

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei  
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică  
Departamentul Energetică**

**Admis la susținere**

**Șefă departament:**

**HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.**

**” \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025**

**Soluții de stocare a energiei termice și integrarea lor în  
sistemele de alimentare centralizate cu energie termică**

**Teză de master**

**Masterand:** \_\_\_\_\_ **COCIMARIUC Vladislav,  
gr. EM-23M**

**Conducător:** \_\_\_\_\_ **HLUSOV Viorica,  
conf. univ., dr.**

**Chișinău, 2025**

## ADNOTARE

**Autor** –COCIMARIUC Vladislav. **Titlul** – *Soluții de stocare a energiei termice și integrarea lor în sistemele centralizate de alimentare cu energie termică*

**Structura lucrării:** lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii, bibliografie din 4 titluri și 7 link-uri utilizate, 78 pagini, 24 figuri, 4 tabele.

**Cuvinte-cheie:** stocare energie termică, SACET, nisip supraîncălzit, decarbonizare, energie regenerabilă, tranziție energetică.

**Problematika studiului:** Studiarea, proiectarea și evaluarea viabilității soluțiilor de stocare a energiei termice în cadrul sistemelor centralizate de alimentare cu energie termică, punând accent pe tehnologia stocării în nisip supraîncălzit.

**Obiectivele studiului:** Propunerea unor soluții eficiente și sustenabile pentru integrarea stocării energiei termice în SACET, reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>, îmbunătățirea eficienței energetice și asigurarea compatibilității tehnice cu infrastructura existentă.

**Rezultate obținute:** Analiza tehnico-economică a soluțiilor de stocare termică, identificarea beneficiilor și provocărilor implementării tehnologiei de stocare în nisip supraîncălzit, precum și integrarea acestora în rețelele SACET existente pentru o tranziție energetică durabilă.

## ABSTRACT

**Author** – COCIMARIUC Vladislav. **Title** – *Thermal Energy Storage Solutions and Their Integration into District Heating Systems.*

**Thesis structure:** The work contains an introduction, five chapters, conclusions, bibliography of 4 titles and 6 used links, 78 pages, 24 figures, 4 tables.

**Keywords:** thermal energy storage, district heating, overheated sand, decarbonization, renewable energy, energy transition.

**Study issues:** To study, design, and evaluate the feasibility of thermal energy storage solutions within district heating systems, with a focus on overheated sand storage technology.

**The study's objectives:** To propose efficient and sustainable solutions for integrating thermal energy storage into district heating systems, reducing CO<sub>2</sub> emissions, improving energy efficiency, and ensuring technical compatibility with existing infrastructure.

**Result obtained:** A techno-economic analysis of thermal storage solutions, identification of benefits and challenges associated with implementing overheated sand storage technology, and the integration of this technology into existing district heating networks to support sustainable energy transition.

## CUPRINS

Pag.

<b>INTRODUCERE</b> .....	10
<b>1. TRANZIȚIA ENERGETICĂ ȘI PROVOCĂRILE SCHIMBĂRILOR CLIMATICE: ROLUL SACET ȘI IMPACTUL ASUPRA REPUBLICII MOLDOVA</b> .....	12
<b>1.1. Schimbarea climei și necesitatea combaterii acestui fenomen</b> .....	12
1.1.1. Fenomenul încălzirii globale .....	12
1.1.2. Necesitatea combaterii fenomenului schimbării climei .....	13
1.1.3. Acordul de la Paris și rolul Uniunii Europene în promovarea obiectivelor sale la nivel global .....	15
1.1.4. Cadrul politic și legislativ al Uniunii Europene .....	16
<b>1.2. Tranziția energetică globală</b> .....	17
1.2.1. Tranziția energetică globală către un nou viitor energetic .....	17
1.2.2. Sursele principale de energie ale viitorului .....	20
1.2.3. Evoluția structurii producției de energie .....	22
<b>1.3. Sistemul de alimentare centralizată cu energie (SACET) – un pilon al sistemului energetic</b> .....	24
1.3.1. Caracteristici ale viitorului sistem energetic .....	24
1.3.2. SACET și rolul lui în viitorul sistem energetic .....	25
1.3.3. Elementele noi în SACET-ul viitorului .....	27
<b>1.4. Tranziția energetică – provocări și avantaje pentru RM</b> .....	30
1.4.1. Provocările implementării surselor de energie regenerabilă în Republica .....	30
1.4.2. Avantajele economice și de mediu ale tranziției energetice pentru Republica Moldova .....	31
1.4.3. Rolul politicilor și al finanțării externe în sprijinirea tranziției energetice a Republicii Moldova .....	33
1.4.3. Aportul SACET în tranziția energetică națională.....	35
<b>2. SOLUȚII ȘI TEHNOLOGII DE STOCARE A ENERGIEI TERMICE</b> .....	36
<b>2.1. Tehnologii de stocare a energiei termice</b> .....	36
2.1.1. Clasificarea sistemelor de stocare: pe termen scurt și pe termen lung .....	36
2.1.2. Tehnologia de stocare în nisip supraîncălzit: principii și avantaje .....	38
2.1.3. Proprietățile termice ale nisipului: conductivitate și capacitate termică .....	41
2.1.4. Procesul de încărcare și descărcare a energiei în nisip .....	43
<b>2.2. Exemple privind implementarea proiectelor bazate pe tehnologia de stocare a energiei în rezervoare cu nisip</b> .....	45
2.2.1. Proiecte de scală mare în Uniunea Europeană .....	45
2.2.2. Tehnici de încărcare și descărcare a energiei .....	47
2.2.3. Provocări tehnice și soluții inovatoare în proiectele de stocare cu nisip supraîncălzit .....	51
<b>3. INTEGRAREA INSTALAȚIILOR DE STOCARE A CĂLDURII ÎN SACET</b> .....	53
<b>3.1. Compatibilitatea stocării în nisip cu sistemele centralizate de încălzire</b> .....	53
3.1.1. Integrarea în circuitul termic existent al SACET .....	53
3.1.2. Adaptarea infrastructurii pentru compatibilitate tehnică .....	54
3.1.3. Evaluarea durabilității și performanței .....	56
<b>3.2. Optimizarea parametrilor de funcționare</b> .....	58
3.2.1. Dimensiunea rezervoarelor de nisip și controlul temperaturii .....	58
3.2.2. Modelare și simulare pentru optimizarea stocării .....	60

<b>4. FUNDAMENTAREA TEHNICO-ECONOMICĂ ȘI IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI AMBIANT A SOLUȚIEI DE STOCARE A ENERGIEI TERMICE.....</b>	<b>64</b>
<b>4.1. Fundamentarea tehnico-economică a soluției de stocare cu nisip a energiei termice ....</b>	<b>64</b>
4.1.1. Estimarea cheltuielilor de implementare și analiza fezabilității economice .....	64
4.1.2. Analiza cost-eficiență pentru mediile de stocare a energiei termice precum apa și rocile utilizate în sistemele de stocare a energiei termice.....	70
4.1.3. Surse de finanțare și posibilități de subvenționare pentru sistemele de stocare a energiei .....	72
<b>4.2. Impactul asupra mediului .....</b>	<b>74</b>
4.2.1. Contextul actual al impactului sistemelor energetice asupra securității .....	74
4.2.2. Riscuri de securitate asociate sistemelor de stocare a energiei termice .....	75
4.2.2. Impactul ecologic și reducerea emisiilor de CO <sub>2</sub> prin sisteme de termoficare și stocare a energiei .....	76
<b>CONCLUZII .....</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>78</b>

## INTRODUCERE

Una dintre cele mai mari provocări cu care se confruntă sectorul energetic este decarbonizarea sistemelor de încălzire, care contribuie în mod semnificativ la emisiile globale de carbon. Sistemele de termoficare centralizate, în special în mediul urban, depind adesea de combustibili fosili, precum gazul natural, cărbunele sau petrolul. Prin integrarea stocării energiei termice, aceste sisteme pot valorifica sursele regenerabile de energie, cum ar fi energia solară și eoliană, care pot furniza căldură cu emisii minime de carbon. De asemenea, energia regenerabilă poate fi stocată și utilizată în perioadele cu cerere mare, decuplând astfel producția de energie de consum.

Tehnologiile de stocare a energiei termice permit sistemelor de termoficare să funcționeze mai eficient, stocând energia termică în exces atunci când cererea este scăzută și eliberând-o în perioadele de cerere maximă. Acest lucru reduce nevoia de producție auxiliară de căldură bazată pe combustibili fosili, scăzând astfel costurile operaționale și impactul asupra mediului. În sistemele care încorporează surse regenerabile de energie, stocarea energiei termice poate atenua neconcordanța dintre oferta de energie (de exemplu, energia solară din timpul zilei) și cererea de energie (de exemplu, necesitățile de încălzire din seara și lunile de iarnă).

De exemplu, sistemele de termoficare solară echipate cu stocarea energiei termice au demonstrat că pot crește ponderea energiei regenerabile utilizate în sistemele de încălzire și răcire, așa cum se vede în comunitatea solară Drake Landing din Canada. Acest sistem stochează eficient energia solară în timpul verii și o folosește pentru a asigura căldură în timpul iernii, reducând semnificativ dependența de sursele de energie convenționale.

Stocarea energiei termice joacă un rol esențial în integrarea surselor variabile de energie regenerabilă, în special a energiei solare și eoliene, în rețelele de termoficare. Deoarece producția de energie regenerabilă este adesea intermitentă, stocarea excesului de energie în perioadele cu cerere redusă asigură o furnizare stabilă și fiabilă de căldură.

Mai mult, stocarea energiei termice permite sistemelor de termoficare să mute producția de căldură din perioadele cu disponibilitate redusă a energiei regenerabile în momentele în care energia poate fi folosită mai eficient, crescând astfel ponderea generală a surselor regenerabile în mixul energetic. Acest lucru este deosebit de relevant pe măsură ce politicile energetice ale Uniunii Europene continuă să promoveze utilizarea energiei regenerabile pentru a atinge obiectivele ambițioase privind clima.

Avantajele economice ale sistemelor de stocare a energiei termice în rețelele de termoficare sunt multiple. Acestea includ reducerea consumului de combustibil, scăderea costurilor operaționale și posibilitatea de a obține venituri din furnizarea de servicii auxiliare, precum reducerea vârfurilor de consum și transferul sarcinilor. Prin utilizarea energiei termice stocate, operatorii pot evita necesitatea

funcționării centralelor de vârf costisitoare sau achiziționarea de combustibil în perioadele cu cerere ridicată.

În regiunile cu costuri ridicate ale combustibilului sau cu reglementări stricte de mediu, stocarea energiei termice poate oferi economii semnificative și flexibilitate operațională. De exemplu, sistemele care stochează excesul de căldură din procesele industriale sau din surse de energie regenerabilă pot reduce costurile energetice pentru operatorii de termoficare, oferind în același timp căldură fiabilă și la costuri reduse consumatorilor.

Stocarea energiei termice sporește reziliența și securitatea aprovizionării energetice, oferind o rezervă împotriva întreruperilor de aprovizionare sau fluctuațiilor prețurilor combustibililor. În sistemele de termoficare care depind de importurile de combustibili fosili, stocarea energiei termice poate acționa ca o rezervă de energie, asigurând funcționarea continuă în timpul penuriei de combustibil sau a creșterilor de preț. De asemenea, stocarea energiei termice poate ajuta la stabilizarea funcționării rețelei prin absorbția excesului de energie electrică generată în timpul orelor de vârf la generare și convertirea acesteia în căldură pentru stocare.

În plus, prin creșterea eficienței sistemelor de termoficare, stocarea energiei termice reduce risipa și face o utilizare mai eficientă a resurselor energetice existente. Acest lucru se aliniază inițiativelor globale privind clima și sprijină tranziția către sisteme energetice urbane mai sustenabile și reziliente.

Din punct de vedere social, stocarea energiei termice poate contribui la accesibilitatea sistemelor de termoficare, reducând costurile operaționale și stabilizând prețurile energiei. Acest aspect este deosebit de important pentru gospodăriile cu venituri reduse, care sunt afectate în mod disproporționat de costurile ridicate ale energiei.

Studiul soluțiilor de stocare a energiei termice și integrarea lor în sistemele centralizate de alimentare cu energie termică este esențial pentru a aborda o serie de provocări majore din sistemele energetice moderne. Acestea includ decarbonizarea provocată de necesitatea încălzirii, integrarea energiei regenerabile în sistemele centralizate, îmbunătățirea eficienței energetice, sporirea securității energetice și reducerea impactului asupra mediului. Pe măsură ce sistemele de termoficare continuă să evolueze, stocarea energiei termice va juca un rol esențial în asigurarea faptului că acestea rămân eficiente, sustenabile și reziliente în fața cerințelor energetice în schimbare și a condițiilor climatice.

## BIBLIOGRAFIE

1. PEREZ-MORA, N., BAVA, F., ANDERSEN, M., BALES, C., LENNERMO, G., NIELSEN, C., FURBO, S., & MARTÍNEZ-MOLL, V. *Solar district heating and cooling: A review*. International Journal of Energy Research, 42(4), 1419-1441, 2018. DOI: 10.1002/er.3888.
2. SØRENSEN, P. A., PlanEnergi. *Solar District Heating Guidelines – Collection of Fact Sheets WP3 – D3.1 & D3.2*. European Commission, August 2012. Disponibil la: [www.solar-district-heating.eu](http://www.solar-district-heating.eu).
3. ZHIVOV, A., WOODY, A., WALKER, A., CROY, R., RICHTER, S., MEIBNER, R., SEIDLER, D., STRIEWE, W., FORTUIN, S., NETH, D., MAUTHNER, F., WEISS, W., BLAZEK, H., JØRGENSEN, A. O., & RUBAK, R. *Central Solar Hot Water Systems Design Guide*. US Army Installations Management Command (IMCOM), US Army Corps of Engineers (USACE), & US Department of Energy Federal Energy Management Program (DOE FEMP), December 2011. Disponibil la: [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov).
4. TONHAMMAR, A. *Solar District Heating: The Potential of a Large Scale Solar District Heating Facility in Stockholm*. Master Thesis, Uppsala University, January 2014. Disponibil la: [www.teknat.uu.se/student](http://www.teknat.uu.se/student).
5. Firebird. *Guide to Solar Thermal Systems*. Broșură tehnică, 2012. Disponibil la: [www.firebird.ie](http://www.firebird.ie).
6. ARION, V., HLUSOV, V., LEU, V., & BOROSAN, C. *Cogenerarea de mică și medie putere: Justificarea structurii și parametrilor surselor de energie în cadrul unui sistem de termoficare urbană*. Îndrumar metodic. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM,” Universitatea Tehnică a Moldovei, 2022.
7. LEFRÈRE, O., PIERRE, A., BRUMMER, N., CAMERON, S., FITZGERALD, C., HOFER, B., & O’SHEA, J. *Non-technical Guide to 4th Generation District Heating and Cooling (4DHC)*. HeatNet NWE Project, August 2019. Disponibil la: [www.guidetodistrictheating.eu](http://www.guidetodistrictheating.eu).
8. JOLY, M., BOURDOUKAN, P., EGGERS, J.-B., ANDERSEN, M., BALES, C., RUIZ, G., TRIER, D., WEBER, C., & HERKEL, S. *Methodology and Tools for Urban Energy Concepts: Technical Report of IEA SHC Task 52, Subtask B*. Sorane SA, IEA Solar Heating and Cooling Programme, 15 iunie 2018. Disponibil la: [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org).
9. KJAERGAARD, L., JENSEN, N. A., & MARSTAL FJERNVARME. *SUNSTORE 4 Project: Innovative, Multi-Applicable and Cost-Efficient Hybrid Solar and Biomass District Heating System with Long-Term Heat Storage and ORC Electricity Production*. Seventh Framework Programme, June 2014. Disponibil la: [www.sunstore4.eu](http://www.sunstore4.eu).
10. SALOUX, E., & CANDANEDO, J. A. *Sizing and Control Optimization of Thermal Energy Storage in a Solar District Heating System*. Energy Reports, vol. 7, supliment 4, octombrie 2021, pp. 389-400. Prezentat la *17th International Symposium on District Heating and Cooling (DHC2021)*, 6–9 septembrie 2021, Nottingham, UK. DOI: 10.2021.08.092.