

Младен Јосијевић, Никола Ракић, Вања Шуштершич, Душан Гордић,
Владимир Вукашиновић, Дубравка Живковић
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, Србија

ТЕХНОЛОГИЈЕ СКЛАДИШТЕЊА ТОПЛОТНЕ ЕНЕРГИЈЕ

САЖЕТАК

У овом раду је дат преглед све три технологије за складиштење топлотне енергије: сензибилно складиштење топлотне енергије, латентно складиштење топлотне енергије и термохемијско складиштење топлоте. Сензибилна акумулација је најзрелија технологија која је имплементирана у више сезонских/дугорочних постројења за чување топлоте. Представљено је складиштење на бази воде, стена и тла као одвојених техника у оквиру сензибилног складиштења. Затим, следи преглед латентног и хемијског складиштења топлотне енергије, класификација материјала које ове технологије подразумевају, као и принципи рада и карактеристике ових концепата акумулирања топлоте. Наведено је да су последње две и даље у фази истраживања и лабораторијских експеримената. На крају је дато поређење све три технологије и кратак преглед њихових предности и недостатака.

Кључне речи: складиштење топлотне енергије, сензибилно складиштење, латентно складиштење, термохемијско складиштење

Thermal Energy Storage Technology

ABSTRACT

This paper provides an overview of all three technologies for the heat storage: sensible heat storage, latent storage of heat and thermochemical heat storage. Sensible accumulation is the most mature technology that has been implemented in several seasonal (long-term) facilities for heat storing. Storage based on water, rock and soil is presented as separated techniques in the context of sensitive storage. Then follows review of the latent and chemical heat energy storage, classification of materials that include this technology, as well as the principles and characteristics of these concepts of heating storage. It is stated that the last two are still at the stage of research and laboratory experiments. In the end, the comparison of all three technologies and a brief overview of their advantages and disadvantages is given.

Keywords: thermal energy storage, sensible heat storage, latent heat storage, thermochemical heat storage

УВОД

Различите технологије складиштења енергије коегзистирају зато што их њихове одлике чине привлачним за различите примене. Генерално, системи акумулације енергије могу бити описани као топлотни или електрични. Складиштења електричне енергије укључују широк спектар технологија који директно или индиректно обезбеђују акумулацију електричне енергије, било кроз електрични улаз или излаз. Насупрот, системи за складиштење топлотне енергије користе термохемијске реакције, сензибилну или латентну топлотну капацитивност материјала како би обезбедили топлотни ресурс који се може напунити по потреби [1].

Складиштења енергије се могу сврстати у краткорочна и дугорочна, према различитим трајањима

складиштења. Користећи вишак топлоте сакупљене у лето да се надокнади недовољност снабдевања топлотном енергијом током зиме је концепт сезонског складиштења топлотне енергије, такође названог дугорочним складиштењем топлоте. Резултати су показали да образац сезонског складиштења може задовољити 50-70% годишње потражње за топлотом, док је код краткорочних складишта испуњење само 10-20% топлотног конзума [2].

Постоје три различита механизма за складиштење енергије: сензибилно складиштење топлоте, латентно складиштење топлоте и термо-хемијско складиштење топлоте.

Сензибилна акумулација топлоте обухвата резервоар воде за складиштење и подземно складиште топлотне енергије [3]. Главне методе за подземно складиште

топлотне енергије укључују водоносно складиштење и складиштење у подземном тлу. Латентно складиште топлоте чува топлоту скоро изотермално у фазно променљивим материјалима и може да обезбеди већу густину енергије од сензибилне акумулације. Хемијско складиштење топлоте је новија технологија која омогућава компактније одлагање кроз веће густине за складиштење енергије без губитака топлоте.

1. СЕНЗИБИЛНО СКЛАДИШТЕЊЕ ТОПЛОТЕ

Метод сензибилне акумулације енергије претвара прикупљену соларну енергију у топлоту у одабраним материјалима и преузима је када је топлота потребна. Акумулирану количину топлоте одређују специфична топлота материјала и пораст температуре материјала. Сензибилно складиштење топлоте се сматра једноставном, јефтиним и релативно развијеном технологијом за сезонско складиштење енергије у односу на друге алтернативе. Због својих јефтиних и поузданих карактеристика, имплементирано је у значајном броју пројеката. Изучавани су материјали чији је температурни опсег примене 150–200°C, разматрањем њихових физичких особина и енергетских густина и оцењивањем са еколошке тачке гледишта. Специфични топлотни капацитет и густина се сматрају за два критична индекса који формирају главни критеријум за евалуацију складиштења, густину енергије ($C_p \rho$, топлотни капацитет по јединици запремине). Поред добрих топлотних перформанси, ниска цена материјала је још један кључни критеријум за одабир потенцијалних материјала, посебно за дугорочно чување топлоте. Недавно, технологија сезонског складиштења је углавном била примењивана

код грејања и припреме топле воде за снабдевање домаћинства за које је потребан температурни опсег од 40 до 80°C. Као резултат тога, вода, камени материјали (као што су шљунак, туцаник и цигле) и земљишно тло постају популарни кандидати за акумулациони медијум који су широко били примењивани у пројектима великих размера [4].

Табела 1 даје поређење неколико најчешће коришћених метода за сензибилно складиштење топлоте. На избор одговарајућег концепта акумулирања топлоте утиче доста фактора, као што су локални геолошки услови, расположива површина, температурни нивои складишта, правна питања која се тичу бушења, законске регулативе око инвестиционих улагања, итд.

У поређењу са осталим опцијама, сензибилно топлотно складиштење је најзрелија и најпоузданија технологија за сезонско складиштење. Постојећи пројекти сезонског складиштења широког обима укључују акумулацију на бази воде, акумулацију на бази камена (углавном се користи шљунак) и складиштење у тлу земље.

Складиштење на бази воде

Вода се сматра повољним материјалом за складиштење енергије због високе специфичне топлоте (у поређењу са други медијима сензибилног топлотног складиштења) и високе стопе капацитета док се пуни и празни. Системи за акумулацију на бази воде користе воду као медијум за складиштење или као флуид који носи топлоту на чување или даљи пренос. Они се најчешће класификују као резервоарски системи за складиштење и бунарски (издански) системи за складиштење. Системи

Врела вода	Шљунковита вода	Каналско складиштење	Изданско складиштење
Медијум складиштења			
Вода	Шљунковита вода	Земљани материјал (земља/камен)	Земљани материјал (песак/шљунак...вода)
Топлотни капацитет (kWh/m ³)			
60-80	30-50	15-30	30-40
Запремина акумулације за 1 m ³			
1 m ³	1.3-2 m ³	3-5 m ³	2-3 m ³
Геолошки захтеви			
<ul style="list-style-type: none"> • Стабилни услови тла • Без подземних вода • 5-15m дубине 	<ul style="list-style-type: none"> • Стабилни услови тла • Без подземних вода • 5-15m дубине 	<ul style="list-style-type: none"> • Земљиште погодно за бушење • Земљиште са подземним водама • Висок топлотни капацитет <ul style="list-style-type: none"> • Висока топлотна проводљивост • Ниска хидрауличка проводљивост <ul style="list-style-type: none"> • (kf < 1,10 m/s) • Природни проток подземних вода 30-100m дубине 	<ul style="list-style-type: none"> • Природни издан са високом хидрауличком проводљивошћу (kf > 1,10 m/s) • Изолациони слојеви изнад и испод <ul style="list-style-type: none"> • Без или са врло мало природног протока • Погодна хемија воде на високим температурама • Издан дебљине 20-50m

Табела 1. Поређење концепата сензибилног складиштења [5]

са резервоаром (јамом) воду чувају у вештачким структурама, док изданско складиштење користи воду директно из подземног слоја.

Камене „постеље”

Код оваквог складиштења, кроз камене (обично шљунак, туцаник и цигле) „постеље” циркулише радни флуид који може бити вода или ваздух, а служи за трансфер и размену топлоте, скупљену током лета, ослобођену током зиме. У поређењу са системима на бази воде, оваква извођења могу да издрже много више температуре.

Међутим, због ниске енергетске густине, системи складиштења са каменим `постељама` захтевају много веће запремине да би постигле исту количину ускладиштене топлоте, отприлике три пута више простора него системи на воденој бази [2].

Истраживачи су развили шљунак/вода (шљунак/вода, песак/вода) акумулациони систем комбиновањем концепата резервоара воде и складиштења у камену, који се може посматрати као компромис између скупе резервоарске конструкције и ниске топлотне капацитивности материјала на бази камена. Смеша шљунак-вода може донекле смањити запремину јединице за складиштење, а ипак је и даље око 50% већа од акумулације на бази топле воде у остваривању истих задатака [5].

2. ЛАТЕНТНО СКЛАДИШТЕЊЕ ТОПЛОТЕ

Материјали који мењају фазу су материјали за латентна складишта топлоте. Пренос топлотне енергије се врши када материјал прелази из чврстог у течност или из течне у чврсто агрегатно стање. У почетку, ови чврсти - течни материјали са фазном променом (PCM) се понашају као конвенционални материјали за складиштење, тј. њихова температура расте како они апсорбују топлоту. За разлику од сензибилних материјала за складиштење, PCM апсорбују и ослобађају топлоту на скоро константној температури. Они складиште 5-14 пута више топлоте по јединици запремине него материјали за сензибилна складиштење као што су вода, опеке или стена .

За велики број PCM се зна латентна топлота фузије у било ком опсегу. Међутим за њихову употребу као материјала за латентно складиштење топлоте, ови материјали морају испољити одређене термодинамичке, кинетичке и хемијске особине. Штавише, економска разматрања и лаку доступност ових материјала треба имати на уму .

Да би се PCM користили у систему за термоскладиштење, треба да задовоље потребне термофизичке, кинетичке и хемијске особине као што су следеће наведене [6].

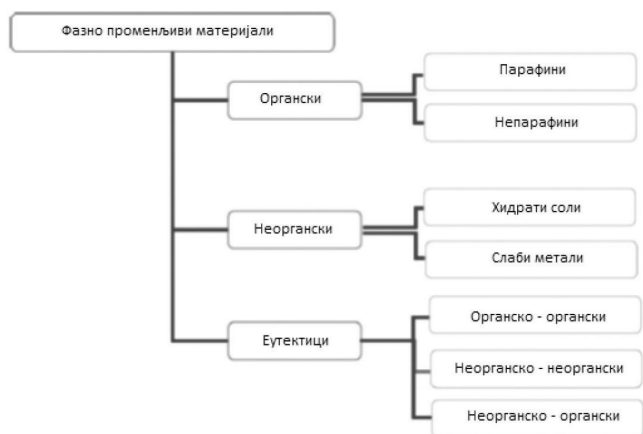
- Термална својства (погодна температура фазне транзиције, висока латентна топлота транзиције, добар пренос топлоте)

При избору PCM за одређену апликацију, оперативна температура загревања или хлађења треба да одговара транзиционој температури PCM. Латентна топлота треба да буде што је виша могућа, посебно на волуметријским основама и пожељно је минимизирати физичке величине акумулације топлоте.

- Физичке особине (повољна равнотежа фаза, висока густина, мала промена запремине, низак притисак паре)
Стабилност фаза током очвршћавања и топљења би помогла у постављању складишта топлоте, а висока густина материјала је пожељна како би се омогућио мањи број контејнера за складиштење. Мале промене запремине приликом фазне трансформације и мали притисак паре на радној температури погодни су за смањење проблема задржавања материјала.
- Кинетичка својства (Без потхлађивања, Довољна стопа кристализације)
Потхлађивање је проблематичан аспект PCM развоја, посебно за соли хидрата. Потхлађивање за више од неколико степени ће ометати правилну екстракцију топлоте из акумулације, а 5-10°C потхлађења може је спречити потпуно.
- Хемијске особине (дугорочна хемијска стабилност, компатибилност са грађевинским материјалима, нетоксичност, без пожара)
PCM имају проблем деградације због губитка воде за хидратацију, хемијске декомпозиције или некомпатибилности са материјалима за изградњу. PCM треба да буду нетоксични, незапаљиви и неексплозивни због безбедности.
- Економичност (присутан у изобиљу, доступан, исплатив)
Ниска цена и доступност великих размера материјала са фазним променама је такође веома важна.

Класификација фазно променљивих материјала

Велики број фазно променљивих материјала (органски, неоргански и еутектици) је доступан у свим температурним опсезима. Класификација PCM је дата на Слици 2. Постоји велики број органских и неорганских хемијских материјала који се могу идентификовати као PCM са становишта температуре топљења и латентне топлоте фузије. Међутим, осим тачке топљења у радном опсегу, већина фазно променљивих материјала не задовољава критеријуме потребне за адекватан акумулациони медиј, као што је раније дискутовано. Како ниједан материјал не може имати све потребне особине за идеалан медијум за термо-складиштење, морају се користити расположиви материјали и покушати да се надокнаде лоше физичке особине адекватним дизајном система.



Слика 2. Класификација фазно променљивих материјала

Генерално, неорганска једињења имају скоро двоструко већи запремински капацитет латентне топлоте складиштења него органска једињења. Њихова веома различита термичка и хемијска понашања, као и својства сваке подгрупе фазно променљивих материјала која утичу на дизајн латентног система за чување топлоте, а користе РСМ те подгрупе, продискутована су у наставку [7].

Органски фазно променљиви материјали

Органски материјали (парафини и непарафини) садрже конгруентна средства за брзо топљење и мржење без фазне сегрегације и последица деградација њихове латентне топлоте фузије, као и самонуклеацијска средства која кристалишу са мало или без имало потхлађивања и обично нису корозивни.

Парафини

Парафински восак се састоји од мешавине углавном линераних n алкана $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{n-2} - \text{CH}_3$. Кристализација угљоводоничног ланца ослобађа велику количину латентне топлоте. Тачка топљења и латентна топлота фузије расту са повећањем дужине ланца. Парафин квалификује топлота фузије материјала за складиштење услед њихове доступности у широком температурном опсегу. Због трошкова, само парафини техничког квалитета могу да се користи као РСМ у латентним системима за складиштење топлоте. Парафин је безбедан, поуздан, предвидљив, не превише скуп и некорозиван. Они су хемијски инертни и стабилни испод 500°C ,

приликом топљења не показују запреминску промену и имају низак притисак испарења у растопљеној форми. За ове особина парафина, системи који користе парафин обично имају веома дуг циклус замрзавање - топљење. Табела 2 [8] наводи термичка својства неких парафина техничког разреда, који су у суштини парафинске мешавине и нису потпуно рафинисани. Тачка топљења алкана се повећава са већим бројем атома угљеника. Осим неколико повољних карактеристика парафина, као што су конгруентно топљење и добре нуклеацијске особине, они показују и неке непожељне особине, као што су: ниска топлотна проводљивост, некомпатибилност са пластичним контејнерима и умерена запаљивост. Сви ови нежељени ефекти могу бити делимично елиминисани благим модификацијама парафинског воска и јединица за складиштење.

Непарафини

Органски непарафини су најбројнији фазно променљиви материјали са веома разноврсним својствима. Сваки од ових материјала ће имати своје особине, за разлику од парафина, који имају врло сличне особине. Ово је највећа категорија материјала кандидата за складиштење са фазним променама. Спроведена су велика истраживања органских материјала и идентификовани бројни естри, масне киселине, алкохоли и гликоли као погодни за складиштење енергије. Ови органски материјали су даље подгрупе масних киселина и других органских непарафина. Ови материјали су запаљиви и не треба их излагати екстремно високим температурама, пламену или оксидационим средствима.

Неке од карактеристика ових органских материјала су: висока топлота фузије, запаљивост, ниска топлотна проводљивост, ниска температура паљења, различити ступњеви токсичности, нестабилност на високим температурама...

Масне киселине имају високе вредности топлоте фузије у поређењу са парафинима. Општа формула која описује све масне киселине је дата као R-COOH и стога, квалификована је као добар РСМ. Њихов главни недостатак је међутим њихова цена, која је 2-2,5 пута већа него код парафина техничког квалитета. Такође, масне киселина су благо корозивне.

Парафин	Тачка мржења/ распон ($^\circ\text{C}$)	Топлота фузије (kJ/kg)	Група
6106	42-44	189	I
P116	45-48	210	I
5838	48-50	189	I
6035	58-60	189	I
6403	62-64	189	I
6499	66-68	189	I

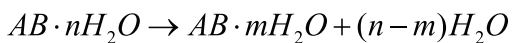
Табела 2. Физичке особине парафина

Неоргански фазно променљиви материјали

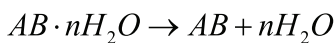
Неоргански материјали су даље класификовани на хидрате соли и слабе метале (металоиде). Ови фазно променљиви материјали се не потхлађују осетно и њихова топлота фузије се не деградира са циклусима.

Хидрати соли

Хидрати соли се могу сматрати легурама неорганских соли и воде које формирају типичну кристалну супстанцу опште формуле $AB \cdot nH_2O$. Трансформација из течног у чврсто агрегатно стање хидрата соли је заправо дехидратација хидратизоване соли, иако овај процес термодинамички подсећа на топљење или очвршћавање. Хидрати соли обично се топе или на хидрате соли са мање молекула воде, тј.



или до свог дехидратизованог облика [9].



На тачки топљења кристали хидрата се разлажу на дехидриране соли и воду, или у ниже хидрате и воду. Проблем са већином хидрата соли јесте неконгруентно топљење изазвано чињеницом да вода ослобођена кристализацијом није довољна да раствори све присутне чврсте фазе супстанце. Услед разлика густина, нижи хидрати (или дехидратисане соли) се слежу на дно посуде.

Већина ових хидрата такође има лоше нуклеацијске особине што доводи до потхлађивања течности пре почетка процеса кристализације. Једно решење овог проблема је додавање нуклеацијских агенаса који обезбеђују нуклеацију која затим иницира кристализацију. Друга могућност је задржавање неких кристала у малим охлађеним регионима, који би касније послужили као језгра кристализације.

Хидрати соли су најважнија група РСМ и интензивно су проучавани за њихову употребу у латентним акумулационим системима термалне енергије. Најатрактивније особине хидрата соли су: висока латентна топлота фузије по јединици запремине, релативно висока топлотна проводљивост (скоро дупло већа од парафина), мала промена запремине при топљењу. Нису посебно корозивни, компатибилни су са пластиком и тек незнатно отровни. Многи хидрати соли су довољно јефтине за коришћење у акумулацији.

„Слаби метали”

Ова категорија обухвата ниско топљиве метале и металне еутектике. Слаби метали се још увек озбиљно не сматрају за РСМ технологију због ограничења у погледу тежине. Међутим, када у разматрање узмемо запремину, они постају реални кандидати због високе топлоте

фузије по јединици запремине. Имају високу топлотну проводљивост, па умети за проводљивост топлоте који дају на маси нису потребни. Употреба слабих метала доноси низ необичних инжењерских проблема. Главна разлика између слабих метала и других РСМ је у њиховој високој топлотној проводљивости.

Неке од карактеристика ових материјала су следеће: ниска топлота фузије по јединици масе, висока топлота фузије по јединици запремина, висока топлотна проводљивост, ниска специфична топлота и релативно низак притисак паре.

Еутектици

Еутектик је минимално топљив композит састављен од две или више компоненти, од којих се свака топи и очвршћава конгруентно формирајући мешавину кристала компоненти током процеса кристализације. Треба напоменути да компоненте имају фиксну температуру фазне промене и могу бити и органске и неорганске. Еутектик се скоро увек топи и очвршћава без сегрегације јер очвршћава на смешу блиских кристала, остављајући малу могућност компонентама да се раздвоје. Приликом топљења, обе компоненте се растапају истовремено, опет са малим шансама за сегрегацију [1,8].

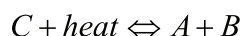
3. ТЕРМОХЕМИЈСКО СКЛАДИШТЕЊЕ ЕНЕРГИЈЕ

Термохемијско складиштење енергије се може одвојити на процесе термохемијске реакције и сорпције. Реакција термохемијског складиштења се састоји у употреби прикупљене топлоте за побуду реверзибилне ендотермне реакције. Сорпција се може дефинисати као феномен фиксације или хватање гаса или паре (сорбат) од стране супстанце у кондензованом стању (чврстом или течном) названом сорбент. Феномен сорпције може да обухвати и термо-физичке и термо-хемијске аспекте. Термин `сорпција` је општи термин који обухвата и апсорпцију и адсорпцију. Апсорпција се дефинише као феномен у којем се течност или гас уноси у чврсту супстанцу или течност, али посматрано са тачке складиштења, овај термин се обично доводи у везу са апсорпцијом гаса од стране течности (апсорбента). На исти начин, адсорпција се обично користи да означи феномен везивања гаса на површини чврстог или порозног материјала док се општије значење речи односи на површински феномен: везивање гаса или течне фазе компоненте за површину друге супстанце. Адсорпција се дели на две врсте:

- физичка адсорпција и
- хемијска адсорпција (хемијска реакција између чврсте супстанце и гаса).

Процеси хемијске адсорпције нуде већу топлоту сорпције него физичка адсорпција, али могу бити неповратни.

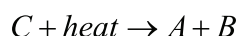
Основни принцип сорпције и термохемијских акумулационих система за складиштење се заснива на реакцији која може бити повратна:



У овој реакцији термохемијски материјал (С) апсорбује енергију и конвертује се хемијски у две компоненте (А и В), које могу бити ускладиштене одвојено. Обрнута реакција се јавља када се комбинују А и В компоненте и формира се С. У принципу, термохемијски циклус складиштења енергије обухвата три главна процеса: пуњење, чување и пражњење [1].

Пуњење

Процес пуњења је ендотерман. Топлотна енергија се апсорбује из енергетског извора који би могао бити обновљиви енергетски ресурс и/или конвенционални извори енергије попут фосилних горива. Ова енергија се користи за дисоцијацију термохемијског материјала и еквивалентна је топлоти реакције или енталпији формирања. Након овог процеса, два материјала (А и В) са различитим особинама која се могу складиштити се формирају. Реакција током пуњења може бити написан као:

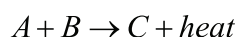


Чување

Након процеса пуњења, компоненте А и В се одвојено складиште са мало или без губитака енергије. Материјали се обично чувају на собној температури, што чини да је систем практично без топлотних губитака (осим током почетног хлађења компоненти А и В после пуњења). Било који други губици енергије су последица деградације материјала.

Пражњење

Током овог процеса, А и В се комбинују у егзотермној реакцији. Енергија се стога може чувати са занемарљивим термалним губитком, јер топлота се не чува у сензибилном или латентном складишту, већ као хемијски потенцијал. Након пражњења, компонента С се регенерише и поново се може користити у циклусу. Реакција пражњења може бити написана као:



Различите врсте термичких система за складиштење енергије су квантитативно упоређене и доведене у односу у Табели 3 [10], узимајући у обзир опсег релевантних параметара перформанси и фактора. Можемо напоменути да термохемијско складиштење има неоспорну

Параметар	Тип складишта топлотне енергије		
	Сензибилан	Латентан	Хемијски
Распон температуре	до: • 110°C (резервоар са водом) • 50°C (издани и земљишна складишта) • 400°C (бетон)	• 20-40°C (парафини) • 30-80°C (хидрати соли)	• 20-200°C
Густина складишта	Ниска (са високим температурним интервалом) 0,2 GJ/m ³ (за типичне резервоаре са водом)	Умерена (са ниским температурним интервалом) 0,3-0,5 GJ/m ³	Висока 0,4-3 GJ/m ³
Век трајања	Дуг	Често скраћен због мењања материјала	Зависи од нежељених деградација и споредних реакција
Технолошки статус	Доступан комерцијално	Доступан комерцијално за неке температуре и материјале	Генерално недоступан сем за одређена истраживања и пробне тестове
Предности	• Ниска цена • Поуздан • Лака постава са доступним материјалима	• Умерена густина складиштења • Мале запремине • Кратак транспортни пут	• Висока густина складиштења • Ниски губици топлоте • Дуг период складиштења • Дуг транспортни пут • Високо складиштење компактне енергије
Недостаци	• Значајан губитак топлоте временом (у зависности од нивоа изолације) • Потреба за великим запреминама	• Ниска проводљивост топлоте • Корозија материјала • Значајни губици топлоте (у зависности од нивоа изолације)	• Високи капитални трошкови • Техничка комплексност

Табела 3. Поређење различитих типова акумулације топлотне енергије [10]

предност, омогућавајући складиштење топлоте на собној температури, што доводи до ситуације да нема дугорочног самопражњења јединице за складиштење. То представља значајну корист за сезонске апликације за складиштење. Термохемијски системи за складиштење енергије такође имају неколико предности у односу на друге врсте термичких система за складиштење енергије:

- Компоненте (А и В) се обично чувају одвојено на температури околине, после хлађења на амбијенталне услове након њиховог стварања. Дакле, постоји мало или нимало губитака топлоте током периода складиштења и као последица тога, изолација није потребна.
- Као резултат ниских губитака топлотне енергије, термохемијски систем за складиштење је користан за кратке интервале, као и на дуже периоде, као што се користи у сезонском топлотном складиштењу.
- Термохемијски материјали имају већу густину енергије у односу на фазно променљиве материјале и сензибилне медије за складиштење. Због високе густине енергије и компактне природе термохемијског складиштења, ову врсту технологије многи сматрају обећавајућом и за стамбене и за пословне објекте. Топлота складиштења базирана на хемијским реакцијама може се применити за грејање и хлађење како у малим тако и у великим зградама.

Постоји велики број обећавајућих технологија и материјала за сезонско хемијско складиштење топлоте, али је потребно још много истраживања пре него што оне постану практичне и економичне. Главна област истраживања треба да буде на материјалима који су или сувише скупи, немају права својства или још увек нису показали да раде у прототиповима са реалним граничним условима.

ЗАКЉУЧАК

У овом раду представљено је више технологија за складиштење енергије које су на различитим ступњевима развијености. Неке су на научној сцени дуже присутне, попут сензибилне, па су самим тим зрелије и развијеније и нашле су више примена у пракси. Технологије акумулације попут латентне и термохемијске су још у фази истраживања и ретко налазе апликативну примену. Пред њима је будућност и очекује се да ће у догледно доба заменити сензибилно складиштење на ефикасан и поуздан начин. Тренутно је сензибилно складиштење енергије за сезонске потребе применљивије и прихватљивије од друга два. Али, како се истраживања буду настављала, латентно и термохемијско складиштење, као акумулације са знатно већом енергетском густином ће узимати примат. Оно што је свима заједничко је да несумњиво морају да задовоље услове ефикасности, исплативости, одрживости, поузданости и све еколошке мере законом прописане. Као резултат, очекује се мања зависност од фосилних горива и смањење емитовања гасова стаклене баште као интернационални циљ и изазов XXI века.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је настао као резултат истраживања на пројекту „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења (III 42013)“ које је финансирао Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] *Energy storage: Applications and challenges*, T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. ElRhafiki, Y. Zeraoui, In: *Solar Energy Materials & Solar Cells*
- [2] *A review of available technologies for seasonal thermal energy storage*, J. Xu, R.Z. Wang, Y. Li, In: *Solar Energy*
- [3] *Review of seasonal heat storage in large basins: Water tanks and gravel-water pits*, Amaya V. Novo, Joseba R. Bayon, Daniel Castro-Fresno, Jorge Rodriguez-Hernandez, In: *Applied Energy*
- [4] *Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage*, A.I. Fernandez, M. Martinez, M. Segarra, I. Martorell, L.F. Cabeza, In: *Solar Energy Materials & Solar Cells*
- [5] *Central solar heating plants with seasonal storage in Germany*, T. Schmidt, D. Mangold, H. Muller-Steinhagen, In: *Solar Energy*
- [6] *Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials*, A. Abhat, In: *Solar Energy*
- [7] *CFD-modelling of natural convection in a groundwater-filled borehole heat exchanger*, A. M. Gustafsson, L. Westerlund, G. Hellström, In: *Applied thermal engineering*
- [8] *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*, Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, D. Buddhi, In: *Renewable and sustainable energy reviews*
- [9] *Thermal storage in salt – hydrates*, Maria Telkes, In: *Solar Thermal Storage Development*
- [10] *Thermochemical Energy Storage Systems: Modelling, Analysis and Design* Ali Haji Abedin, In: *A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering*