM. Pri nižji stopnji izoliranosti so razlike relativno majhne. Za visoke stopnje izoliranosti in nizke transmissijske koeficiente ( $U \approx 0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) je učinek zanimivejši, saj je zmanjšanje relativno večje. Za pasivne hiše z energijsko potrebo, nižjo od  $15 \text{ kWh/m}^2$ , je ta učinek zelo zanimiv, saj večja učinkovitost lahko še nadalje zmanjša potrebo po energiji. Pomembna je odvisnost temperature fazne spremembe. Učinek je boljši, če je temperatura fazne spremembe nižja. V primeru, ko je temperatura fazne spremembe v razponu  $19^\circ\text{C}$ – $20^\circ\text{C}$ , je lahko učinek shranjevanja toplote tako velik, da ogrevalna energija skoraj ni potrebna.



Slika 5 • Zmanjšanje potrebe po ogrevalni energiji z uporabo PCM za različne temperature fazne spremembe v odvisnosti od srednje U-vrednosti stavbe

## 7 • POVZETEK

Fazno spremenljivi materiali – PCM (Phase Changed Materials) – povečajo toplotno kapaciteto stavbe. Učinek shranjevanja toplote je

v določenih temperaturnih lestvicah zelo visok in PCM je lahko uporabljen kot odličen sistem za dušenje previsokih ali prenizkih temperatur

notranjega zraka na pasiven način. Energijska potreba za zimsko ogrevanje in poletno ohlajanje je lahko zmanjšana, če ima stavba visoko kapaciteto za shranjevanje toplote.

## 8 • VIRI, LITERATURA

Lane, G. A., Latent Heat Storage, Background and Scientific Principals, Volume 1, U.S.A CRC Press, 1983.

Kornadt, O., Einfluss von Phasenübergangsmaterial zur Verbesserung des Raumklimas, WKS, 50, Jahrgang, Heft 54, 2005.

Zubillaga, O., Marcos, J., Cano, F., Cabeza, L. F., Microcapsulated Phase Change Materials (PCM) for Energy-Efficient Buildings, Healthy Buildings Proceedings, Abstracts, 2006.

Virgone, J., Kuznik, F., Effect of PCM in Internal Temperature: Experiments in the Test Room MINIBAT, Healthy Buildings Proceedings, Volume II, 2006.

Stritih, U., Butala, V., Improving Indoor Comfort with PCM Cold Storage, Healthy Buildings Proceedings, Volume II, 2006.

Kalousek, M., Beckovsky, D., Thermal Comfort of Lightweight Building in Summer Time, Healthy Buildings Proceedings, Volume II, 2006.