

CENTRE DE DATE CU RACIRE BAZATA PE LICHID: TEHNICI NOI PENTRU OPTIMIZAREA FLEXIBILITĂȚII TERMICE ȘI REUTILIZAREA LA CERERE A CĂLDURII UEFISCDI PD 33/2020

1. Obiective An 2020

Obiectivul principal al proiectului CoolDC este de a dezvolta modele, tehnici și algoritmi care să permită centrelor de date (CD) să determine și să își exploateze flexibilitatea termică pentru a furniza la cerere căldură în rețele de încălzire din apropiere. Prima etapă de execuție a proiectului „Studiul corelației dintre distribuția workload-ului, temperatura de referință, flexibilitatea termică a sistemelor și cererea de căldură” se întinde pe 4 luni din septembrie până în decembrie 2020 și are ca obiective: **O1**: Analiza stadiului actual și scenariilor de reutilizare a căldurii în centre de date; **O2**: Definirea flexibilității termice și identificarea constrângerilor.

2. Descrierea Științifică și Tehnică

Această secțiune detaliază realizările științifice și tehnice ale proiectului în conformitate cu obiectivele și activitățile definite pentru prima etapă. Secțiunea 2.1 prezintă o analiză a stadiului actual a cercetării în domeniul modelării și optimizării centrelor de date (CD) având ca punct de start propunerea de proiect iar Secțiunea 2.2 descrie un scenariu de re-utilizare a căldurii reziduale și principalele cerințe și constrângeri tehnice în utilizarea flexibilității principalelor sisteme dintr-un CD.

2.1. Stadiul actual pentru reutilizarea căldurii în centre de date

În ultimul timp costurile de operare și întreținere a centrelor de date au crescut foarte mult și în consecință eforturile de cercetare se concentrează pe dezvoltarea de tehnici și modele pentru îmbunătățirea eficienței acestora [1]. Sistemul de răcire a devenit un mare contribuitor la consumul total de energie al unui CD chiar și în cazul celor concepute pentru eficiența energetică crescută, acesta consumând aproape 37% din necesarul de energie [2]. Studiile arată că CD au consumat în 2017 peste 1247 MW de energie, în timp ce căldura generată de procesele computaționale este suficientă pentru a încălzi aproximativ 2 milioane de gospodării [3]. Densitatea sporită a cipurilor și resursele computaționale moderne pun presiune enormă asupra sistemelor de răcire dintr-un CD care trebuie să lucreze mai intens pentru a elimina căldura, menținând în același timp eficiența energetică [4]. Totodată, noile tehnologii, cum ar fi învățarea automată sau blockchain-ul, obligă DC-urile să adopte răcirea lichidă, întrucât multe dintre noile procesoare proiectate pentru procesele de învățare automată nu se mai pot raci cu aer [5].

Analiza tehnologiilor existente am organizat-o în două direcții principale: i) dezvoltarea de modele digitale care să permită analiza potențialului de energie termică flexibilă ce poate fi utilizată pentru a adresa nevoile de căldură a unui cartier / clădiri din apropiere și ii) tehnici de optimizare ce urmăresc adaptarea dinamică a generării energiei termice pentru a acoperi cât mai bine cererea de căldură.

În cazul primei direcții există foarte puține abordări în literatură. Majoritatea urmăresc evaluarea cantității de căldură ce poate fi reutilizată [6] și puține abordează flexibilitatea termică și inerția asociată unui CD [7]. Mai mult, acestea se referă la centrele de date răcite pe bază de aer și se concentrează pe analiza și funcționarea eficientă a pompelor de căldură pentru recuperarea căldurii [8]. Dezvoltarea de modele de estimare a flexibilității termice a CD se face în strânsă legătură cu conceptul de model gemă digital/virtual (digital twin - DT). Acesta este o reprezentare digitală sau virtuală a sistemelor fizice dintr-un CD și poate fi folosit cu succes pentru a efectua diverse analize și procese de simulare în raport cu consumul de energie și generarea de căldură [9]. Pentru construcția unor astfel de modele, diferite abordări sunt propuse în literatură: AutomationML [10], sisteme bazate pe agenți [11], automate de stare și logica fuzzy [12], grafuri de cunoștințe și semantică [13] etc.

În cazul celei de-a doua direcții de cercetare, identificăm soluții bazate pe controlul sistemelor de răcire și de recuperare a căldurii reziduale în CD [14], precum și modalități eficiente de recuperare a căldurii din CD pentru a fi utilizată la încălzirea cartierelor [15]. Autorii din [16] prezintă o infrastructură de reutilizare a căldurii generată de un set de servere pentru a furniza căldură unei sere. De asemenea, sisteme speciale bazate pe pompe termice au fost proiectate pentru a transfera căldura absorbită la o temperatură mai mare, potrivită pentru transportul la distanță [17]. Răcirea bazată pe lichid este eficientă în reducerea consumului de energie al sistemelor de răcire din CD, și permite reutilizarea și distribuția căldurii în mod eficient [18]. În [19] sunt prezentate două concepte de reutilizare a căldurii reziduale: fie integrarea căldurii recuperate din CD în linia de retur a rețelei de termoficare, fie utilizarea acesteia local în clădiri

situate în apropierea centrului de date. Articolul [20] prezintă un studiu al impactului unei baterii termice atașate la pompele de căldură pentru a crește inerția termică a sistemului și a răci eficient un CD.

2.2. Scenariul de reutilizare a căldurii, definirea flexibilității termice și identificarea constrângerilor

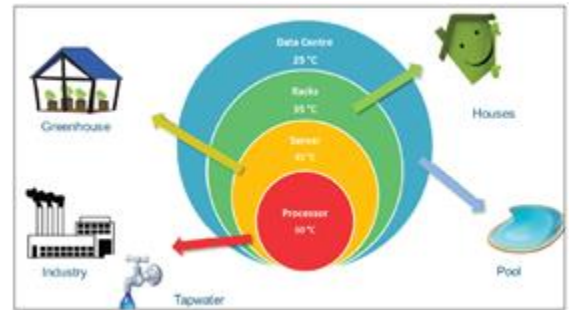
Principalul scenariu de reutilizare a căldurii e acela în care avem un singur CD care are o conexiune fizică cu rețeaua de căldură și poate injecta la cerere căldura recuperată din camera serverelor. CD este localizat într-un cartier sau are în proximitate o clădire de birouri în care poate injecta căldura.

Obiectiv principal: Optimizarea modului de operare a CD-ului pentru a exploata flexibilitatea termică urmărind să crească calitatea și cantitatea energiei reutilizate. Vom urmări recuperarea, redistribuirea și reutilizarea căldurii reziduale a unui CD pentru încălzirea spațiilor din clădiri (rezidențiale și nerezidențiale, cum ar fi spitale, hoteluri, sere și piscine) sau pentru furnizarea de apă caldă. Pentru CD căldura reutilizată devine în acest fel o nouă sursă de venit sprijinind totodată urbanizarea orașelor inteligente.

Actorii: Operatorul CD-ului, Operatorul rețelei termice, Agregator de căldură.

Constrângerii: **C1:** CD se află într-o aglomerare urbană care beneficiază de politici, și infrastructură care permit recuperarea, redistribuirea și re folosirea căldurii reziduale; **C2:** CD are instalată o infrastructură de monitorizare a consumului de energie, a căldurii generate și recuperate și a modului de distribuție a workload-ului și a încărcării serverelor; **C3:** Infrastructura de răcire trebuie să permită recuperarea căldurii reziduale și livrarea ulterioară a acesteia la rețeaua de termoficare locală; **C4:** În funcție de tehnologia de răcire utilizată, CD-ul poate recupera căldura la temperatura dorită, folosind o pompă de căldură pentru a crește temperatura agentului termic înainte de livrarea în rețeaua termică; **C5:** CD-ul poate seta și regla nivelul temperaturii din camera serverelor pentru perioade limitate de timp îmbunătățind astfel calitatea căldurii care urmează să fie reutilizată; **C6:** CD-ul poate avea instalat și poate utiliza un sistem de stocare a energiei termice, putând să ofere o flexibilitate mai bună în livrarea căldurii recuperate; **C7:** CD-ul are un acord cu operatorul rețelei pentru a furniza căldura reziduală în rețeaua termică. Operatorul rețelei termice este responsabil pentru transportul și distribuția căldurii către consumatorii finali.

Descriere scenariu: este iarna și se preconizează un val de frig pentru a doua zi, prin urmare, cererea de căldură pentru încălzirea clădirilor va fi mare și în același timp, există o cerere ridicată de apă caldă (Figura 1). Operatorul rețelei termice ar dori să-și reducă costurile de producție a căldurii astfel, trimite o solicitare de generare de căldură către un CD pentru a-și cumpăra căldura reziduală pentru a doua zi. CD va utiliza flexibilitatea termică internă pentru a furniza căldura în rețeaua de căldură la calitatea contractuală stabilită.



Flexibilitatea termică a CD-ului:

Componentă	Tehnici de Flexibilitate Termică
Servere și Workload	Planifică execuția sarcinilor de lucru cu toleranță la întârziere pentru a obține un raport ridicat de utilizare a serverelor, fără însă a pune în pericol funcționarea corectă a echipamentelor IT.
Radiatoarele sistemelor de răcire	Variația debitului apei care circulă prin sistemul de conducte al radiatorului poate compensa sau regla gradul de utilizare al sistemului electric de răcire din camera serverelor.
Pompa de căldură și bazinele de apă folosite ca și baterii termice	Variația debitului de apă dintre pompa de căldură și rezervoarele de apă rece și caldă folosite ca baterii termice influențează temperatura caldă apei livrate de CD

3. Concluzii

În această primă fază de execuție a proiectului eforturile s-au concentrat pe activități de cercetare pentru identificarea stadiului actual al cercetării în domeniul managementului eficient al centrelor de date cu răcire folosind lichid. În urma analizei domeniului a fost identificat principalul scenariu de re-utilizare a căldurii în rețelele termice din apropiere, constrângerile operaționale și sursele potențiale de flexibilitate într-un centru de date. În următoarea etapă ne vom concentra pe determinarea potențialului de reutilizare a căldurii în centrele de date, dezvoltarea de modele pentru estimarea profilurilor de bază a căldurii generate precum și predicția flexibilității termice.

4. Pagina Web

Pagina web în **limba română** a proiectului a fost dezvoltată și este disponibilă la adresa: <http://coned.utcluj.ro/coolcdc/>. Aceasta pune în evidență obiectivele proiectului, rezultatele țintite, și aspecte legate de diseminare precum publicații, articole în reviste sau conferințe.

5. Referinte

- [1] Tudor Cioara, Ionut Anghel, Ioan Salomie, Marcel Antal, Claudia Pop, Massimo Bertoncini, Diego Arnone, Florin Pop, Exploiting data centres energy flexibility in smart cities: Business scenarios, Information Sciences, 2019, ISSN 0020-0255 IF: 5.524 Q1
- [2] Mikko Wahlroos, Matti Pärssinen, Samuli Rinne, Sanna Syri, Jukka Manner, Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 2, 2018, Pages 1749-1764, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.058>.
- [3] Unica Energy Solutions, Reusing Residual Heat from Data Centers HOW DATA CENTERS WILL HELP HEAT 2 MILLION HOUSEHOLDS BY 2030, [https://www.unica.nl/sites/default/files/2018-02/Whitepaper%20Restwarmte%20Datacenters%20\(EN\)%20-%20versie%2008022018_0.pdf](https://www.unica.nl/sites/default/files/2018-02/Whitepaper%20Restwarmte%20Datacenters%20(EN)%20-%20versie%2008022018_0.pdf)
- [4] Khosrow Ebrahimi, Gerard F. Jones, Amy S. Fleischer, A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 31, 2014, Pages 622-638, ISSN 1364-0321.
- [5] Albert Ahdoot, WHAT DATA CENTER PROFESSIONALS NEED TO KNOW ABOUT LIQUID COOLING, <https://www.colocationamerica.com/blog/data-center-cooling-what-you-need-to-know>
- [6] Zhiguang He, Tao Ding, Yu Liu, Zhen Li, Analysis of a district heating system using waste heat in a distributed cooling data center, Applied Thermal Engineering, Volume 141, 2018, Pages 1131-1140, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.06.036>.
- [7] Jide Niu, Zhe Tian, Yakai Lu, Hongfang Zhao, Flexible dispatch of a building energy system using building thermal storage and battery energy storage, Applied Energy, Volume 243, 2019, Pages 274-287, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.187>.
- [8] Anna Haywood, Jon Sherbeck, Patrick Phelan, Georgios Varsamopoulos, Sandeep K.S. Gupta, Thermodynamic feasibility of harvesting data center waste heat to drive an absorption chiller, Energy Conversion and Management, Volume 58, Pages 26-34, ISSN 0196-8904.
- [9] Digitalization of the Electricity Participation, Position paper, 2018, WTIP SNET WG4
- [10] Greyce N. Schroeder, Charles Steinmetz, Carlos E. Pereira, Danubia B. Espindola, Digital Twin Data Modeling with AutomationML and a Communication Methodology for Data Exchange., IFAC-PapersOnLine, Volume 49, Issue 30, 2016,
- [11] Orozco-Romero A., Arias-Portela C.Y., Saucedo J.A.M. (2020) The Use of Agent-Based Models Boosted by Digital Twins in the Supply Chain: A Literature Review. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1072. Springer, Cham
- [12] K. M. Alam, A. El Saddik: C2PS: A Digital Twin Architecture Reference Model for the Cloud-Based CPS, IEEE Access, 2017
- [13] A. Banerjee et al. Generating Digital Twin models using Knowledge Graphs for Industrial Production Lines, Agniva Banerjee Industrial Knowledge Graphs, co-located with the 9th International ACM Web Science Conference 2017. June 25, 2017 in Troy, NY, USA
- [14] Chayan Nadjahi, Hasna Louahlia, Stéphane Lemasson, A review of thermal management and innovative cooling strategies for data center, Sustainable Computing: Informatics and Systems, Volume 19, 2018, Pages 14-28, ISSN 2210-5379, <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.05.002>.
- [15] Mikko Wahlroos, Matti Pärssinen, Samuli Rinne, Sanna Syri, Jukka Manner, Future views on waste heat utilization – Case of data centers in Northern Europe, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 2, 2018, Pages 1749-1764, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.058>.
- [16] Marcus Sandberg, Datacenters heat up greenhouses, 2017 <https://www.ltu.se/ltu/media/news/Restvarme-fran-datacenter-varmer-vaxthus-1.166985?l=en>
- [17] Matti Pärssinen, Mikko Wahlroos, Jukka Manner, Sanna Syri, Waste heat from data centers: An investment analysis, Sustainable Cities and Society, Volume 44, 2019, Pages 428-444, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.023>.
- [18] Center of Expertise for Energy Eficiency in Data Centers, Liquid Cooling, Development of Liquid Cooled Standards, <https://datacenters.lbl.gov/technologies/liquid-cooling>
- [19] Johannes Oltmanns David Sauerwein Frank Dammel Peter Stephan Christoph Kuhn, Potential for waste heat utilization of hot-water-cooled data centers: A case study, 2020 <https://doi.org/10.1002/ese3.633>
- [20] White Paper, Intel Information Technology, Thermal Storage System Provides Emergency Data Center Cooling, <https://www.intel.com/content/dam/doc/white-paper/intel-it-thermal-storage-system-provides-emergency-data-center-cooling-paper.pdf>

**Director Proiect,
Antal Marcel**

