

АНАЛИЗА МОГУЋНОСТИ ПОВЕЋАЊА ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ЗГРАДА ПРИМЕНОМ ФАЗНО-ПРОМЕНЉИВИХ МАТЕРИЈАЛА

Сања Ваван Вучељић,
Архитектонски факултет Универзитета Унион у Београду

рад примљен: септембар 2009., рад прихваћен: новембар 2009.

Апстракт

Употреба енергетски ефикасних технологија базираних на фазно променљивим материјалима у реконструкцији постојећих и изградњи нових архитектонских објеката, поред унапређења унутрашњег комфора, уштеде енергије и новца, доприноси и повећању њихове тржишне вредности. Иако ове нове технологије убрзаним развојем постају све јефтиније и исплативије, њихова употреба у архитектури је ограничених размера, због недостатка знања о њиховим променљивим особинама и динамичном понашању под утицајем спољних стимуланса. Фазно променљиви материјали у току промене фазног (агрегатног) стања реверзибилно размењују енергију са својом околином и складиште је у форми латентне топлоте, при чему температура материјала остаје константна. Због својих особина да апсорбују и ослобађају енергију на предвидивим температурама, они су веома ефикасни у контроли и одржавању топлотног окружења у згради. Микрокапсулирани фазно променљиви материјали са пуњењем на бази парафина, уграђени у малтере, зидове, гипсане плоче, система застакљења, плафоне или у подове, обезбеђују пасивну климатизацију унутрашњих простора и смањење потрошње енергије у зградама. Топлотне карактеристике постојећих зграда се такође могу унапредити, повећавањем њихове топлотно-складишне масе, уградњом производа од фазно променљивих материјала, што доприноси смањењу употребе енергије добијене из фосилних горива и ослобађања CO_2 у атмосферу.

Кључне речи: паметни материјали и технологије, компоненте и системи зграда, промене у енергетском окружењу, енергетска ефикасност, обновљиви извори енергије

ANALYSE OF POSSIBILITIES OF INCREASING HOUSING ENERGY EFFICIENCY BY APPLICATION OF PHASE-CHANGING MATERIALS

Abstract

Refurbishment of existing building stock using energy-saving phase-changing smart materials and technologies, in addition to improved indoor climatic conditions, offer an opportunity for increasing housing energy efficiency and value. This fast developing technology becomes increasingly cost-effective with much shorter payback periods. However, it is undertaken only on a limited scale; because of lack of knowledge about their changeable properties and dynamism in that they behave in response to energy fields. Main characteristics, which make them different from others, are: immediacy, transience, self-actuation, selectivity and directness.

Phase change processes invariably involve the absorbing, storing or releasing of large amounts of energy in the form of latent heat. These processes are reversible and phase-changing materials can undergo an unlimited number of cycles without degradation. Since phase-changing materials can be designed to absorb or release energy at predictable temperatures, they have naturally been explored for use in architecture as a way of helping deal with the thermal environment in a building. Technologies based on sealing phase-changing materials into small pellets have achieved widespread use in connection with radiant floor heating systems, phase change wallboards, mortar or facade systems. Thermal characteristics of existing buildings can be improved on increasing their thermal-stored mass by implementation products of phase-changing smart materials. In addition to contributing to carbon reduction and energy security, using phase-changing materials in the building sector stimulates innovations.

Key words: Smart materials and technologies, changes in energy environment, energy efficiency, building components and systems, alternative energy sources

Увод

Зграде и живот у њима су се много променили у последњих 30 година. Осим неколико посебних изузетака, то нису специфични објекти и типови кућа који дефинишу наше време, већ су то изнад свега промене у технологији и аутоматизацији. Изградња енергетски ефикасних зграда применом иновативних грађевинских материјала, који унапређују њихове енергетске перформансе, је један од најефикаснијих начина за уштеду енергије.

Употреба фазно променљивих материјала, као материјала који складиште латентну енергију, је ефикасан вид чувања топлотне енергије.

У току промене фазног (агрегатног) стања фазно променљиви материјали реверзибилно размењују енергију са својом околином, складиштећи је у форми латентне топлоте, при чему температура материјала остаје константна. Апсорпција и ослобађање енергије се догађају на тачно одређеним, од материјала зависним температурама. Зато су само они фазно променљиви материјали, који имају фазну промену близу температуре угодне за боравак људи ($20-26^\circ\text{C}$) ефикасни у контроли и одржавању топлотног окружења у згради.

Повећавањем капацитета складиштења топлоте у зградама уграђивањем фазно променљивих материјала у њихове компоненте, вишак топлоте може бити ускладиштен и ослобођени касније, када се за то укаже потреба.

Применом фазно променљивих материјала може се смањити енергетска употреба дискретним деловањем само тамо где је неопходно, тј. на угроженим спољним или преградним зидовима, плафонима или подовима, повећавањем њихове топлотне масе. Особине фазно променљивих материјала диктиране су на микро нивоу и догађају се у молекуларној

структури материјала, па би се архитекте приликом примене ових материјала требали фокусирати више на то шта они могу да постигну у свом непосредном окружењу у енергетском смислу. Зато позитивне ефекте фазно променљивих материјала, у ширем смислу и обиму, треба тражити у односу на појаве које изазивају у људском окружењу. Примена фазно променљивих материјала у архитектонским објектима омогућава коришћење топлотне енергије минимализујући потребу за грејањем и тиме енергетску употребу у току зиме, а у току лета обезбеђује заштиту од превеликог загревања зграде, што за последицу има смањену употребу електричне енергије за потребе рада расхладних клима уређаја.

Уграђивањем фазно променљивих материјала у зграде најзначајнија енергетска уштеда се постиже у прелазним периодима између најтоплијих и најхладнијих годишњих доба, касног пролећа и лета и касне јесени и зиме, јер смањују максималне температурне скокове и падове, уједначавајући климатске услове у унутрашњости зграде. Зато нема потребе да се покреће цео гломазни централизовани HVAC систем да би се почетком зиме загрејала неколицина просторија на северној страни зграде или почетком лета расхладиле неке друге, на јужној страни зграде, што све за последицу има уштеду електричне енергије добијене из фосилних горива, која је неопходна за покретање HVAC система у згради.

ФАЗНО ПРОМЕНЉИВИ МАТЕРИЈАЛИ

Фазно променљиви материјали реверзибилно складиште/ ослобађају топлотну енергију, као одговор на енергетске промене у свом окружењу. Сви материјали могу постојати у различитим физичким стањима: гасовитом, течном и чврстом, која су позната као фазе. Промене температуре или притиска у окружењу узрокују кидање молекуларних веза у

структури материјала, што доводи до промене физичког стања (фазе) материјала тзв. фазне промене. Фазно променљиви процеси укључују упијање, чување и ослобађање одређене, од молекуларне структуре зависне, количина енергије у облику скривене топлоте. Да би се материјал променио из чврстог у течном и даље из течном у гасовитом стању, мора бити апсорбована одрђена количина топлотне енергије. Када се материјал враћа из гасовитог у течном, а затим у чврстом стању, та енергија бива ослобађена у околни простор. Ови процеси су повратни, и фазно променљиви материјали могу претрпети неограничени број циклуса, без деградације. Фазне промене из чврстог у течном или из течном у гасовитом, и обрнуто, настају на прецизно одређеним температурама, различитим за различите врсте материјала. То значи да се апсорпција или ослобађање енергије може унапред дефинисати комбиновањем материјала са различитим тачкама топљења.

На одређеној, од материјала зависној температури, долази до кристалзације ових материјала уз истовремено ослобађање исте количине топлотне енергије, која је раније, на вишој температури, преузета и ускладиштена. Иницијално, фазно променљиви материјали се понашају као и остали материјали; загревањем под утицајем повишене температуре у окружењу и њихова температура расте, док не достигне температуру на којој мењају стање тзв. тачку топљења (сл.1), апсорбујући одређену количину топлоте, а да се они сами више не загревају. Када амбијентална температура у окружењу фазно променљивог материјала падне, он почиње да очвршћава, отпуштајући своју латентну топлоту. Док фазно променљиви материјал апсорбује и емитује топлоту у току фазне промене, сам одржава готово константну температуру, па су ови материјали веома ефикасни унутар опсега толеранције за људски комфор у опсегу од 20°C до 26°C.



Сл.1.

Како раде фазно променљиви материјали

Fig. 1.

How phase changing materials work

(Axel, Ritter. (2007), *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)

Фазно променљиви материјали од интереса за употребу у архитектури су (Axel, 2007):

- Органски
 - Парафини и парафинске мешавине
- Неоргански
 - Хидратизоване соли и њихове мешавине
 - Силикати

Минерални воскови, укључујући и парафин, се добијају из петролеја и природних минерала (Schwartz, 2002). Органски фазно променљиви материјали су скупи и складиште/ослобађају просечну количину топлоте по запреминској јединици. Већина њих је у природним условима запаљива.

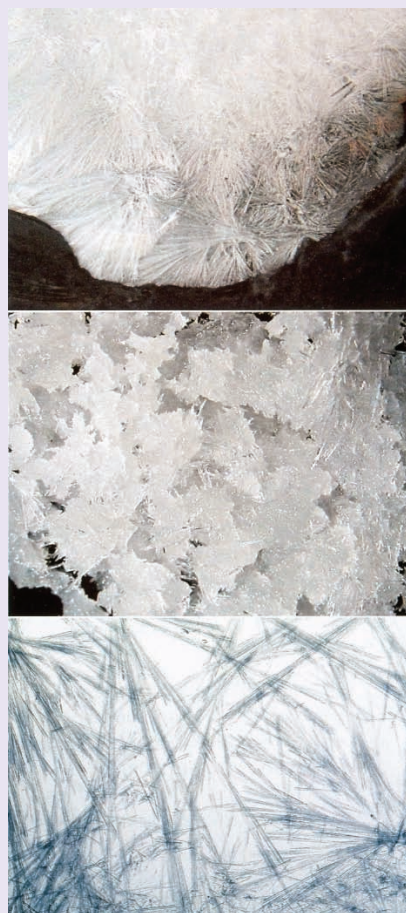
Неорганске фазно променљиве хидратизоване соли (сл.2) су стабилније, не загађују околину, нису отровне, и спремне су за биоразградњу. Погодније су за уградњу у грађевинске материјале од органских, јер имају повољнији топлотни трансфер и мању запаљивост. Ипак нису стабилне у воденим срединама и испарењима, па морају бити заштићене од негативних утицаја из окружења.

Силикати се употребљавају, као носећи медијум за уградњу различитих фазно променљивих материјала, у пропорционалном односу 40% према 60% са композитним материјалом (гипсом, цементом).

ПРОИЗВОДИ ОД ФАЗНО ПРОМЕНЉИВИХ МАТЕРИЈАЛА КОЈИ СЕ УПОТРЕБЉАВАЈУ У АРХИТЕКТУРИ

Употреба материјала са променљивим особинама није иновација модерних времена. Од најраније историје човек је поливао дрво врелом водом да набубри, да би могао да га сече. Избушено борово дрво, црево или дугачка плава људска длака су употребљавани да би се одредио проценат влаге у ваздуху. Промена у дужини два различита метала спојена један уз други, као реакција на топлоту, се користила од почетка индустријске револуције као термоелектрични прекидач. Због својих особина да апсорбују и ослобађају енергију на предвидивим температурама, фазно променљиви материјали се у архитектури употребљавају у системима који регулишу температуру у згради, као температурно-регулациони медији, нпр. као скривени складишни медији за топлоту, коју испуштају по потреби, у сврху регулисања температуре у просторији у зони комфора између 20°C и 26°C (сл.3).

Schwartz, Mel. (2002) наводи да је латентна топлота потребна за изазивање промене фазе у материјалу много већа од специфичне топлоте фазно променљивог материјала. Отуда фазно променљиви материјал ефективно повећава термичку масу грађевинског материјала, када се температура повиси изнад или испод његове прелазне температуре.

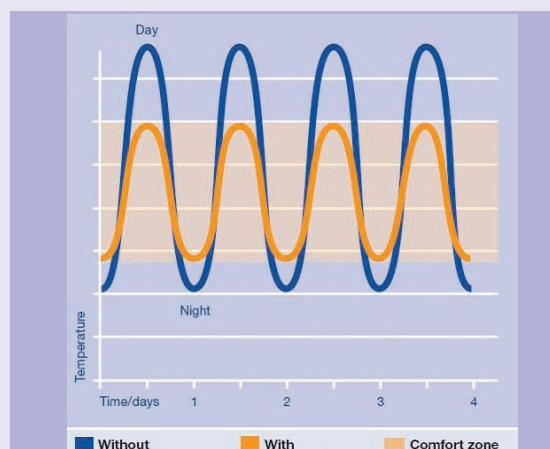


Сл.2. Микроскопске фотографије кристала хидратизованих соли пре и после загревања

Fig. 2. Microscopic photos of crystals of hydrate salts before and after heating

(Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)

Стаклена фасада



Без фазно променљивог материјала

Са фазно променљивим материјалом

Зона комфора

Сл.3. Приказ активне климатске контроле: фазно променљиви материјали смањују температурне максимуме

Fig. 3.

Active climate control : phase change materials reduce temperature picks (<http://www.basf.com>)

Материјал	Тачка топљења (°C)	Топлота топљења (кЈ/кг)	Специфична топлота (кЈ/кг°C)	Густоћа (кг/м ³)
Вода	0	333.6	2.05/4.18	999/1000
Органски фазно пром. материјали				
Лаурик ацид	41-43	211.6	1.76/2.27	1007/862
Триметилолетан (63%)+вода (37%)	29.8	218.0	2.75/3.58	1120/1090
Неоргански фазно пром. материјали				
Mn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O+ MnCl ₂ ·4H ₂ O	15-25	125.9	2.34/2.78	1795/1728
Sodijum silikat Na ₂ SiO ₃ ·5H ₂ O	48	267.0	3.83/4.57	1450/1280
Грађевински материјали				
Цинк	419.5	112.	0.390/	7140/
Алуминијум	660.	397.	0.897/	2700/

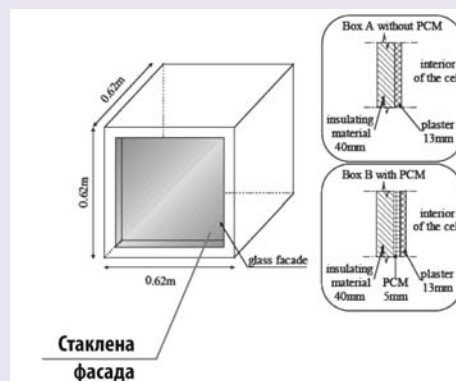
Сл. 4. Табеларни приказ термо - физичких особина појединих фазно променљивих материјала

Fig. 4. Table shows thermo-physical properties of selected PCMs (phase change materials)

Kuznik, F. Virgone, J. Reisdorf R. (2007) су презентовали експеримент, који су назвали MICROBAT, са две кутије направљене према шематском приказу на слици 5, које се разликују по томе што су зидови једне од њих додатно обложени релативно флексибилном полимер мембраном у чијем саставу фазно променљиви материјал чини 60% и чија је температура топљења 22°C. Предња страница је обложена стаклом. Обе кутије су смештене у клима коморе у којима је контролисано мењана температура. Обе кутије су изложене истим спољним условима у смислу температуре и светлосног зрачења (вештачко осветљење, које симулира сунчево зрачење), које улази кроз стакло.

Сл.5. Шематски приказ кутија употребљених у експерименту

Fig.5. Description of the experimental test cells

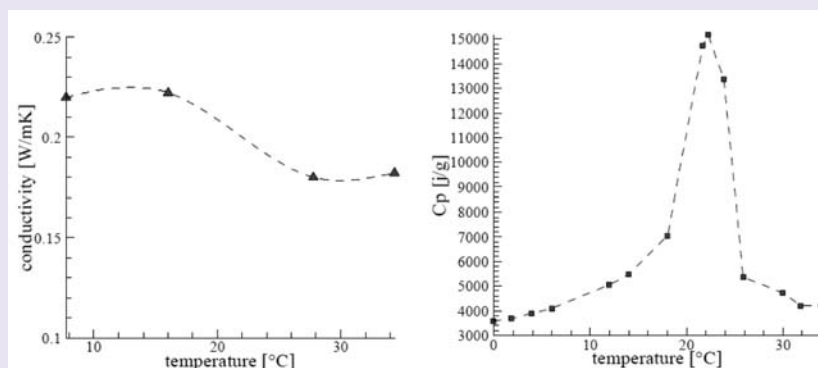


Сл. 6.

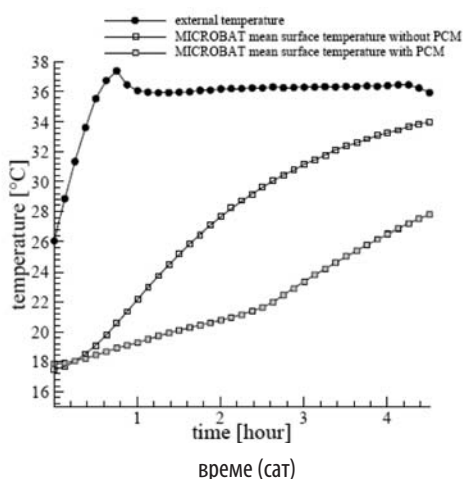
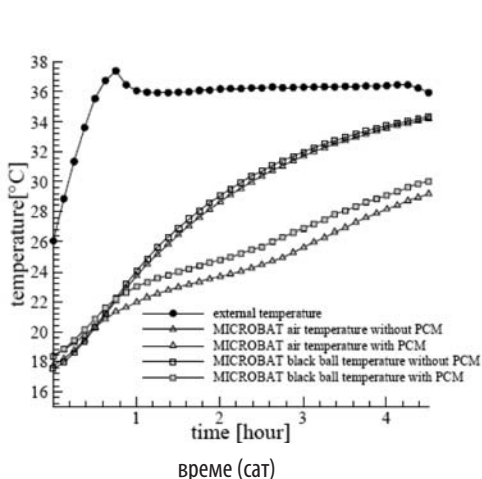
Графикони показују експериментално утврђени капацитет и топлотну проводљивост мереног узорка

Fig. 6

Table shows the experimental heat capacity measured by differential scanning calorimetry system and the experimental thermal conductivity of a polymeric membrane, relatively flexible, of 5mm thickness.



Сл. 6. показује резултате добијене за различите мерене температуре. Коцка са уграђеним фазно променљивим материјалом има за 5°C мањи температурни максимум, него што га има друга коцка. Температура зидних површина коцке са уграђеним фазно променљивим материјалом је нижа за 6°C у тачки са максималном вредношћу температуре.



Сл.7. Приказ добијених резултата у току температурних промена: температура ваздуха (лево) и температура мерена на површини испитиваног узорка (десно) Fig.7 Results obtained for the temperature step: air volume temperature (left) and mean surface temperature (right)

Експеримент показује позитиван утицај фазно променљивих материјала на услове у окружењу смањењем максималне температуре ваздуха и површинске температуре зида.

Капсулација фазно променљивих материјала

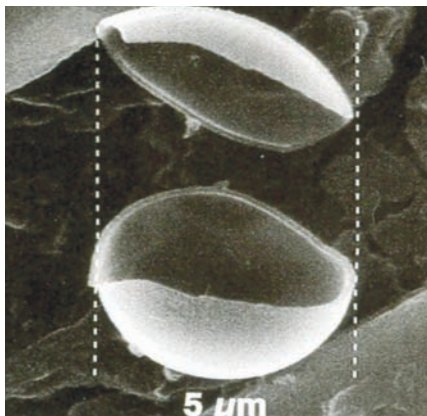
Практични изазов проналажења сигурног начина уградње и чувања парафина, због његове запаљивости, у друге грађевинске материјале, решен је његовом микро и макро капсулацијом (сл.8). Микрокапсулацијом мале округле или цевасте честице материјала се затварају у танки полимер филм велике молекуларне тежине. Овако затворене честице могу бити уграђене у сваку матрицу, компатибилну са капсулираним филмом.

Микрокапсулирани фазно променљиви материјал настаје убацивањем микроскопски малих капљица парафина у нерazorиве омотаче од акрилног полимера, које могу издржати бушење и резање, па парафин не може да исцури из своје непробојне капсуле. Ове микрокапсуле, отпорне на механичка оштећења, задовољавају све грађевинске стандарде и захтеве заштите окружења, па могу служити или директно као топлотни размењивачи за пасивну климатизацију или могу бити уграђени као компоненте у друге грађевинске елементе као што су зидови, подови или плафони.

Макрокапсулацијом се фазно променљиви материјал убације у неки облик паковања, као што су цеви, куглице, кесе или панели. Сами фазно променљиви материјали нису скупи, али њихово паковање и процесирање да би се достигле поуздане и конзистентне перформансе материјала за употребу, поскупљују коначну цену производа.

Најзначајнији производи на бази микрокапсулираних фазно променљивих материјала намењених за употребу у архитектури

Складиштење или ослобађање топлотне енергије ефектом фазне промене, омогућава овим материјалима да буду веома ефикасни у контроли и одржавању топлотног окружења у



Сл. 8. Танки полимер омотачи испуњени парафинском смолом Fig.8 Thin polymer shells filled with paraffin wax (Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)

згради. Да би били ефикасни, материјали и компоненте за производњу фазно променљивих материјала, морају бити способни за релативно велики број циклуса пуњења и пражњења и да остану стабилног волумена.

Са становишта уградње у архитектонским објектима најзначајнији производи на бази микрокапсулираних фазно променљивих материјала су:

- Малтери
- Бетонски порозни цементни блокови
- Бетонске подне плоче
- Гипсане плоче
- Изолациони системи застакљења
- Алуминијумски ламинирани панели

● **Малтери са фазно променљивим материјалима** настају када се сићушне капсуле, јединичне величине од неколико микрометара, уграде или као дисперзија или као прах у малтер. Могу се употребљавати као и конвенционални малтери. Лако се примењују, могу се обојити додавањем пигмената и боје, али су скупљи од конвенционалних малтера. Парафин, који се топи на 23°C, уграђен у зидни малтер апсорбује топлоту насталу порастом собне температуре, па не долази до даљег загревања собе. Када собна температура падне, парафин расипа апсорбовану скривену (латентну) енергију назад у собу. На овај начин фазно променљиви материјали симулирају непостојећу топлотну масу зида и могу балансирати промене температуре унутрашњег окружења.

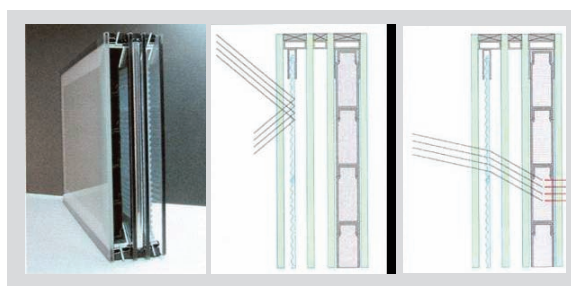
● **Бетонске подне плоче са уграђеним куглицама пуњеним парафинском смолом** се примењују у ваздушним подним системима грејања. За функционисање ваздушног подног система грејања, неопходна је висока иницијална температура и одржавање температурног нивоа подне плоче. Уобичајена техника подног грејања са уклапањем цеви за топлу воду у бетонске подове, може бити проблематична због временског заостајања везаног са складиштењем и ослобађањем топлоте у бетону. Бетон се споро греје и хлади, са последицом да се топлота ослобађа у погрешно време. Капсулиране фазно променљиве куглице могу одговорити у много краћем временском интервалу.

● **Гипсане табле са фазно променљивим материјалима** су функционалне грађевинске компоненте, које се производе тако да се једна страна порозне плоче импрегнира унапред одређеном количином фазно променљивог материјала. Употребљавају се као и конвенционалне гипсане плоче. Танки полимер омотачи испуњени парафинском смолом апсорбују највише дневне температуре и складиште латентну топлоту. Ове микрокапсуле су постојане на брушење, бушење и резање, па су захваљујући својој робустности

готово неуништиве. Оне модификују грађевинске компоненте у које се уграђују, тако да ове остају функционалне десетинама година без потребе да се реновирају.

Ефикасност ове унапређене гипсане зидне плоче је резултат фазне промене парафина из чврстог у течно стање, у току које се у њему складишти топлотна енергија, без промене температуре самог материјала, оптимизацијом тачке топлења парафина тако да она одговара специфичним захтевима унутрашњег топлотног окружења у згради, а то је од 23°C до 26°C. Топећи се, парафин апсорбује топлоту из окружења, онемогућавајући даљи раст температуре у просторији. Ноћу, када је спољна температура ниска, топлота се отпушта, док се парафин враћа у чврсто стање.

● **Изолациони системи застакљења фазно променљивим материјалима** уграђеним у транспарентне пластичне контејнере обезбеђује пасивну климатизацију фасаде. Састоји се од четири окна, постављена једно поред другог, са спољним интегрисаним светло-усмеравајућим призматичним пластичним панелима, и са унутрашње стране уграђеним транспарентним пластичним контејнерима, пуњеним хидратизованим солима (сл.9). Ови системи обезбеђују пасивну климатизацију фасаде и могу се употребљавати као и конвенционални стаклени системи. Могу се уграђивати и дуж конвенционалних стаклених система, јер су једноставни за уградњу и могу индиковати стање пуњења, у зависности да ли су провидни или не. Негативне стране су им те што су релативно скупљи и тежи од конвенционалних система застакљења.



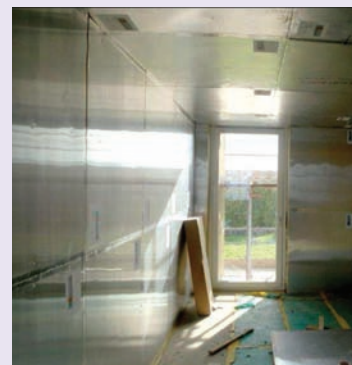
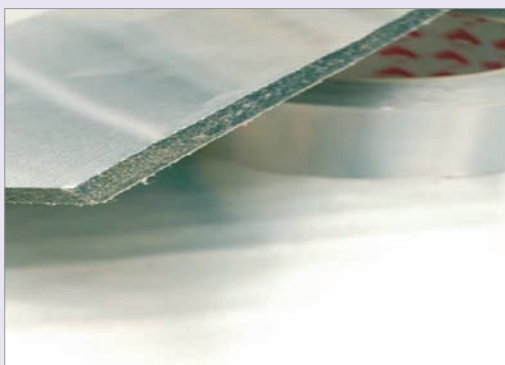
Сл. 9.

Изглед и шематски приказ функционисања изолационог система застакљења са фазно променљивим материјалима

Fig. 9

Appearance and schematic view of insulation glass system with phase change materials (Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design,

● **Алуминијумски ламинирани фазно променљиви панели** су пуњени компонентама од кополимера на бази етилена 40% и парафинског воска 60%. Полимер осигурава стабилност парафина у току процеса фазне промене. Мешавина је са обе стране ламинирана алуминијумским лимом дебљине 130 μm , а ивице су заптивене 75 μm дебелим алуминијумским тракама. Парафински восак у панелима се топи на температури од 22°C и очвршћава на 18°C. Када температура ваздуха у соби достигне 22°C фазно променљиви материјали у панелу се топе, апсорбујући топлоту из просторије, што успорава пораст температуре у њој и смањује потребу за коришћењем гломазних система хлађења зграда. Када се, услед хлађења ваздуха у просторији, фазно променљиво пуњење у панелу враћа у чврсто стање, отпушта топлоту назад у собу, загревајући је и смањујући потребу за укључивањем грејног система у згради, што штеди драгоцену енергију и новац. Панели се инсталирају (сл.10) и лепе иза унутрашњих зидова или изнад плоча плафона у зградама, иза линије малтера, заједно са механичким вентилационим системом, који поспешује ослобађање топлотне енергије у току ноћи назад у просторију.



Сл. 10.
Изглед и начин уградње алуминијумских ламинираних панела пуњених фазно променљивим материјалима

Fig. 10.
Installation of aluminium laminated panels filled with phase change materials

(http://www.eviee.co.uk/DuPont_Energain)

● **Плоче са уграђеним фазно променљивим материјалима** се производе као композитне мешавине ових и различитих других материјала у виду праха, дробљеног камена, ивера и/или ломљених комада кварца, гранита, мермера, стакла, керамике, кречњака, полудрагог камења и сл., са везним материјалом. Структура ових плоча може бити и вишеслојна, са основним спољним слојем од гранула агломерата различитих величина, који је повезан или уграђен у други слој, који чине везни материјал и фазно променљиви материјал. Ове плоче се израђују у различитим величинама и облицима, равне или заобљене, па се њима могу формирати зидови различитих облика.

ПРОЈЕКТИ НА КОЈИМА СУ ПРИМЕЊЕНИ ПРОИЗВОДИ БАЗИРАНИ НА ПАМЕТНИМ ФАЗНО ПРОМЕНЉИВИМ МАТЕРИЈАЛИМА

Већ је неколико пројеката на којима су употребљени фазно променљиви материјали изведено у последњој декади. Међу првим применама у постојећим и новим зградама су били микрокапсулирани фазно променљиви материјали.

● 2001 године су унутрашњи зидови постојеће зграде **тзв. "3-литре-зграда" у Ludwigshafenu у Немачкој** (Axel,2007) малтерисани малтерима са фазно променљивим материјалима. Утицај фазно променљивих материјала у малтеру и фугама на унутрашњу климу у згради је константно мерен.

● 2005 године су учионице **Високе школе у Lauffen am Neckер у Немачкој** (Axel,2007), изграђене употребом лагане конструкције од гипсаних плоча, са инкорпорираним микрокапсулираним парафинским фазно променљивим материјалом. Употребљено је око 500м² гипсаних панела са инкорпорираним микрокапсулама пуњеним парафином.

● Архитекта Dietrich Shwarz је инсталирао микрокапсулиране фазно променљиве материјале у јужну фасаду **соларне куће у Ebnat-Kapel-у у Швицарској** (Axel,2007). Он је овде употребио изолациони систем застакљења са микрокапсулираним парафином, као фазно променљивим материјалом, и употребио га у свом иновативном систему температурно регулисане фасаде. Због високе запаљивости парафина, мало касније, овај изолациони стаклени систем је унапређен употребом хидратизованих соли затворених у пластичне микрокапсуле. Овај систем је одобрен за употребу као званични грађевински материјал.

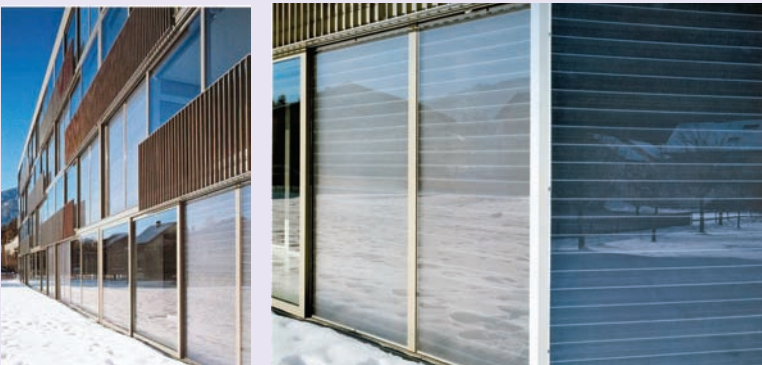
● Овај систем је употребљен и на **комплексу од 20 стамбених зграда за старије особе у Domat/Emsu у Швајцарској 2004 године** (Axel,2007). Архитекта Дитрих Шварц (Dietrich Shwarz) је у пројекту система застакљења за овај објект искористио чињеницу да се са променом агрегатног стања мења и спољни изглед фазно променљивих материјала (од провидног до млечно белог и обрнуто). На јужној фасади, на површини од 148м² (сл.11), инсталиран је

систем застакљења на бази хидратизованих соли. Овај 78mm дебели систем, је конструисан као обична троструко изолована стаклена јединица, али са светло-усмеравајућим призматичним панелом са спољне стране и панелом од фазно променљивог материјала са унутрашње стране. Унутрашњи стаклени панел је напуњен поликарбонатним транспарентним капсулама са хидратизованим солима, које складиште топлоту на температурама од +26°C до +28°C. Лети јако сунчево зрачење под великим углом пада на призматичне панеле и рефлектује се од њих. У току зиме мањи угао упадања сунчевих зрака дозвољава сунчевом зрачењу да пролази скоро неометано кроз спољни призматични панел, загрева панел од фазно променљивог материјала и топи хидратизоване соли у њему, тако да стакло постаје млечно бело, па поред тога што апсорбује вишак топлоте и визуелно се мења.

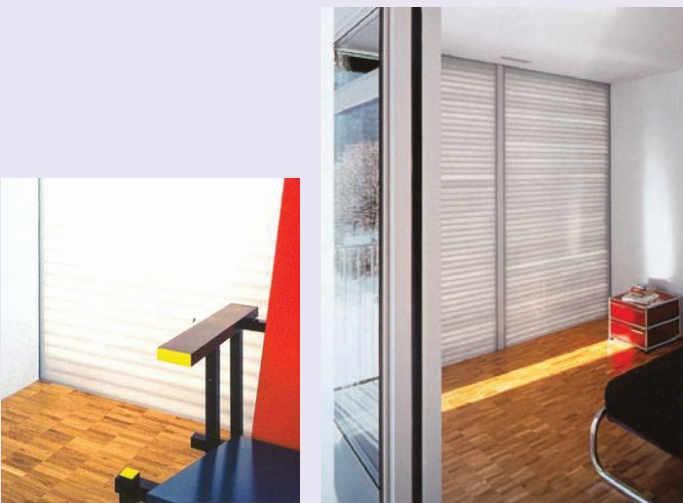
Ако собна температура падне испод +26°C, ноћу или за облачних дана, хидратизоване соли кристалишу и ослобађају ускладиштену топлотну енергију у собу. Стање напуњености ове латентне топлотно-складишне стаклене фасаде се може приметити директно из њеног изгледа, који одређују различите фазе хидратизованих соли: ако је фасада непровидна (гледано са спољне стране кроз призматичне панеле или изнутра), онда су хидратизоване соли кристализоване (сл.12). Ако је пак фасада делимично провидна (гледано са спољне стране кроз призматичне панеле) или провидна (гледано изнутра, без штампане шаре), хидратизоване соли су истопљене (сл.13).



Сл.11.
Спољни изглед јужне фасаде стамбених апартмана за старије особе у Домат/Емсу у Шведској
Fig. 11.
South facade of senior apartment complex in Domat/Ems in Sweden
(Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)



Сл.12.
Изглед споља када је стакло непровидно због кристализације хидратизованих соли и када је провидно због њиховог топљења
Fig. 12.
Exterior view of facade when glass is opaque because of cristaliisation of hydrat salts and when is transparent because of it's melting
(Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)



Сл.13.
Унутрашњи изглед система застакљења када је стакло провидно због топљења хидратизованих соли и када је стакло непровидно због њихове кристализације
Fig. 13.
Interior view of facade when glass is opaque because of cristaliisation of hydrat salts and when is transparent because of it's melting
(Axel, Ritter. (2007), Smart materials in architecture, interior architecture and design, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston)

● Алуминијумски панели са уграђеним фазно променљивим материјалима су употребљени за додавање топлотне масе згради **“Crossway”** (сл.14), коју је потписао архитекта Richard Hawke (Ричард Хоук). Главна и гостинска спаваћа соба на северној страни првог спрата немају конвенционалне зидане топлотне масе, које би им помогле у регулисању унутрашње температуре. Зато су лагани алуминијумски фазно променљиви панели били одговарајуће решење за обезбеђивање додатне топлотне масе, без повећања тежине самог објекта. У собама су инсталирани и топлотни сензори и опрема за праћење температурних промена, који су директно повезани са Кембриџ универзитетом, који ће у оквиру својих истраживачких пројеката анализирати добијене податке и проверавати ефикасност панела у конкретним условима употребе.



Сл.14.
унутрашњи изглед собе са уграђеним фазно променљивим панелима у згради **“Crossway”** у Великој Британији

Fig. 14.
Exterior and interior of “Crossway” building in Great Britain

● Алуминијумски ламинирани панели на бази фазно променљивих материјала су примењени и на пројекту **реконструкције и проширења постојеће зграде Високе школе Хамонд у Нортфолку у Великој Британији**. Постизање комфортних унутрашњих услова у природно вентилисаним школским зградама је веома изазован задатак за архитекте, који је до сада решаван повећавањем топлотне масе зграде. Многе модерне конструкције су подложне брзим температурним променама проузрокованим топлотним вишковима, које производи сунчево зрачење споља и унутрашње загревање, које танки конструктивни зидови не могу апсорбовати. У реконструкцији ове школске зграде пројектом предвиђена тешка армирано бетонска кровна плоча замењена је лаганом дрвеном конструкцијом, чија је топлотна маса унапређена применом панела пуњених микрокапсулираним фазно променљивим материјалима (сл.15).

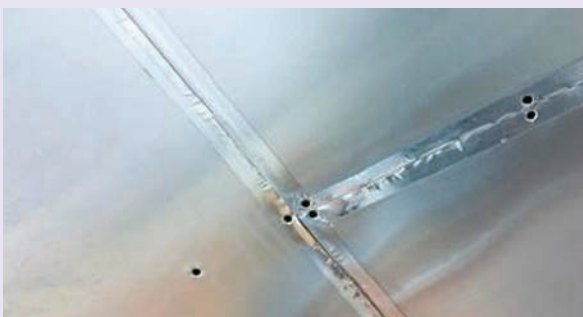
● Павиљон са поливалентном фасадном облогом (сл.16) познат под називом **„Паметни омотач“** (Kronenberg, 2007), је изграђен 2003 године. Аутор Kieran Timberlake (Кијеран Тимберлејк) је ову конструкцију пројектовао као изложбени експонат **„SOLOS“** изложбе одржане 2003 године у Музеју дизајна Cooper Hewitt National у Њујорку. Овај **„паметни омотач“** је 1mm дебели композитни материјал базиран на полиестер филм супстрату, који обезбеђује заштиту од спољних временских услова и формира базу на којој се могу примењивати различите иновативне технологије, укључујући климатску контролу, снабдевање енергијом, светлошћу, а истовремено служи и као информациони дисплеј. Климатска контрола је обезбеђена помоћу фазно променљивих материјала, који су путем микрокапсулирања уграђени у полиестерску смолу и затим извучени у танки филм, којим је покривен основни композитни материјал.



Сл.15.
Унутрашњи изглед нових учионица зграде **Високе школе Hamond и Norfolk-у у Великој Британији**.

(<http://www.evieve.co.uk/DuPont Energain>)

Fig. 15.
Interior of new classrooms of Hamond High School in Norfolk in Great Britain





Сл. 16.

**Спољни и унутрашњи изглед
„Паметног омотача“,**

Fig. 16.

Exterior and interior of „Smart wrap building“

(Kronenberg, Robert. (2007), *Fleksibile: Architecture that respond to Change*, Laurence King Publishing, London)

ЗАКЉУЧАК

Зграде троше велику количину енергије, што захтева сагоревање фосилних горива као што су уље, гас и угљ, повећавајући количину угљен диоксида емитованог у атмосферу и појачавајући ефекат стаклене баште и глобално загревање. Фазно променљиви материјали су погодни за примену у зградама, јер помажу у одржавању унутрашње температуре на комфоном нивоу, нарочито у пословним зградама подложним соларном загревању због великих површина стаклених фасада.

Употреба енергетски ефикасних технологија базираних на фазно променљивим материјалима у реконструкцији постојећих и изградњи нових архитектонских објеката, поред унапређења унутрашњег комфора, уштеде енергије и новца, доприноси и повећању њихове тржишне вредности. Производи од фазно променљивих материјала, могу се употребљавати у постојећим и новим зградама у сврху побољшања њихових топлотних карактеристика, повећавањем њихове топлотно-складишне масе.

Компактни спољни зидови се могу надградити гипсаним плочама, малтерима, чак и комплексним фасадним системима са интелигентно уграђеним скривеним топлотно-складишним микрокапсулама на бази фазно променљивих материјала.

Унапређење топлотних карактеристика у зградама употребом фазно променљивих материјала зависи од типа употребљеног материјала, његове температуре топљења и процента у којем је помешан са конвенционалним материјалом. Оптимизацијом ових параметара подиже се капацитет топлотног складиштења у згради, што повећава унутрашњи комфор, смањивањем фреквенције температуре унутрашњег ваздуха, тако да је унутрашња температура ближа жељеној током дужег временског периода.

Literatura

Addington, Michelle. Schodek, L. Daniel, (2005), *Smart materials and new technologies for the architecture and design professions*, Elsevier, London, стр. 55-63, 82, 161-164

Axel, Ritter. (2007), *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhauser, Basel-Berlin-Boston, стр.165-172

Kronenberg, Robert. (2007), *Fleksibile: Architecture that respond to Change*, Laurence King Publishing, London, стр.228-231

Kuznik, F. Virgone, J. Reisdorf R. (2006), *Experimental investigation of thermal behaviour of phase change materials under dynamical thermal effects*, стр. 2-4

Schwartz, Mel. (2002), *Encyclopedia of Smart Materials Volume 1 and Volume 2*, John Wiley and Sons, Inc., New York, стр.62-66

Schwartz, Mel. (2002), *Smart materials - Encyclopedia of materials, parts and finishes*. CRC Press LLC, USA, New York, стр.855

Korisni linkovi:

1. <http://www.azom.com>
2. <http://www.basf.com>
3. http://www.evievee.co.uk/DuPont_Energain
4. <http://www.pcms.com.cn/index-e.htm>
5. http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/0203/zero_emission_bldgs/phasechangematerials.html
6. <http://www.freepatentsonline.com/4988543.html>
7. <http://www.doityourself.com/wall/phasechangedrywall>