**Obstacolele care stau în calea adoptării sistemelor tehnologice integrate**

**bazate de pompe de căldură în vederea creșterii eficienței energetice și a reducerii amprenetei de carbon**

Carmen PĂUNESCU, Violeta-Mihaela DINCĂ, Anca BOGDAN, Simona I. GOIA, Stere STAMULE, Tănase STAMULE, Adrian TANȚĂU

Academia de Studii Economice București, Romania

1. **Eficiența energetică în literatura de specialitate, în contextual promovării pompelor de căldură**

Nevoile stringente globale de a proteja mediul, de a economisi energie și de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră au determinat sectorul rezidențial să implementeze atât măsuri individuale de economisire, cât și o abordare mai sistematică pentru îmbunătățirea performanței energetice generale a zonelor rezidențiale.

În acest context această cercetare caută să exploreze factorii determinanți și obstacolele în calea utilizării sistemelor integrate bazate pe pompe de căldură pentru încălzirea menajeră, răcirea și producerea de apă caldă în locuințe, pentru a le îmbunătăți performanța energetică și a reduce amprenta de carbon.

Tendința care se observă pe piața energiei este reliefată de concentrarea actorilor asupra creșterii eficienței energetice. Utilizarea tehnologiilor și practicilor eficiente din punct de vedere energetic se răspândește pe scară largă pe măsură ce întreprinderile și persoanele fizice încearcă să-și reducă consumul și costurile energetice.

Măsurile de eficiență energetică nu numai că reduc emisiile de carbon, ci oferă și economii semnificative de costuri pentru întreprinderi, gospodării și rezidenți.

Electrificarea încălzirii și răcirii clădirilor rezidențiale și comerciale este una dintre soluțiile cheie în îmbunătățirea eficienței energetice și scăderea emisiilor de gaze cu efect de seră (Moghaddam ș.a., 2016). Sistemele integrate bazate pe pompe de căldură pot juca un rol cheie în acest process ([Janhunen](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/23007603) *ș.a.*, 2022). Deși beneficiile și aplicațiile pompelor de căldură sunt bine stabilite, tehnologia nu a fost adoptată pe scară largă, limitând astfel înțelegerea potențialului reducerii consumului de energie și reduceri de emisii, sau alte beneficii de care pot beneficia rezidenții.

Tehnologia pompelor de căldură oferă o cale către reducerea utilizării combustibililor fosili pentru încălzirea locuințelor, reducerea facturilor la energie și reducerea poluării aerului și a emisiilor de gaze cu efect de seră ([Gradziuk](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/15865396) *ș.a.*, 2022). Pompele de căldură preiau cea mai mare parte a energiei dintr-o sursă de energie regenerabilă sub formă de apă, energie geotermală sau aer (Kelly *ș.a.*, 2022). Electricitatea necesară pentru acționarea pompei de căldură poate fi obținută dintr-o sursă de energie regenerabilă (panouri fotovoltaice).

Alegerea unui anumit sistem de încălzire în locuințe este de cele mai multe ori dictat de costul acestuia. Totuși pe lângă acest factor trebuie avut în vedere faptul că pompele de căldură eficiente au potențialul de a reduce semnificativ emisiile de gaze cu efect de seră în procesul de încălzire și răcire al clădirilor. Astfel, cu toate că pompele de călduă au costurile inițiale ridicate, în timp ele pot deveni o investiție profitabilă ca urmare a noilor standarde de eficiență energetică ([Kircher](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/23465590) & [Zhang](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/72677), 2021).

Chiar dacă prezintă avantaje pentru mediu și oferă un curs fezabil de decarbonizare a sectorului de termoficare, există încă obstacole economice, administrative, structurale și de infrastructură, care pot împiedica procesul de implementare a sistemelor integrate bazate pe pompe de căldură (Sanner, 2017).

În prezent, există numeroase cercetări care caută să identifice și analizeze diferite soluții de îmbunătățire a eficienței energetice pentru sistemele de incălzire (Sivagami & Jothi Swaroopan, 2020; Smith *ș.a.*, 2021).

În timp ce îmbunătățirea eficienței energetice și a performanței clădirilor este o preocupare cheie în sectorul rezidențial, atât dezvoltatorii, cât și factorii de decizie politică sunt, de asemenea, preocupați de asigurarea și menținerea unui nivel rezonabil de confort și bunăstare în gospodării. Pe lângă simpla reducere a facturii de energie a unei gospodării, eficiența energetică generează îmbunătățirea stării de sănătate a consumatorilor, creșterea productivității muncii, și a securității energetice, precum și reducerea poluării (McAndrew *ș.a.*, 2021).

De asemenea, cetățenii, în special proprietarii de gospodării, sunt încurajați din ce în ce mai mult să-și asume roluri mai active în îmbunătățirea eficienței energetice, de exemplu, de la roll de consumator activ la aranjamente mai participative pe piața de energie pentru consumatori (Lennon *ș.a.*, 2023). Astfel, implicarea voluntară a cetățenilor în comunitățile energetice care abordează diverse aspecte ale tranzițiilor energetice cu emisii scăzute de carbon, ajută la democratizarea și diversificarea modului în care este produsă și consumată energia (Dudka *ș.a.*, 2023).

1. **Metodologia cercetării**

Cercetarea identifică și analizează obstacolele care stau în calea adoptării sistemelor tehnologice integrate bazate de pompe de căldură în gospodării ca alternativă la sistemele convenționale de încălzire și răcire, care sunt mai poluante.

Cercetarea este de tip anchetă și s-a bazat pe elaborarea și difuzarea unui chestionar specializat. Acesta a avut în vedere identificarea atitudinii consumatorilor din România cu privire la decarbonizare și la tehnologiile integrate bazate pe pompe de căldură.

Chestionarul cuprinde trei părți principale: prima parte conține întrebări demografice și întrebări legate de locuința respondenților, a doua parte vizează măsurarea atitudinii față de eficiența energetică și reducerea amprentei de carbon, în timp ce a treia secțiune evaluează factorii care ar putea influența atitudinea și percepția respondenților despre energia verde.

Această cercetare este concentrate asupra secțiunii a treia a chestionarului.

Pentru a maximiza rata de răspuns și a minimiza rata de abandon, toate întrebările sunt închise și, cu excepția celor demografice, sunt formulate pe o scală Likert de cinci puncte, care evaluează gradul de acord sau dezacord al respondenților cu o anumită afirmație, după cum urmează: 5—total de acord; 4—de acord; 3 — nici acord, nici dezacord; 2 — nu sunt de acord; 1 — total dezacord.

Chestionarul a fost distribuit online și au fost colectate 389 de răspunsuri valide în perioada martie-iunie 2023.

Pentru un nivel de încredere de 95%, o marjă de eroare de 5%, o dimensiune a populației de 9.655.685 (conform Institutului Național de Statistică la 31 decembrie 2022 existau 9.655.685 unități de locuit în România) și o p̂ recomandată de 0,5 dacă nu sunteți sigur (în cazul nostru nu se știe pentru câte locuințe ar fi adecvată utilizarea tehnologiilor moderne, cum ar fi sistemele integrate bazate pe pompe de căldură, stocarea energiei termice și sistemele de control inteligent), rezultă o dimensiune a eșantionului de 385.

1. **Rezultate și discuție**

Caracteristicile eșantionului asociat acestei cercetări sunt prezentate în Tabelul 1. După cum putem observa, 87,7% dintre respondenți locuiesc în mediul urban, 68,3% au sub 25 de ani, iar 78,7% dintre ei locuiesc în locuințe izolate termic.

Tabelul 1. Caracteristicile eșantionului

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Variabile** | **Nivel** | **Procent (%)** |
| Rezidența | Mediu Urban  Mediu Rural | 87.7  12.3 |
| Grupa de vârstă | 18-25 ani  26-35 ani  36-45 ani  46-55 ani  56-65 ani  Peste 65 ani | 68.3  9.3  11.1  9.0  1.3  1.0 |
| Reprezentare | Feminină  Masculină | 56.6  43.4 |
| Educatie | Liceu  Bachelor  Master  Studii postuniversitare  Doctorat | 51.2  22.6  14.9  6.4  4.9 |
| Izolare termică a clădirii | Izolată  Partial izolată  Neizolată | 78.7  12.8  8.5 |

Sursă: Cercetarea autorilor

Studiul are la bază o regresie liniară pentru a examina obstacolele care stau în calea implementării unei sistem integrat bazat pe pompe de căldură. Astfel se analizează dacă intenția de a implementa un sistem tehnologic integrat bazat de pompe de căldură în locuri rezidențiale, pentru încălzirea menajeră, răcirea și producerea de apă caldă, poate fi prezisă ca fiind negativă în baza mai multor variabile, identificate ca obstacole în calea îmbunătățirii performanței energetice și a reducerii emisiilor de gaze cu efect de seră.

Astfel, modelul de regresie (Tabelul 2) testează influența a șapte obstacole (variabile independente) asupra intenției de implementare a unui sistem tehnologic sistemului bazat pe pompe de căldură de către proprietari și rezidenți pentru încălzirea menajeră, răcirea și generarea de apă caldă (Pompă de căldură) (variabilă dependentă).

Obstacolele examinate în studiu sunt: (a) Birocrația (elaborarea slabă a politicilor, hârțogăria crescută) (Birocrația); (b) Legislație deficitară (inclusiv reglementări deficitare și politici publice locale ineficiente) (Legideficitare); (c) Lipsa surselor de finanțare (Finanțare.Deficitară); (d) Lipsa specialiștilor în domeniul energiei (LipsăExperți); (e) Lipsa de informare a consumatorilor în domeniul energiei (LipsăInformare); (f) Infrastructură slabă pentru distribuția energiei (InfrastrDeficitară); și (g) Lipsa stimulentelor fiscale (LipsăStimulenteFis).

Tabelul 2. Statistici Descriptive, Corelația Pearson și Modelul rezumat pentru obstacole în calea implementării sistemelor tehnologice integrate cu pompe de căldurăb

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Mean** | **Std. Deviation** | **Pompă Căldură** | **Birocrație** | **LegiDeficitare** | **Finațare.Deficitară** | **LipsăExperți** | **LipsăInformare** | **InfrastrDeficitară** | **LipsăStimulenteFis** |
| **PompăCaldură** | 3.8072 | 0.75988 | 1.000 | 0.207\*\*\* | 0.165\*\*\* | 0.182\*\*\* | 0.174\*\*\* | 0.281\*\*\* | 0.226\*\*\* | 0.309\*\*\* |
| **Birocrație** | 4.0257 | 0.90779 |  | 1.000 | 0.643\*\*\* | 0.281\*\*\* | 0.089\* | 0.229\*\*\* | 0.313\*\*\* | 0.399\*\*\* |
| **LegiDeficitare** | 4.0437 | 0.82839 |  |  | 1.000 | 0.342\*\*\* | 0.129\*\* | 0.319\*\*\* | 0.380\*\*\* | 0.465\*\*\* |
| **Finanțare.Deficitară** | 3.9692 | 0.93283 |  |  |  | 1.000 | 0.371\*\*\* | 0.236\*\*\* | 0.350\*\*\* | 0.374\*\*\* |
| **LipsăExperți** | 3.5913 | 0.96058 |  |  |  |  | 1.000 | 0.420\*\*\* | 0.341\*\*\* | 0.326\*\*\* |
| **LipsăInformare** | 4.1285 | 0.82733 |  |  |  |  |  | 1.000 | 0.418\*\*\* | 0.459\*\*\* |
| **InfrastrDeficitară** | 3.9563 | 0.86492 |  |  |  |  |  |  | 1.000 | 0.480\*\*\* |
| **LipsăStimulenteFis** | 3.9332 | 0.84381 |  |  |  |  |  |  |  | 1.000 |
| **R** | 0.367a | | | | | | | | | |
| **R Square** | 0.135 | | | | | | | | | |
| **Adjusted R Square** | 0.119 | | | | | | | | | |
| **Std. Error of the Estimate** | 0.71338 | | | | | | | | | |
| **Durbin-Watson** | 2.132 | | | | | | | | | |
| **F** | 8.462\*\*\* | | | | | | | | | |

Notă: N=389, \*\*\* = p<0.001; \*\* = p<0.01; \* = p<0.05

|  |
| --- |
| a. Predictori: (Constant), Finanțare.Deficitară, LipsăExperți, Birocrație, LipsăStimulenteFin, LipsăInformare, InfrastrDeficitară, LegiDeficitare |
| b. Variabilă Dependentă: PompăCăldură |

Sursă: Cercetarea autorilor.

Conform rezultatelor obținute din modelul de regresie, variabilele independente investigate explică 13,5% din intenți de adoptare a pompelor de căldură de către proprietari și rezidenți.

Modelul de regresie este semnificativ dpdv. statistic, așa cum este ilustrat de valoarea lui F de 8,462 la un nivel de semnificație Sig.= 0. La un nivel de semnificație Sig.<0,01, variabilele legate de lipsa de informații în domeniul performanței energetice și stimulentele fiscale slabe sunt semnificative dpdv. statistic, în timp ce variabila Birocrație este semnificativă statistic pentru Sig.<0,05 (Tabelul 3). Celelalte variabile nu joacă un rol important în intenția consumatorilor de a adopta sau nu sistemele tehnologice integrate bazate pe pompe de căldură pentru încălzirea sau răcirea locuințelor.

Tabelul 3. Coeficienti pentru obstacolele în calea implementării sistemelor tehnologice integrate bazate pe pompe de căldură

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Model** | | **Coeficienti nestandardizați** | | **Coeficienti standardizați** | **t** | **Sig.** | **Coliniaritate Statistică** | |
| **B** | **Err.Std** | **Beta** | **Toleranță** | **VIF** |
| 1 | (Constantă) | 2.100 | 0.250 |  | 8.387 | 0.000 |  |  |
| Birocrație | 0.104 | 0.053 | 0.124 | 1.965 | **0.050** | 0.569 | 1.757 |
| **LegiDeficitare** | -0.079 | 0.061 | -0.086 | -1.293 | 0.197 | 0.507 | 1.971 |
| **Finanțare.Deficitară** | 0.042 | 0.045 | 0.051 | 0.918 | 0.359 | 0.736 | 1.359 |
| **LipsăExperți** | 0.011 | 0.045 | 0.014 | 0.246 | 0.806 | 0.713 | 1.403 |
| **LipsăInformare** | 0.148 | 0.054 | 0.161 | 2.764 | **0.006** | 0.668 | 1.498 |
| **InfrastrDeficitară** | 0.038 | 0.051 | 0.043 | 0.737 | 0.461 | 0.665 | 1.503 |
| **LipsăStimulenteFis** | 0.164 | 0.056 | 0.182 | 2.935 | **0.004** | 0.592 | 1.691 |
| Variabilă Dependentă: PompăCăldură | | | | |

Sursă: Cercetarea autorilor.

Analizând coeficienții de regresie, putem afirma că cel mai influent obstacol în calea implementării sistemelor tehnologice integrate bazate pe pompe de căldură este reprezentat de lipsa stimulentelor fiscale (LipsăStimulenteFis), fiind urmat de slaba informare în domeniul performanței energetice (LipsăInformare) și de birocrația exagerată (Birocrație).

O altă constatare a cercetării noastre a arătat că furnizarea slabă a informațiilor privind eficiența energetică și performanța sistemelor tehnologe integrate bazate pe pompe de căldură influențează negativ percepția cetățenilor cu privire la intenția lor de a adopta un asemenea system tehnologic și, în plus, crește reticența acestora față de implementarea tehnologiei în locuința lor.

1. **Concluzii**

Acest studiu a demonstrat faptul că disponibilitatea planurilor și strategiilor energetice de îmbunătățire a eficienței energetice și de reducere a consumului de energie, la nivel local sau regional dublate de promovarea unor stimulente fiscale, va crește interesul cetățenilor pentru adoptarea sistemelor tehnologice integrate bazate de pompe de căldură în gospodăriile lor pentru încălzirea menajeră, răcirea și producerea de apă caldă. Trebuie menționat totuși faptul că, în timp ce disponibilitatea stimulentelor fiscale și a deducerii fiscale nu acționează neapărat ca un motor pentru intenția de a adopta pompe de căldură de către proprietarii de locuințe, absența acestora ar putea influența negativ percepția rezidenților cu privire la valoarea și beneficiile acestei tehnologii.

De asemenea, cercetarea efectuată indică necesitatea realizării unor noi campanii de informare și conștientizare legate de adoptarea de soluții verzi pentru producerea de energie, în special pentru sistemele tehnologice integrate bazate pe pompe de căldură, care ar trebui lansate și mediatizate în spațiul public.

1. **Bibliografie**

Bai, S., Li, F., & Xie, W. (2022). Green but Unpopular? Analysis on Purchase Intention of Heat Pump Water Heaters in China. *Energies*, 15(7), 2464. <https://doi.org/10.3390/en15072464>.

De Witte, M. (2022). Gen Z are not ‘coddled.’ They are highly collaborative, self-reliant and pragmatic. Stanford’s Center for Advanced Study in the Behavioral Sciences (CASBS), Available at: <https://news.stanford.edu/2022/01/03/know-gen-z/> (Accessed 24th March 2023).

Decuypere, R., Robaeyst, B., Hudders, L., Baccarne, B., & Van de Sompel, D. (2022). Transitioning to energy efficient housing: Drivers and barriers of intermediaries in heat pump technology. *Energy Policy*, 161, 112709. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112709>.

Dincă, V. M., Busu, M., & Nagy-Bege, Z. (2022). Determinants with Impact on Romanian Consumers’ Energy-Saving Habits. Energies, 15(11), 4080. <https://doi.org/10.3390/en15114080>.

Dudka, A., Moratal, N., & Thomas Bauwens (2023). A typology of community-based energy citizenship: An analysis of the ownership structure and institutional logics of 164 energy communities in France. *Energy Policy*, 178, 113588. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113588>.

Edgar, T.W., & Manz, D.O. (2017). Chapter 4 - Exploratory Study. In: Research Methods for Cyber Security Editor(s): Edgar, T.W., & Manz, D.O., Syngress, 95-130. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805349-2.00004-2>.

European Commission (2019). The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019 COM(2019) 640 final [resource.html (europa.eu)](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF).

European Commission (2021). 'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, 14.07.2021, COM(2021) 550 final. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0550>.

Eurostat (2022). Energy efficiency statistics. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_efficiency_statistics> (Accessed 10th February 2023).

Eurostat (2023). Shedding light on energy in the EU – 2023 interactive edition. http://doi.org/DOI: 10.2785/640865 (Accessed 30th July 2023).

Fan, Y., Zhao, X., Han, Z., Li, J., Badiei, A., Akhlaghi, Y. G., & Liu, Z. (2021). Scientific and technological progress and future perspectives of the solar assisted heat pump (SAHP) system. *Energy*, 229, 120719. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120719>.

Fischer, D., & Madani, H. (2017). On heat pumps in smart grids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 342-357. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.182>.

Finkelstein, J., Frankel, D., & Noffsinger, J. (2020). Powering up sustainable energy. McKinsey, June 9. Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/powering-up-sustainable-energy> (Accessed 14th March 2023).

Gaur, A. S., Fitiwi, D. Z., & Curtis, J. (2021). Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. *Energy Research & Social Science*, 71, 101764. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101764>.

Gleeson, C. P. (2016). Residential heat pump installations: the role of vocational education and training. *Building Research & Information*, 44(4), 394-406. h[ttps://doi.org/10.1080/09613218.2015.1082701](https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1082701).

Gradziuk, P., Siudek, A., Klepacka, A.M., Florkowski, W.J., Trocewicz, A., & Skorokhod, I. (2022). Heat Pump Installation in Public Buildings: Savings and Environmental Benefits in Underserved Rural Areas. Energies, 15*(21*), 7903. <https://doi.org/10.3390/en15217903>.

International Energy Agency (2022). The future of heat pumps – world energy outlook special report. Available online: https://iea.blob.core.windows.net/assets/4713780d-c0ae-4686-8c9b-29e782452695/TheFutureofHeatPumps.pdf (Accessed 20th May 2023).

INS (National Institute of Statistics) (2022). The population and housing census. Available online: <https://insse.ro/cms/sites/default/files/field/publicatii/fondul_de_locuinte_2022.pdf> (Accessed 20th February 2023).

Janhunen, E., Vimpari, J., & Junnila, S. (2022). Evaluation of the financial benefits of a ground-source heat pump pool with demand side management: Is smart profitable for real estate? *Sustainable Cities and Society*, 78, 103604. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103604>.

[Karytsas, S](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/16187595)., & [Choropanitis, I](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/6357849). (2017). [Barriers against and actions towards renewable energy technologies diffusion: A Principal Component Analysis for residential ground source heat pump (GSHP) systems](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000407185900020). [*Renewable & Sustainable Energy Reviews*](javascript:void(0)), 78, 252–271. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.060>.

Karytsas, S., & Theodoropoulou, H. (2014). Public awareness and willingness to adopt ground source heat pumps for domestic heating and cooling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 49-57. DOI: 10.1016/j.rser.2014.02.008.

Kelly, J.A., Fu, M., & Clinch, J.P. (2016). Residential home heating: The potential for air source heat pump technologies as an alternative to solid and liquid fuels. *Energy Policy*, 98, 431-442, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.016>.

Kim, J. H., Seong, N. C., & Choi, W. C. (2022). Comparative Evaluation of Predicting Energy Consumption of Absorption Heat Pump with Multilayer Shallow Neural Network Training Algorithms. *Buildings*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.3390/buildings12010013>.

Kircher, K.J., & Zhang, K.M. (2021). Heat purchase agreements could lower barriers to heat pump adoption. *Applied Energy*, 286, 116489. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116489>.

Kokoni, S., & Leach, M. (2021). Policy mechanisms to support heat pump deployment: A UK case study based on techno-economic modelling. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100009>.

Lennon, B., Velasco-Herrejón, P., & Dunphy, N.P. (2023). Operationalizing participation: Key obstacles and drivers to citizen energy community formation in Europe's energy transition. *Science Talks*, 5, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2022.100104>.

Lillemo, S.C., Alfnes, F., Halvorsen, B., & Wik, M. (2013). Households' heating investments: the effect of motives and attitudes on choice of equipment. *Biomass and Bioenergy*, 57, 4-12.

Lowes, R., Woodman, B., & Fitch-Roy, O. (2019). Policy change, power and the development of Great Britain's Renewable Heat Incentive. *Energy Policy*, 131, 410-421, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.041>.

McAndrew, R., Mulcahy, R., Gordon, R., & Russell-Bennett, R. (2021). Household energy efficiency interventions: A systematic literature review. *Energy Policy*, 150, 112136. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112136>.

Meles, T. H., & Ryan, L. (2022). Adoption of renewable home heating systems: An agent-based model of heat pumps in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112853. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112853>.

[Moghaddam, I.G](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/772189)., [Saniei, M](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/2223966)., & [Mashhour, E](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/author/record/2210125). (2016). [Improvement of energy performance employing electrical heat pump in scheduling a residential energy hub](https://0410q2v0x-y-https-www-webofscience-com.z.e-nformation.ro/wos/woscc/full-record/WOS:000393838000006). *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 26(12), 2618–2642. <https://doi.org/10.1002/etep.2224>.

Olympios, A.V., Sapin, P., Freeman, J., Olkis, C., & Markides, C.N. (2022). Operational optimisation of an air-source heat pump system with thermal energy storage for domestic applications. *Energy Conversion and Management*, 273, 116426. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116426>.

Peñaloza, D., Mata, É., Fransson, N., Fridén, H., Samperio, Á., Quijano, A., & Cuneo, A. (2022). Social and market acceptance of photovoltaic panels and heat pumps in Europe: A literature review and survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111867. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111867>.

Reid, L., & Ellsworth-Krebs, K. (2021). Demanding expectations: Exploring the experience of distributed heat generation in Europe. *Energy Research & Social Science*, 71, 101821. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101821>.

Renaldi, R., Kiprakis, A., & Friedrich, D. (2017). An optimisation framework for thermal energy storage integration in a residential heat pump heating system. *Applied Energy*, 186, 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.067>.

Sanner, B. (2017). Ground Source Heat Pumps–history, development, current status, and future prospects. In 12th IEA Heat Pump Conference (pp. 1-14).

Shehmir J. (2022). Top 5 Digital Technologies Transforming the Energy Sector. Available at: <https://research.aimultiple.com/digital-transformation-in-energy-industry> (Accessed 12th May 2023).

Sivagami, P., & Jothi Swaroopan, N.M. (2020). Smart methodology for performance improvement of energy sources for home application. *Microprocessors and Microsystems*, 74, 103042. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103042>.

Smith, M., Bevacqua, A., Tembe, S., & Lal, P. (2021). Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis of energy efficiency in New Jersey. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101364. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101364