

## ANALIZA ȘI EVALUAREA EFICIENȚEI ENERGETICE A FERESTRELOR: PERSPECTIVE ACTUALE ȘI DIRECȚII DE DEZVOLTARE

Corina MURZAC, Cornelia COBÎLAȘ\*, Anastasia SOLOMONENCO

Departamentul Arhitectură, Facultatea Urbanism și Arhitectură,  
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

\*Autorul corespondent: Cornelia Cobîlaș, [cornelia.cobilas@arh.utm.md](mailto:cornelia.cobilas@arh.utm.md)

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Viorica ȚIBICHI**, dr., conf. univ., UTM

**Rezumat.** În această lucrare vor fi aduse la cunoștință modalitățile de optimizare a eficienței energetice a ferestrelor în contextul schimbărilor climatice și necesității de a reduce consumul de energie. Prin analizarea caracteristicilor și tehnologiilor specifice, precum izolarea termică și controlul solar, se subliniază importanța esențială a ferestrelor în economisirea energiei și îmbunătățirea confortului termic în clădiri. Tehnologiile moderne, cum ar fi ferestrele cu geamuri termoizolante și sistemele inteligente de umbrire, sunt discutate în contextul beneficiilor aduse în reducerea costurilor de încălzire și răcire, precum și în reducerea amprentei de carbon. Evaluarea eficienței energetice a ferestrelor și studiile de caz prezentate ilustrează aplicarea practică a acestor soluții în diferite tipuri de clădiri. Prin abordarea atât tehnică, cât și practică a subiectului, articolul oferă o perspectivă amplă și identifică direcții viitoare pentru cercetare și dezvoltare în acest domeniu.

**Cuvinte cheie:** eficiență energetică, ferestre, obloane, izolare termică, confort termic, reducerea costurilor

### Introducere

Ferestrele au suferit modificări semnificative în ultimele decenii, reflectând preocuparea continuă pentru îmbunătățirea performanței energetice în contextul schimbărilor climatice și al creșterii accentuate a consumului de energie. Deși ferestrele sunt vitale pentru conexiunea vizuală cu exteriorul și pentru admiterea luminii naturale, ele reprezintă puncte slabe în termeni de izolare termică, ceea ce poate duce la pierderi de energie în timpul iernii și la creșterea temperaturii interioare în timpul verii. Pentru a aborda aceste provocări, este esențială adoptarea tehnologiilor avansate și sistemelor eficiente energetic, adaptate cerințelor specifice ale diferitelor condiții climatice și de utilizare [1]. Prin analiza tendințelor actuale și a reglementărilor în vigoare, se propune identificarea celor mai potrivite soluții pentru optimizarea performanței energetice a ferestrelor în clădiri [2].

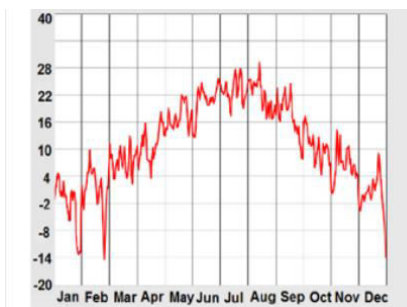


Figura 1. Mediile zilnice ale temperaturii Moldovei pe tot parcursul anului [3]

Republica Moldova se află în zona climaterică temperată, caracterizată prin veri calde și ierni reci. În aceste condiții, eficiența energetică a ferestrelor este esențială pentru a asigura confortul termic în interiorul clădirilor, atât în perioada rece a anului, cât și în cea caldă, și pentru a economisi energie (Fig. 1). Adaptarea ferestrelor la cerințele climatice specifice ale acestui stat poate implica soluții inovatoare, care nu sunt folosite la justa valoare în ziua de astăzi în Republica Moldova, dar sunt prezente în Europa, cum ar fi utilizarea obloanelor exterioare greu izolate pentru a reduce pierderile de căldură în sezonul rece și pentru a bloca căldura și radiația solară în timpul verii (Fig. 2). Conform clasificării Köppen emise de Autoritatea Națională de Meteorologie în 2008, clima din Republica Moldova este de tip continental umed temperat. Astfel, temperaturile sunt mai reci decât în vestul Europei, o mare parte din aceasta este etichetată ca fiind de tip oceanic, cu temperaturi moderate pe tot parcursul anului și precipitații regulate.

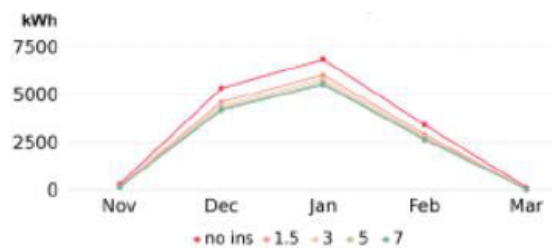


Figura 2. Consumul lunar de energie termică pentru o clădire cu trei etaje orientată W-E [3]

În ceea ce privește importanța izolării părții din învelișul clădirii reprezentată de ferestre, este esențial să analizăm cu atenție rolul acestora, având în vedere că ele sunt elemente cu multiple funcții, dar și puncte slabe în termeni de izolație termică în comparație cu pereții clădirii. De obicei, pereții sunt prevăzuți cu izolație termică de cel puțin 10 cm, ceea ce îi face să fie mai eficienți în menținerea temperaturii interioare decât ferestrele [4].

Conform reglementărilor energetice actuale din Republica Moldova, transmiterea termică admisă pentru ferestrele instalate după anul 1998 este de  $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ . Totuși, pentru a îmbunătăți performanța termică, este recomandată adăugarea unui strat suplimentar de izolație [5] pe partea exterioară, și anume obloanele exterioare, în special atunci când ferestrele acționează doar ca bariere termice pasive, cum se întâmplă în timpul nopții când sunt închise. Această îmbunătățire a performanței termice a ferestrelor nu numai că reduce pierderile de energie termică, ci și conferă beneficii adiționale [6]. De exemplu, intervalul de temperatură în zona sticlei și a ramei este "împins spre exterior" în comparație cu cazul ferestrelor neizolate (Fig. 3). Această situație este benefică și pentru fereastră, reducând riscul de condensare și favorizând păstrarea temperaturilor mai confortabile în interiorul său.

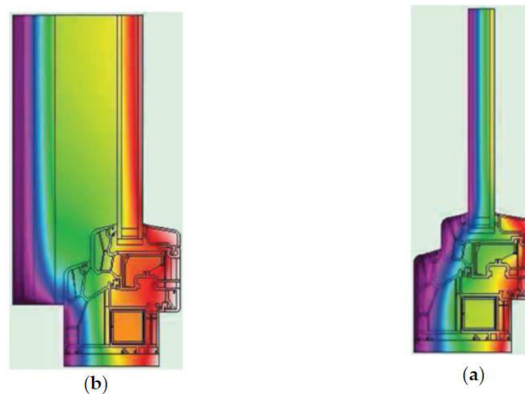


Figura 3. Secțiune transversală prin regiunea de îmbinare a geamului-cadru într-o noapte rece:  
(a) în cazul unei ferestre neizolate,  
(b) fereastră cu obloane exterioare din strat de lemn de 1 cm [3]

Prin simulările efectuate în cadrul acestui studiu (Fig. 4), am abordat o analiză detaliată a transferului de căldură în întreaga clădire, luând în considerare diversele zone termice din interiorul acesteia și dinamica orară a mediilor interioare și exterioare. Aproximarea efectului de punte termică a fost realizată prin subțierea unor straturi de perete, iar pentru a fi conservatori, am considerat o grosime de 15 cm pentru stratul de beton aerat al peretelui exterior în loc de 22 cm. Această abordare ne-a permis să evaluăm mai detaliat și exact impactul izolației suplimentare asupra performanței energetice a clădirii în diverse condiții de funcționare.

Potențialul strategiei de utilizare propuse a obloanelor greu izolate închise pe timp de noapte pentru reducerea cererii de energie pentru încălzire în sezonul rece [7], pare să fie destul de generală, cu excepția unor cazuri particulare. Una dintre cele mai mari probleme în prezent este lipsa acestor obloane pe piața din Republica Moldova, fapt pentru care, la finalul studiului, am schițat foarte succint trei idei pentru proiectarea lor tehnică.

În contextul experimentelor, este puțin probabilă găsirea lamelelor de obloane cu grosimea utilizată în experiment. Prin urmare, toate propunerile finale implică utilizarea unui sistem de ghidare. Ideea este că, dacă același sistem de ghidare utilizat în sezonul rece pentru lamele sau panourile unui oblon greu izolat poate fi folosit și în sezonul cald pentru unele lamele sau panouri de umbrire, strategia ar putea rămâne atractivă și eficientă. Acest lucru este valabil în special pentru ferestrele cu un coeficient U foarte performant [4] pentru sticla lor, deoarece ar putea fi posibil să se obțină economii semnificative de energie și în sezonul cald prin utilizarea acestor obloane pentru controlul radiației solare și a încălzirii excesive a spațiilor interioare.

### Studiu de caz

Am luat drept cercetare o clădire cu spații de birouri, avem următoarele limite inferioare de temperatură pentru încălzire, la care sistemul de încălzire începe automat: 20°C în timpul orelor de lucru și 16°C pentru restul zilei, inclusiv atât în timpul săptămânii cât și în weekend. Sticla utilizată în simulările noastre, are o valoare U de  $1,82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , conform standardelor EN 673 și ISO 15099. Pentru elementul peretelui exterior, am creat o construcție, care constă din două straturi principale de material: un strat de beton aerat cu grosimea de 15 cm și un strat de polistiren expandat cu grosimea de 10 cm. Acest aranjament respectă reglementările energetice moldovenești pentru clădiri, care impun o izolație termică de 10 cm la exterior.

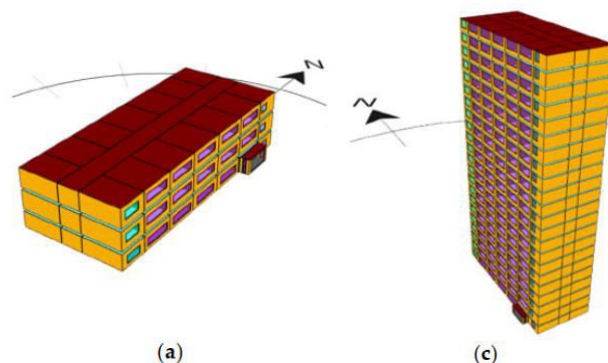


Figura 4. Modelele 3D de clădiri utilizate în simulări [3]

Totodată, am dezvoltat construcții pentru ansamblul fereastră-oblon cercetat, denumite elemente de clădire înlocuitoare. Aceste elemente înlocuiesc sticla ferestrei în timpul experimentului conform unui program orar specific pentru anumite zile [5]. Același program este folosit atât pentru zilele lucrătoare, cât și pentru weekenduri în cadrul acestei analize. Am utilizat patru tipuri de construcții pentru acest ansamblu fereastră-oblon, corespunzând obloanelor de diferite grosimi, de la 1,5 cm la 7 cm [7]. Deoarece simulările sunt estimări, au fost selectate construcțiile clădirii, inclusiv straturile de materiale din care sunt construite elementele sale, bazându-ne pe eficiența acestora din baza de date de construcții disponibilă în software-ul TAS.

Tabelul 1.

**Studierea parametrilor unei clădiri cu trei etaje cu ferestre mari și orientări geografice diverse [2]**

Orientarea clădirii	W-E	NW-SE	N-S	NE-SV
Luna Decembrie				
Cererea lunară de energie pentru încălzire într-o clădire fără obloane (kWh)	6021	5375	5012	5830
Economie lunară de energie folosind obloanele de noapte cu grosimea de 3 cm (kWh)	1438	1371	1331	1418
Economie lunară de energie ca procent din cererea fără obloane	24	26	27	24
Luna Ianuarie				
Cererea lunară de energie pentru încălzire într-o clădire fără obloane (kWh)	7391	6462	6146	7210
Economie lunară de energie folosind obloanele de noapte cu grosimea de 3 cm (kWh)	1659	1587	1540	1640
Economie lunară de energie ca procent din cererea fără obloane	22	25	25	23

În toate experimentele efectuate, s-a presupus că obloanele funcționează ideal, deschizându-se și închizându-se fără nicio problemă la orele specificate [1]. În climatul Moldovei sau eventual în întreaga regiune cu climă de tip continental umed temperat, conform clasificării Köppen, pentru un birou cu un număr mic până la mediu de etaje, cu o formă răspândită și un raport ferestre-perete între 0,28 și 0,41 pentru fațadele sale, obloanele exterioare pentru ferestre, având un strat gros de izolație (1,5–7 cm), aplicate în timpul nopții, furnizează economii potențiale semnificative de energie pentru încălzirea clădirii în cele mai severe luni reci, decembrie și ianuarie.

În cazul unui birou cu pereți având izolație exterioară de 10 cm și ferestre cu sticlă cu  $U = 1,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  [5], economiile lunare ideale de energie, exprimate ca procent din cererea lunară de energie pentru încălzire, variază pentru Republica Moldova în intervalul 15% până la 27%,. Calculele nu consideră ideal niciun consum de energie pentru funcționarea obloanelor.

### Rezultate

În prezent, obloanele de acest tip nu sunt disponibile pe piața din Republica Moldova. Proiectarea tehnică a acestora pentru a funcționa eficient și fabricarea lor la un cost redus reprezintă provocări semnificative. Cu toate acestea, economiile potențiale de energie pe care le oferă și costul lor redus în comparație cu înlocuirea ferestrelor ar putea să le facă atractive, iar speranța noastră este că un design fiabil va fi dezvoltat în viitor.

Analiza noastră sumară sugerează că obloanele ar trebui să fie mai degrabă de tip culisant. Dacă înlocuim sticla cu una mai performantă, cu un coeficient  $U$  de aproximativ  $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  [5], economiile potențiale de energie furnizate de un oblon cu izolație de 3 cm în cele mai severe luni, decembrie și ianuarie, scad la 45–47% din economiile estimate anterior în Republica Moldova. Chiar și în această situație, obloanele ar putea să pară atractive dacă își împart sistemul de ghidare cu alte panouri sau lamele care vor fi folosite în sezonul cald pentru umbrire.

### Concluzii

Într-un mediu în care eficiența energetică devine tot mai importantă, ferestrele eficiente energetic reprezintă un element cheie în eforturile de a construi clădiri sustenabile și eficiente din punct de vedere energetic. Analizând caracteristicile, tehnologiile și beneficiile acestora, putem constata că impactul pozitiv al ferestrelor eficiente energetic este semnificativ și complex.

De la reducerea costurilor de energie și îmbunătățirea confortului interior la contribuția la reducerea emisiilor de carbon și protejarea mediului înconjurător [6], ferestrele eficiente energetic

joacă un rol vital în crearea unui mediu construit mai durabil și mai responsabil. Perspectivele viitoare sunt pline de promisiuni, cu inovații în materiale, tehnologii și concepte de construcție care vor continua să îmbunătățească performanța și eficiența ferestrelor în viitor. Prin adoptarea acestor direcții de dezvoltare și prin colaborarea între industrie, cercetare și comunitatea academică, putem contribui la crearea unui mediu construit mai sustenabil și mai eficient energetic pentru generațiile viitoare.

În final, ferestrele eficiente energetic reprezintă nu doar o soluție practică pentru economisirea energiei, ci și un simbol al angajamentului nostru față de un viitor mai verde și mai prosper pentru toți. Prin investiția în ferestrele eficiente energetic, investim într-un mediu mai sănătos și mai sustenabil pentru noi și pentru generațiile viitoare.

### Referințe

- [1] “Energy Efficient Window Coverings” [Online]. Available: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-coverings>.
- [2] R. Fitton, W. Swan, T. Hughes, M. Benjaber, *The thermal performance of window coverings in a whole house test facility with single-glazed sash windows*, 2017.
- [3] I. Udrea, S. Cananau, R. T. Popa, On Energy Efficiency of Night Window Shutters for a Non-Residential Building in Three Major Romanian Cities.
- [4] A. I. Rubin, B. L. Collins, R. L. Tibbott, *Window Blinds as a Potential Energy Saver-A Case Study*.
- [5] D. H. Nguyen, *Enhancing Building Energy Efficiency Through Its Windows*, September 2023.
- [6] D. Arasteh, J. Carmody, L. Heschong, S. Selkowitz, *Residential Windows: A Guide to New Technologies and Energy Performance*, 3rd ed.; W. W. Norton & Company: New York, NY, USA, 2007.
- [7] [M. Casini, *Active dynamic windows for buildings: A review*. *Renew. Energy*, 2018