

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Proiect Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Acest proiect Erasmus+ a fost finanțat cu sprijinul Comisiei Europene. Această publicație reflectă numai opiniile autorilor, iar Comisia Europeană și agențiile naționale Erasmus+ nu pot fi trase la răspundere pentru utilizarea informațiilor conținute în aceasta.

Proiect BIM4Energy

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice



Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Conținut

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: îmbunătățirea anvelopei termice.....	1
1 – Obiective.....	3
2 - Metodologia de învățare	3
3 - Durata tutorialului	4
4 – Resurse didactice necesare.....	4
5 – Conținut și tutorial	4
5.1 – Ce este anvelopa termică a unei clădiri	4
5.2 Cum funcționează anvelopa termică a clădirii.....	5
5.3 Strategii de optimizare a anvelopei termice a unei clădiri.	6
5.4 Exemple de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată.....	7
5.5 Exemple de fațade și acoperișuri cu eficiență energetică ridicată	13
5.6 Alternative pentru îmbunătățirea izolației fațadelor clădirilor existente...	21
Referințe.....	26
6 - Rezultate	28
7- Ce am învățat	28

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

1 – Obiective

Un catalog al celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: tutorialul privind îmbunătățirea anvelopei termice are ca scop să ofere participanților o înțelegere cuprinzătoare a măsurilor de îmbunătățire a proprietăților anvelopei termice a clădirii. Obiectivele acestui catalog al celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea anvelopei termice a clădirilor sunt următoarele:

- Înțelegerea ceea ce este anvelopa termică a unei clădiri.
- Înțelegerea proprietăților fizice ale anvelopei termice a unei clădiri.
- Strategii de optimizare a anvelopei termice a unei clădiri.
- Înțelegerea componentelor anvelopei termice.
- Învățarea unor exemple de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată.
- Să aflați exemple de fațade și acoperișuri cu eficiență energetică ridicată.
- Cunoașterea măsurilor de îmbunătățire a izolației fațadelor și pereților anvelopei termice.

2 - Metodologia de învățare

Profesorul va oferi o explicație despre cele mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor în ceea ce privește anvelopa termică, cu o durată de aproximativ 30 de minute.

Elevii vor citi acest tutorial și vor urma pașii indicați în tutorial, și anume:

- Cum funcționează anvelopa termică a clădirii
- Strategii de optimizare a anvelopei termice a unei clădiri
- Exemple de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată
- Exemple de fațade și acoperișuri cu eficiență energetică ridicată
- Alternative pentru îmbunătățirea izolației fațadelor clădirilor existente.

Pentru a evalua succesul aplicației, vă sugerăm să realizați un chestionar pentru studenți.

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

3 - Durata tutorialului

Implementarea descrisă în acest tutorial se va realiza prin intermediul site-ului web al proiectului BIM4ENERGY, prin autoînvățare.

Pentru această formare sunt adecvate 3 ore de curs.

4 – Resurse didactice necesare

Sala de calculatoare cu PC-uri cu acces la internet.

Software necesar: Microsoft Office.

5 – Conținut și tutorial

5.1 – Ce este anvelopa termică a unei clădiri

Înainte de a intra în detalii privind măsurile specifice de îmbunătățire a anvelopei termice, este esențial să înțelegem ce este anvelopa termică a unei clădiri.

Anvelopa termică a unei clădiri este bariera fizică care separă spațiile interioare climatizate de mediul exterior. Aceasta joacă un rol crucial în reglarea fluxului de căldură, infiltrarea aerului și transferul umidității, care afectează în mod direct performanța energetică, confortul interior și durabilitatea unei clădiri. O anvelopă termică bine proiectată ajută la menținerea unei temperaturi interioare constante, reduce consumul de energie și scade emisiile de gaze cu efect de seră [1].

Principalele componente ale anvelopei termice includ **pereții, acoperișul, pardoseala, ferestrele și ușile**. Fiecare parte contribuie la controlul schimbului termic și trebuie construită cu **materiale izolante** adecvate, **bariere de aer și straturi de control al umidității**. De exemplu, pereții exteriori conțin de obicei izolație și un strat etanș pentru a minimiza pierderile de căldură în timpul iernii și pentru a preveni acumularea de căldură în timpul verii. Acoperișurile includ adesea straturi de ventilație și suprafețe reflectorizante, în timp ce pardoselile, în special cele în contact cu solul, necesită rupere termică și protecție împotriva umidității. Ferestrele și ușile sunt considerate puncte slabe din punct de vedere termic; astfel, proiectele moderne includ **geamuri duble sau triple, acoperiri cu emisivitate redusă (low-E)** și rame cu rupere termică pentru a îmbunătăți performanța acestora.

Există diferite tipuri de anvelope termice în funcție de intenția proiectului și de standardele de eficiență. **Anvelopele convenționale** respectă normele standard de

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

construcție și asigură protecție termică de bază (). În schimb, **anvelopele de înaltă performanță**, precum cele utilizate în proiectarea **caselor pasive** [2], au ca scop reducerea la minimum a consumului de energie prin construcții etanșe, izolație superioară și detalii fără punți termice. **Învelișurile dinamice sau adaptabile** utilizează tehnologie sau materiale inteligente pentru a răspunde condițiilor externe, cum ar fi fațadele ventilate care permit circulația aerului între straturile de placare pentru a îmbunătăți comportamentul termic.

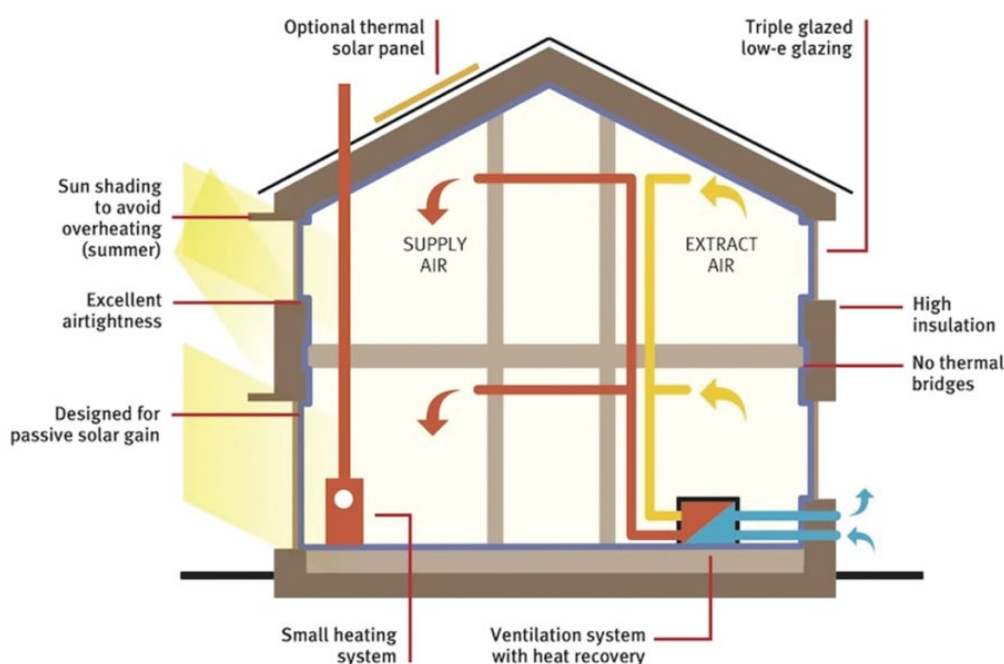


Figura 1: Standardele Passivhaus în acțiune. (Sursa imaginii: John Gilbert Architects.)

Îmbunătățirea anvelopei termice a unei clădiri este una dintre cele mai eficiente strategii de reducere a consumului de energie. Măsurile obișnuite de îmbunătățire includ **izolarea** termică a pereților, mansardelor și podelelor, înlocuirea ferestrelor vechi cu **unități eficiente din punct de vedere energetic** și etanșarea scurgerilor de aer din jurul îmbinărilor, țevilor și prizelor electrice. Strategiile mai avansate implică instalarea **de acoperișuri verzi**, **dispozitive de umbră exterioare** sau **fațade ventilate**, toate contribuind la o mai bună reglare a temperaturii și control al umidității.

5.2– Cum funcționează anvelopa termică a clădirii

Anvelopa termică a unei clădiri funcționează ca un înveliș protector care gestionează transferul de căldură, aer și umiditate între mediul interior și exterior. Este compusă din elemente structurale și izolante, cum ar fi pereți, acoperișuri, podele, ferestre și uși, care

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

reduc în mod colectiv pierderile de energie și ajută la menținerea confortului termic. Prin limitarea câștigurilor de căldură nedorite în timpul verii și a pierderilor de căldură în timpul iernii, anvelopa reduce semnificativ necesitatea sistemelor mecanice de încălzire și răcire [1].

Proprietățile cheie ale unei anvelope termice eficiente includ **rezistența termică (valoarea R), etanșeitatea la aer și controlul umidității**. Valorile R ridicate indică o performanță mai bună a izolației, care încetinește fluxul de căldură prin elementele clădirii. Etanșeitatea la aer previne scurgerile necontrolate de aer, îmbunătățind eficiența energetică și calitatea aerului interior. Straturile de control al umidității, cum ar fi barierele de vapori și planurile de drenaj, protejează materialele de construcție de deteriorarea cauzată de condens sau infiltrații [3]. Fiecare componentă trebuie să funcționeze împreună ca un sistem integrat pentru a optimiza performanța termică și durabilitatea.

Standardele avansate de construcție, cum ar fi **Passive House**, subliniază importanța unei anvelope termice de înaltă performanță. Aceste proiecte utilizează izolație groasă, ferestre de înaltă performanță și etanșare meticuloasă a aerului pentru a reduce drastic cerințele de încălzire și răcire [2]. Îmbunătățirea anvelopei, fie prin construcții noi, fie prin renovare, poate duce la economii substanțiale de energie și la o durată de viață mai lungă a materialelor de construcție. În cele din urmă, anvelopa termică este unul dintre cei mai critici factori în proiectarea clădirilor durabile și eficiente din punct de vedere energetic.

5.3– Strategii de optimizare a anvelopei termice a unei clădiri.

Una dintre cele mai eficiente strategii de îmbunătățire a anvelopei termice a unei clădiri este **modernizarea izolației** acoperișului, pereților și podelelor. Izolația încetinește transferul de căldură, contribuind la menținerea unei temperaturi interioare confortabile pe tot parcursul anului și reducând consumul de energie. În climatele reci, cum ar fi Europa de Nord, se utilizează adesea materiale cu valoare R ridicată, cum ar fi vata minerală sau spuma pulverizată, în straturi groase, pentru a minimiza pierderile de căldură [1]. În regiunile calde și aride (de exemplu, sudul Spaniei), se adaugă izolație reflectorizantă sau bariere radiante sub acoperișuri pentru a reflecta radiația solară [4].

Un alt domeniu cheie care necesită îmbunătățiri este **performanța ferestrelor și ușilor**, care sunt responsabile pentru o mare parte din pierderile sau câștigurile de căldură. Înlocuirea unităților învechite cu **ferestre cu geam termopan sau triplu**, echipate cu **acoperiri cu emisivitate redusă (low-E)** și umplute cu argon, îmbunătățește semnificativ performanța termică [2]. În regiunile mai reci, ferestrele orientate spre sud pot fi proiectate pentru a capta căldura solară pasivă, în timp ce în climatele tropicale este esențial să se limiteze dimensiunea ferestrelor și să se utilizeze dispozitive de umbrire

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

pentru a reduce supraîncălzirea. Rupturile termice în cadrele din aluminiu și ușile exterioare izolate contribuie, de asemenea, la menținerea unei limite termice mai stricte [3].

Etanșarea aerului este o îmbunătățire esențială care se aplică în toate zonele climatice. Scurgerile de aer pot reprezenta până la 30% din pierderile de încălzire și răcire într-o clădire tipică [1]. Etanșarea golurilor cu mastic, spumă și garnituri de etanșare reduce infiltrațiile și îmbunătățește eficiența energetică. În climatele umede, aceasta împiedică, de asemenea, pătrunderea aerului cald și umed și condensarea acestuia în pereți, ceea ce poate duce la apariția mușgaiului. Pentru detectarea punctelor de scurgere se utilizează adesea un **test cu ușa suflantă**.

În cele din urmă, **strategiile pasive** adaptate la climă pot îmbunătăți semnificativ anvelopa termică. În regiunile calde și umede, **fațadele ventilate** ajută la eliminarea căldurii solare și a umidității, menținând clădirea mai răcoroasă. **Acoperișurile verzi** sunt eficiente atât în climatele temperate, cât și în cele calde, oferind izolare și reducând efectele insulei de căldură urbane. **Dispozitivele de umbră exterioare**, cum ar fi jaluzelele sau pergolele, blochează lumina directă a soarelui în timpul verii, dar o permit în timpul iernii în climatele sezoniere. Aceste elemente nu numai că îmbunătățesc performanța anvelopei termice, dar contribuie și la confortul ocupanților și la durabilitatea mediului.

5.4– Exemple de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată

5.4.1. Tipuri de ferestre: materiale pentru geamuri și rame

Ferestrele sunt o parte esențială a anvelopei termice și influențează semnificativ eficiența energetică a unei clădiri, în special în climatele dominate de încălzire sau răcire. Cei doi factori cei mai importanți care determină performanța termică a unei ferestre sunt tipul de geam (sticlă) și materialul cadrului. Împreună, aceștia influențează valoarea U, care măsoară rata de transfer de căldură – cu cât valoarea U este mai mică, cu atât izolația este mai bună.

Tipurile de geamuri variază de la geamuri simple (rar utilizate în prezent) la geamuri duble și triple. Geamurile duble sunt formate din două panouri de sticlă cu un spațiu umplut cu aer sau gaz (argon sau kripton), iar geamurile triple adaugă un al treilea panou, îmbunătățind și mai mult izolația. Valorile U aproximative sunt:

- Geamuri simple: 5,0–6,0 W/m²·K (izolare foarte slabă)
- Geamuri duble (umplute cu aer): 2,7–3,0 W/m²·K
- Geam termopan (umplut cu argon, low-E): 1,4–1,6 W/m²·K

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

- Geam triplu (argon/kripton, low-E): 0,8–1,0 W/m²·K [5]

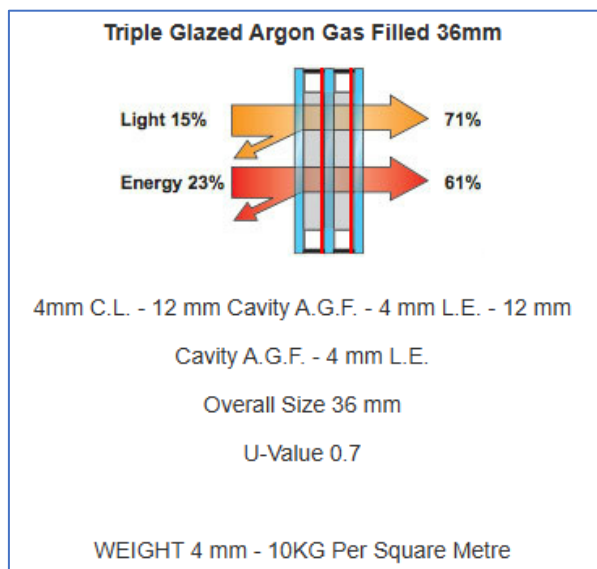


Figura 2: Caracteristici ale geamului triplu umplut cu argon de 36 mm

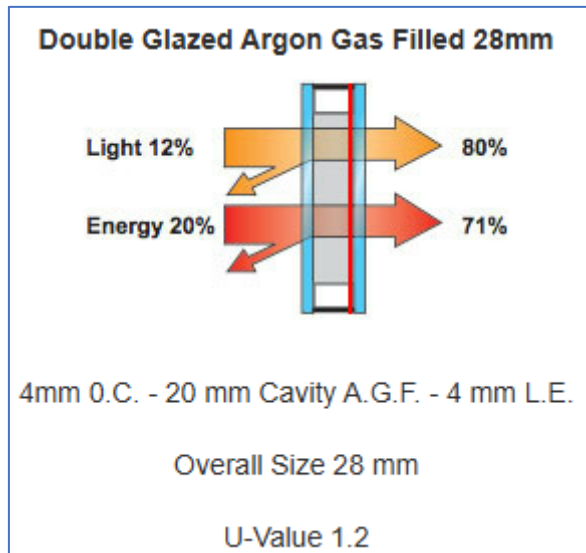


Figura 3: Caracteristici ale geamului termopan cu argon de 28 mm

Materialele cadrului joacă, de asemenea, un rol important în transferul de căldură. Tipurile comune includ:

- Aluminiiu (fără rupere termică): conductivitate ridicată; valori U de aproximativ 5,5–6,0 W/m²·K

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

- Aluminiiu cu rupere termică: cu bariere termice, valorile scad la 1,8–2,5 W/m²·K
- Rame din PVC/vinil: izolație bună; valori U între 1,2–1,6 W/m²·K
- Rame din lemn: izolare naturală; valori U între 1,4–1,8 W/m²·K
- Compozit lemn-aluminiiu: combină estetica și performanța; ~1,0–1,4 W/m²·K [6]



Figura 4: Rame de ferestre din PVC, aluminiiu și lemn.

5.4.2. Valori U recomandate pentru ferestre în funcție de zona climatică

Transmitanța termică recomandată (valoarea U) pentru ferestre depinde în mare măsură de climatul local și de reglementările în construcții:

- Climat rece (de exemplu, Scandinavia, Canada): Valoarea U recomandată este $\leq 1,0$ W/m²·K pentru ferestre; standardele Passive House sugerează $\leq 0,8$ W/m²·K pentru frig extrem [2].
- Climat temperat (de exemplu, Europa Centrală, nordul SUA): Țintă $\leq 1,4$ W/m²·K pentru performanțe bune.
- Climat cald (de exemplu, Mediterana, sudul SUA): Valori U ușor mai mari, de până la 1,8-2,0 W/m²·K, pot fi acceptabile, dar coeficientul de câștig de căldură solară (SHGC) devine mai important în acest caz pentru a reduce supraîncălzirea.

De asemenea, este important să se ia în considerare **orientarea solară și umbrirea**: în climatele mai reci, ferestrele orientate spre sud cu SHGC mai ridicat pot ajuta la încălzirea naturală a interiorului, în timp ce în climatele calde sunt preferate geamurile cu SHGC redus și umbrirea externă.

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Pentru a asigura o eficiență energetică ridicată, sistemele de ferestre trebuie alese în funcție de valoarea U și SHGC și adaptate la condițiile climatice locale. Ferestrele cu geam triplu, cu emisivitate redusă și rame cu rupere termică sau compozite oferă performanțe excelente în climatele reci. În zonele mai calde, ferestrele cu geam dublu, cu emisivitate redusă, cu acoperiri de control solar și sisteme de umbrire sunt adesea mai potrivite și mai rentabile.

5.4.3. Cataloage de ferestre

Mai jos sunt câteva dintre principalele site-uri web în limba engleză unde puteți accesa cataloage de ferestre de înaltă eficiență, inclusiv fișiere PDF și broșuri:

➤ **Alpen High Performance Products**

Alpen este specializată în ferestre personalizate cu trei și patru geamuri, certificate pentru standardele Passive House și ENERGY STAR. Cataloagele lor evidențiază geamuri avansate, rame izolate și opțiuni integrate de umbrire.

windowsbertrand.comthinkalpen.com+3thinkalpen.com+3thinkalpen.com+3

➤ **Marvin (Seria Essential & Ultrex®)**

Oferă cataloage complete cu sticlă low-E certificată ENERGY STAR, umpluturi cu argon și rame din fibră de sticlă Ultrex. Cataloagele includ date privind performanța, cum ar fi factorii U și coeficienții de câștig de căldură solară.

prioritydoorwindow.com+6irp.cdn-website.com+6energy.gov+6

➤ **REHAU**

Broșură PDF elegantă care prezintă **sistemele de ferestre din polimer cu clasificare WER A**, cu izolare termică și acustică excelentă, adaptate climatului din Marea Britanie/UE. window.rehau.com

➤ **SUNCE Marinkovic**

Catalog în format PDF în limba engleză care prezintă **ferestre din PVC** eficiente din punct de vedere energetic, dotate cu mecanisme de securitate și proprietăți termice. en.wikipedia.org+12suncemarinkovic.com+12windowsbertrand.com+12

➤ **SILKA**

Informații în limba engleză despre ferestre din aluminiu cu geam triplu și **rame izolate ThermoFill®**, cu un coeficient U de numai 0,8 W/m²K, unul dintre cele mai performante produse de pe piață. silkawindows.com

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

5.4.4. Proprietățile termice ale ușilor de intrare principale pentru locuințe

Performanța termică a ușilor de intrare principale variază semnificativ în funcție de materialele din care sunt fabricate și de structura internă. Ușile din lemn masiv, deși sunt izolante în mod natural și atractive din punct de vedere vizual, oferă de obicei valori U cuprinse între 0,35 și 0,70 $W/m^2 \cdot K$, ceea ce este mai puțin eficient în comparație cu alternativele izolate [7]. Ușile din oțel și fibră de sticlă care încorporează miezuri din spumă poliuretanică oferă o izolare superioară, atingând valori U de până la 0,15-0,30 $W/m^2 \cdot K$ [8]. În plus, ușile de intrare vitrate pot oferi o bună rezistență termică atunci când sunt echipate cu geamuri duble sau triple cu emisivitate redusă (Low-E) și umpluturi cu gaze precum argonul [9]. Utilizarea garniturilor de etanșare, a miezurilor izolate și a barierelor termice este esențială pentru a minimiza scurgerile de aer și a menține eficiența energetică [9].

Standardele de reglementare definesc valorile U maxime admise pe baza obiectivelor regionale de eficiență energetică. În regiunile europene mai reci, reglementările impun de obicei valori U ale ușilor sub 1,4–1,8 $W/m^2 \cdot K$, în funcție de faptul dacă ușa este nouă sau de înlocuire [7]. Certificările mai exigente, cum ar fi Passive House, impun valori $U \leq 1,0$ $W/m^2 \cdot K$ pentru a minimiza pierderile termice [2]. În America de Nord, liniile directe ENERGY STAR pun, de asemenea, accentul pe performanța ansamblului ușii, cu valori U maxime de aproximativ 0,28 $W/m^2 \cdot K$, în funcție de zona climatică și de raportul dintre uși și geamuri [9].

Pentru climatul rece și alpin, ușile ar trebui să aibă, în mod ideal, valori $U \leq 1,0$ $W/m^2 \cdot K$ pentru a reduce cerințele de încălzire și a îmbunătăți confortul termic [2]. În regiunile temperate, valorile U de până la 1,4 $W/m^2 \cdot K$ asigură un echilibru practic între izolare și rentabilitate [1]. În climatele mai calde, cum ar fi zonele mediteraneene sau tropicale, valorile U de până la 1,8 $W/m^2 \cdot K$ pot fi suficiente, mai ales atunci când sunt combinate cu caracteristici de câștig solar redus [9]. Indiferent de locație, alegerea ușilor cu garnituri adecvate, rupere termică și materiale izolante certificate este esențială pentru a asigura economii de energie pe termen lung și confortul interior [8].

Iată câteva uși de intrare principale de înaltă performanță și eficiente din punct de vedere energetic, împreună cu transmisia termică aproximativă (valori U):

- **Fibră de sticlă izolată cu geam Low-E** – De obicei, are o ușă din fibră de sticlă cu miez din spumă, cu geam dublu, inserții din sticlă Low-E și umplutură cu argon. Aceste uși ating de obicei valori U între 0,17 și 0,30 $W/m^2 \cdot K$, oferind o izolare excelentă și o estetică modernă.
- **Ușă din oțel cu miez din poliuretan** – Un exterior durabil din oțel combinat cu un miez izolat cu poliuretan. Aceste modele includ adesea rame cu rupere

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

termică și garnituri de etanșare, cu **valori U cuprinse între 0,15 și 0,25 W/m²·K**, ceea ce le face să fie printre cele mai eficiente din punct de vedere termic.

- **Lemn masiv cu miez compozit** – Acest stil păstrează aspectul elegant al lemnului, dar include un miez compozit sau izolat pentru performanțe îmbunătățite. **Valorile U** tipice ale acestora **se situează între 0,30 și 0,50 W/m²·K**, ceea ce este mai bun decât lemnul masiv singur, dar mai mare decât modelele complet izolate.
- **Ușă complet vitrată cu panouri triple Low-E** – Un design elegant și modern, care utilizează sticlă triplă Low-E cu umplutură de gaz inert (de exemplu, argon sau kripton). Aceste uși ating adesea **valori U de aproximativ 0,70 până la 1,20 W/m²·K**, în funcție de specificațiile sticlei și de calitatea cadrului.

Exemplele menționate evidențiază modul în care diferite materiale – fibră de sticlă, oțel, lemn compozit și geamuri – combină estetica cu eficiența termică avansată.



Figura 5: Exemple de uși de intrare ale caselor (Sursa: [Constellaion.com](https://www.constellation.com))

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

5.5– Exemple de fațade și acoperișuri cu eficiență energetică ridicată

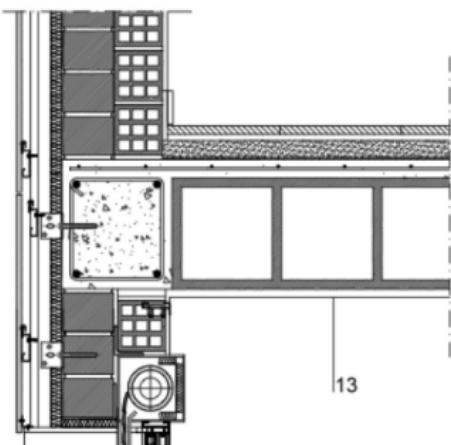
5.5.1. Fațadă ventilată vs fațadă convențională

Fațadele ventilate (cunoscute și sub denumirea de fațade cu ecran de ploaie sau fațade cu pereți dubli) funcționează prin incorporarea unui înveliș exterior, a unui spațiu de aer și a unui izolator pe perețele structural. Fluxul de aer din cavitate (adesea determinat de „efectul de coș de fum”) reduce câștigurile de căldură în timpul verii și acumularea de umiditate în timpul iernii, îmbunătățind performanța termică. Studiile au arătat că fațadele ventilate pot reduce sarcinile de răcire cu **20-55 %** și pot îmbunătăți valoarea U cu aproximativ **30-40 %** față de sistemele de izolare convenționale [10].

Un studiu de caz privind clădirile rezidențiale din Alicante, Spania, a comparat o fațadă ventilată orientată spre nord (cărămidă, izolație continuă de 3 cm, cavitate de 7 cm, placare din gresie porțelanată) (Tabelul 1) cu un perete izolat convențional (Tabelul 2). Sistemul ventilat a atins o valoare U de aproximativ **0,20 W/m²·K**, comparativ cu **fațada convențională, care a înregistrat 0,33 W/m²·K**, indicând o îmbunătățire cu 40% a transmisiei termice [11].

Table 1: Constructional features of the housing façade. [11]

F_1_Ventilated façade _Total thickness = 0.355 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness (m)
Inside environment		
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.115
3	Perforated ceramic brick	0.115
4	Thermal insulation: PUR projection [0.033 W/[mK]]	0.03
5	Metallic structure	—
6	Air gap ventilated	0.07
7	Outer discontinuous ceramic façade	0.01
Outside environment		



Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Table 2: Constructional features of the conventional façade. [11]

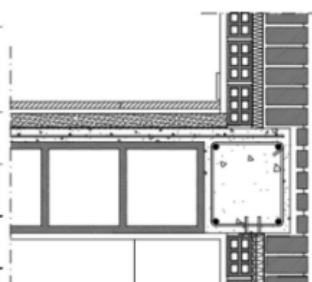
F_2_ Conventional façade _Total thickness = 0.24 m

Vertical construction and horizontal flow

Inside environment Thickness (m)

1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.07
3	Thermal insulation: mineral wood [0.033 W/[mK]]	0.03
4	Mortar bed	0.01
5	Perforated ceramic brick	0.115

Outside environment



Alte exemple de fațadă ventilată și fațadă convențională sunt prezentate în figurile următoare:

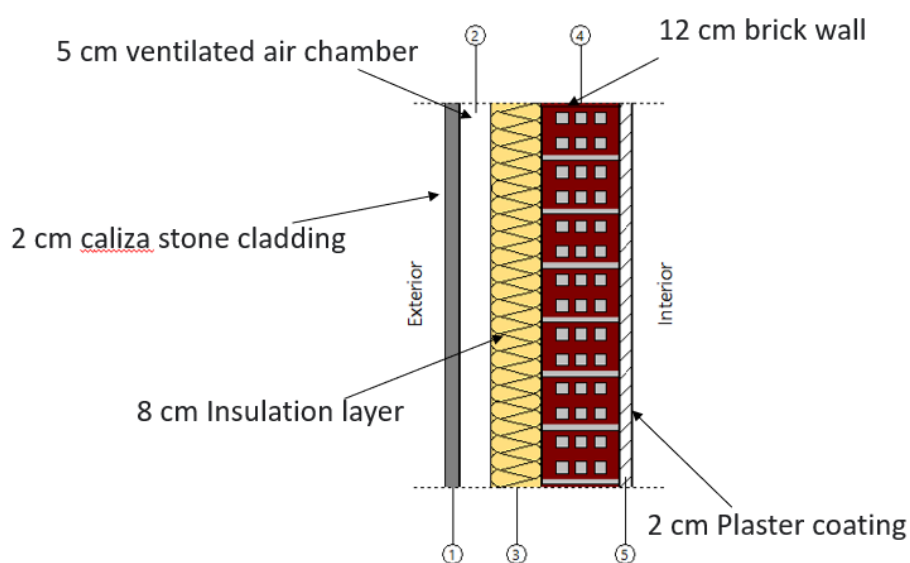


Figura 6: Fațadă ventilată ($U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

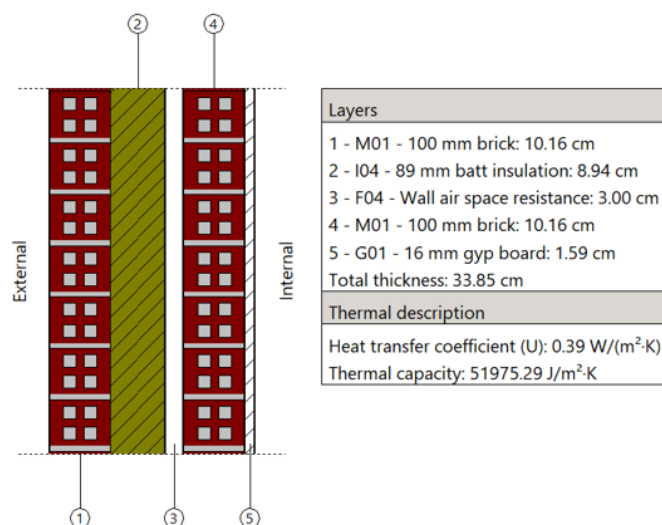


Figura 7: Fațadă convențională ($U = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

5.5.2. Alte tipuri de fațade

Un alt exemplu real este Indira Paryavaran Bhawan, o clădire cu consum net zero de energie (NZEB) din Delhi. Anvelopa clădirii este construită din materiale grele. Peretele exterior este format din blocuri de beton celular autoclavizat (AAC) cu grosimea de 30 cm, izolație din vată minerală cu grosimea de 7 cm, un spațiu de aer cu grosimea de 12 cm și blocuri de cărămidă „Fal-G” [amestec brevetat de cenușă zburătoare (Fa), var (L) și gips (G)] cu grosimea de 12 cm, având o valoare U de **0,22 W/m² K** [12].



Figura 8: Indira Paryavaran Bhawan [12]

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Un alt caz demn de menționat este cel al fațadelor cu pereți dubli. Fațadele cu două straturi de înaltă performanță, cu straturi de sticlă și cavități ventilate, precum cele de la Pearl River Tower sau 30 St Mary Axe, îmbunătățesc valorile U până la **0,40-0,80 W/m²·K**, în funcție de lățimea cavității și de tipul de geam [13]. Deși sunt vitrate, aceste fațade utilizează în mod inteligent ventilația naturală sau mecanică pentru a gestiona radiația solară și a controla fluxul de aer.



Figura 9: Fațadă cu strat dublu

5.5.3. Exemple de acoperișuri de clădiri cu eficiență energetică ridicată

Acoperiș plat

Acoperișul plat este un tip de acoperiș caracterizat prin înclinația minimă, de obicei mai mică de 5%, și este utilizat în mod obișnuit în clădirile moderne și comerciale datorită structurii sale simple și utilizării eficiente a spațiului. Un sistem tipic de acoperiș plat include mai multe straturi: o platformă structurală, o barieră împotriva vaporilor, izolație termică, membrană impermeabilă și, uneori, un strat protector sau de finisare, cum ar fi pietriș, țiglă sau vegetație.

Proprietăți de izolare termică:

1. **Capacitate de izolare continuă:** Acoperișurile plate permit instalarea continuă și neîntreruptă a izolației termice, minimizând punțile termice. Materialele de izolare obișnuite includ poliizocianurat (PIR), polistiren extrudat (XPS) și vată minerală. Sistemele bine proiectate pot atinge **o transmisie termică (valori U) între 0,15 și 0,25 W/m²·K**, în funcție de tipul și grosimea izolației.
2. **Eficiență energetică ridicată:** Suprafața plană și uniformă facilitează asigurarea unei grosimi uniforme a izolației, ceea ce îmbunătățește rezistența termică globală. Acest lucru contribuie la reducerea pierderilor de căldură în timpul iernii și a supraîncălzirii în timpul verii, îmbunătățind confortul termic interior și reducând consumul de energie pentru încălzire, ventilație și aer condiționat.

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

3. **Compatibilitate cu sistemele pasive:** Acoperișurile plate sunt platforme ideale pentru integrarea sistemelor suplimentare eficiente din punct de vedere energetic, cum ar fi acoperișurile verzi, panourile solare sau acoperirile reflectorizante (acoperișuri reci). Acoperișurile plate reflectorizante, de exemplu, pot reduce absorbția solară cu peste 70%, completând izolația termică și îmbunătățind performanța în climatele calde.

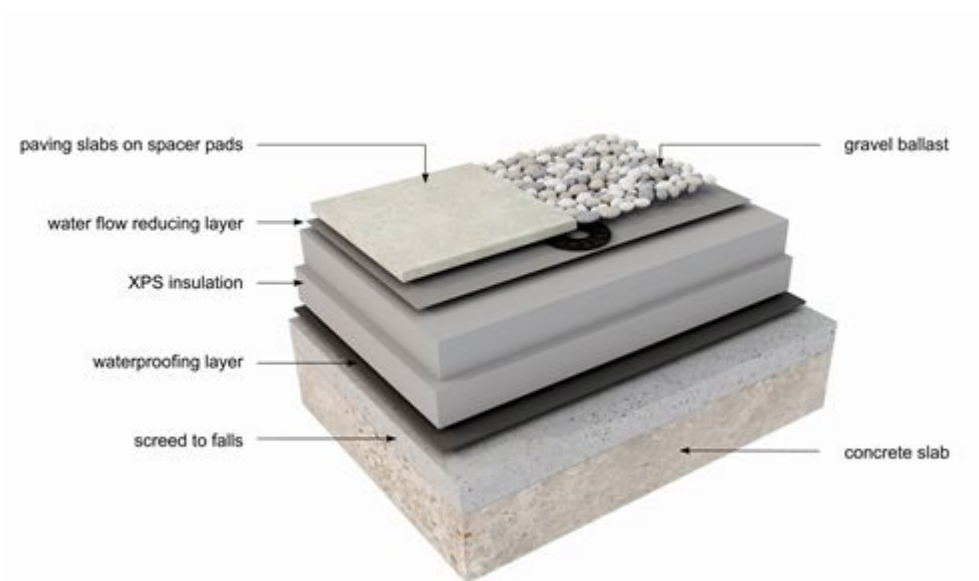


Figura 10: Acoperiș plat

Acoperișuri ventilate răcoroase.

Definiție și mecanism: Acoperișurile răcoroase ventilate combină un **strat exterior cu reflexie ridicată** (reflectanță solară între 0,65 și 0,85) cu o **cavitate ventilată** sub acesta. Această configurație permite circulația naturală a aerului, în care aerul încălzit iese prin orificii de ventilație înalte, iar aerul mai rece intră prin orificii de admisie inferioare, **reducând** în mod eficient **transmisia termică** în spațiul interior [14]. Acest proces de ventilație pasivă contribuie, de asemenea, la menținerea unei temperaturi mai stabile a acoperișului pe tot parcursul zilei.

Structura tipică și transmisia termică (valoarea U): O structură standard este formată dintr-o **platformă de acoperiș**, o **barieră de vaporii**, un **strat de izolație termică** și o **cavitate ventilată** cu o adâncime de aproximativ 25-50 mm, acoperită cu materialul de acoperiș exterior (țigle, foi de metal etc.). Stratul izolat atinge de obicei **valori U cuprinse între 0,20 și 0,30 W/m²·K**, în funcție de tipul și grosimea izolației [15]. Stratul ventilat contribuie la un **beneficiu termic suplimentar**, **reducând în mod eficient valoarea U globală** cu aproximativ **0,1 W/m²·K** prin diminuarea transferului de căldură prin conducție și convecție [15].

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Efectul de răcire și eficiența energetică: Datorită efectului combinat al reflexiei solare și al ventilației, acoperișurile ventilate răcoroase pot menține **temperaturile suprafeței cu până la 30-40 °C mai reci** decât acoperișurile întunecate, neventilate [16]. Această performanță termică duce la **economii de energie pentru răcire de 30-50%**, în funcție de climă, configurația acoperișului și tipul clădirii. În clădirile cu un singur etaj, s-au înregistrat reduceri de **până la 15% ale cererii de HVAC** la trecerea la acoperișuri reflectorizante ventilate [16].

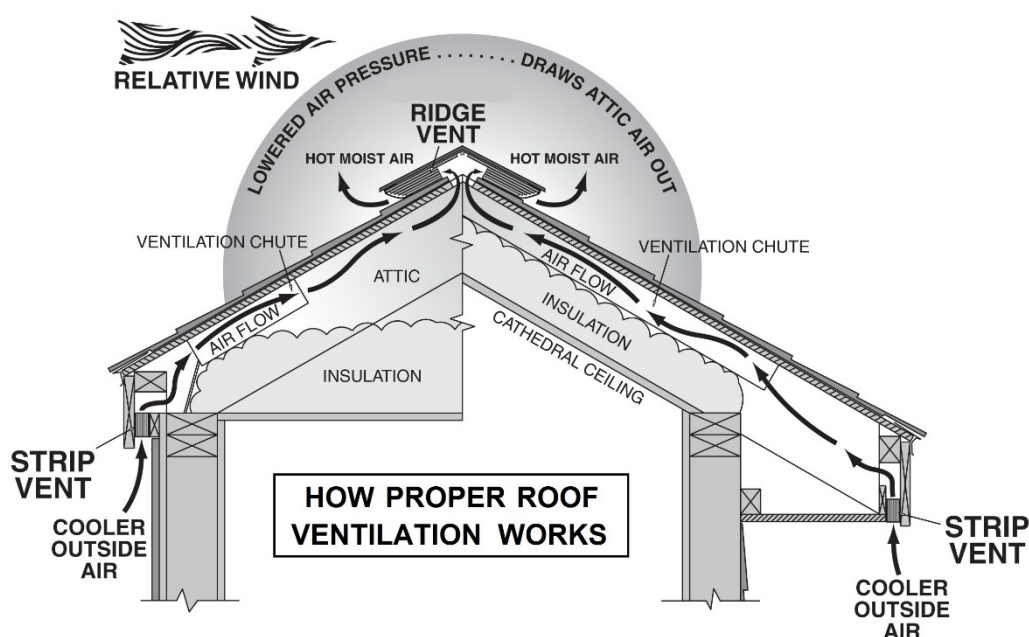


Figura 11: Cum funcționează acoperișul ventilat

Alte avantaje: Pe lângă eficiența energetică, acoperișurile ventilate oferă mai multe beneficii suplimentare:

- **Durată de viață prelungită a materialelor**, deoarece temperaturile mai scăzute ale suprafeței reduc stresul termic și degradarea.
- **Controlul umidității**, minimizând riscul de condensare și dezvoltarea mușgaiului prin fluxul continuu de aer [15].
- **Reducerea efectului de insulă termică urbană**, deoarece aceste acoperișuri emit mai puțină radiație termică în mediul înconjurător [14].

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice



Figura 12: Acoperiș cultivat cu pereți din cărămidă (acoperiș ventilat).

Acoperișuri verzi



Figura 13: Acoperiș verde.

Definiție și componente: Acoperișurile verzi constau dintr-un **sistem multistrat** instalat pe acoperișurile convenționale, care include membrane impermeabile, bariere împotriva rădăcinilor, straturi de drenaj, un mediu de cultivare (sol) și vegetație. Acestea pot fi clasificate ca **extensive** (adâncime de 6-20 cm, întreținere redusă, sarcină mai ușoară) sau **intensive** (adâncime de peste 20 cm, suportă copaci și arbuști, mai grele și mai complexe) [17]. Aceste sisteme asigură izolația și reglarea climatică, adăugând în același timp valoare estetică și ecologică structurilor urbane.

Transmisie termică și performanță: Acoperișurile verzi acționează ca tampoane termice naturale. Vara, **evapotranspirația și umbrirea** reduc transferul de căldură, iar iarna, **masa solului și umiditatea reținută** încetinesc pierderea de căldură. Valorile U măsurate pentru acoperișurile verzi variază, dar în general sunt cuprinse între **0,25 și 0,35 W/m²·K**, în funcție de grosime și saturație [18]. În comparație cu acoperișurile plate tradiționale

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

($U \approx 0,50-0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), acoperișurile verzi pot îmbunătăți izolația cu până la 50%, în special vara.

Eficiența energetică și confortul interior: În climatele calde, acoperișurile verzi pot reduce temperaturile interioare cu **2-5 °C**, scăzând consumul de aer condiționat cu **30-70%** în timpul verii [18], [19]. În climatele temperate, s-au raportat economii totale de energie de **5-10% pe an**. În timpul iernii, câștigurile de izolare sunt mai mici, dar totuși relevante — studiile arată reduceri ale consumului de energie pentru încălzire de **până la 10%** [18].

Beneficii pentru mediu și durabilitate: Pe lângă avantajele termice, acoperișurile verzi oferă:

- **Retenția apei pluviale** de până la 80% din precipitații, ușurând sistemele de drenaj.
- **Atenuarea efectului de insulă termică urbană**, reducând temperatura aerului ambiant cu până la 2–3 °C în zonele dens populate [17].
- **Durată de viață extinsă a acoperișului:** prin protejarea membranelor impermeabile de radiațiile UV și de ciclurile termice, acoperișurile verzi pot **dubla durata de viață a acoperișului**, ajungând la 40-50 de ani [20].

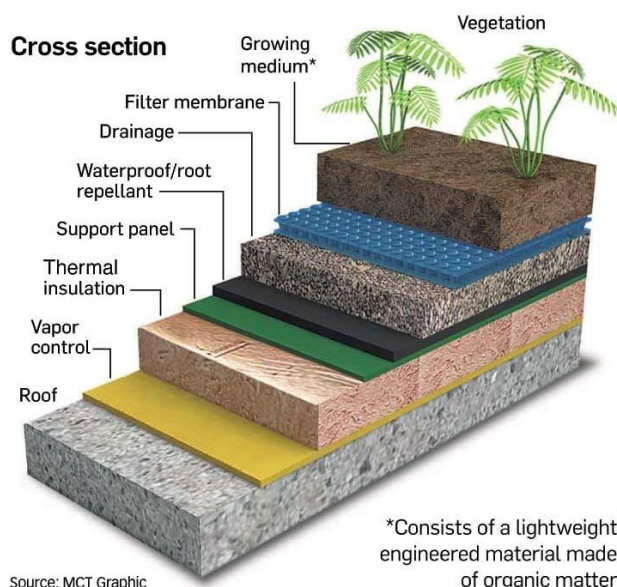


Figura 14: Acoperiș verde. Sursa: grafic MCT

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

5.6 Alternative pentru îmbunătățirea izolației fațadelor clădirilor existente.

5.6.1. Introducere și context

Îmbunătățirea izolației fațadelor clădirilor este una dintre cele mai eficiente strategii de reducere a consumului de energie și de creștere a confortului interior în structurile existente. Fațadele reprezintă adesea **20-35 % din pierderile de căldură** din clădiri, în special în climatele reci și temperate [21]. Modernizarea acestor elemente ale anvelopei poate reduce semnificativ valoarea U a clădirii și consumul de energie fără a necesita modificări structurale majore.

5.6.2. Sisteme compozite de izolare termică exterioară (ETICS)

ETICS, cunoscute și sub denumirea de sisteme de izolare a pereților exteriori, implică aplicarea **de panouri izolante (de exemplu, polistiren expandat, vată minerală sau PIR)** pe exteriorul pereților, apoi acoperirea acestora cu plasă și tencuială de finisare. Aceste sisteme pot reduce valorile U ale pereților de la aproximativ **1,0 W/m²·K (zidărie neizolată) până la 0,20-0,25 W/m²·K**, în funcție de materialul și grosimea utilizate [22]. ETICS contribuie, de asemenea, la prevenirea punților termice și la îmbunătățirea durabilității fațadelor, protejând structura de intemperii și radiații UV [22].

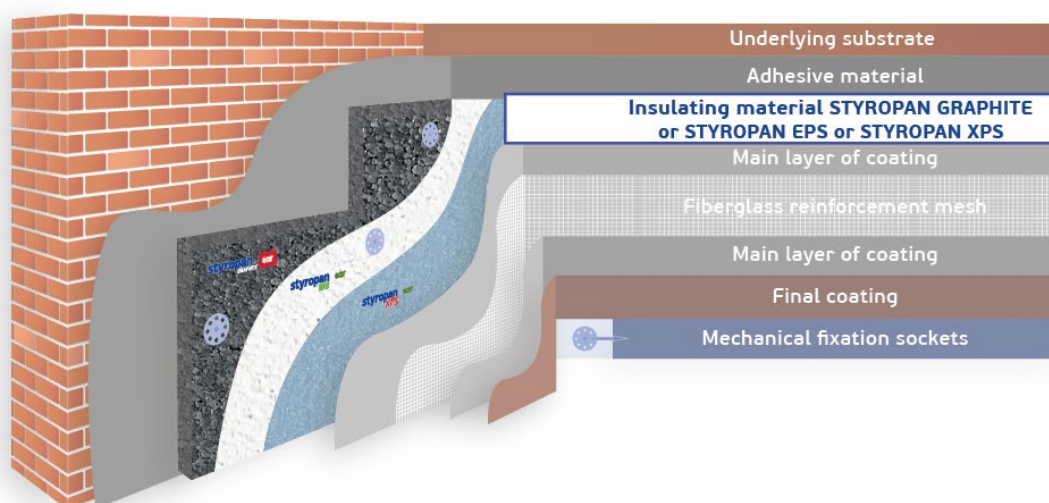


Figura 15: ETIC. Sursa: Styropan

Avantajele reabilitării cu ETICS

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

- **Performanță termică îmbunătățită:** ETICS poate reduce **transmisia termică (valoarea U)** a pereților tipici din zidărie de la aproximativ **1,2–1,5 W/m²·K (neizolați) la 0,20–0,30 W/m²·K**, în funcție de grosimea și materialul izolației. Această „ ” îmbunătățește confortul interior și reduce cererea de încălzire și răcire cu până la **40%** în climatele temperate.
- **Punți termice reduse la minimum:** Deoarece izolația este continuă pe toată suprafața peretelui, ETICS ajută la **eliminarea punților termice liniare** (de exemplu, la plăcile de pardoseală sau la pragurile ferestrelor), care sunt surse frecvente de pierdere de căldură în clădirile vechi.
- **Spațiu interior păstrat:** Deoarece izolația este aplicată la exterior, **nu se pierde suprafață interioară**, iar locatarii nu sunt nevoiți să se mute în timpul instalării.
- **Durabilitate sporită a fațadelor:** ETICS protejează structura de bază împotriva **intemperiei, fluctuațiilor de temperatură și radiațiilor UV**, prelungind durata de viață a pereților și reducând costurile de întreținere.
- **Renovare estetică:** Sistemul permite o mare varietate de **finisaje, texturi și culori**, oferind posibilitatea de a moderniza aspectul clădirii și de a îmbunătăți performanțele acesteia.

Dezavantajele ETICS:

- **Modificări necesare ale fațadei:** Grosimea suplimentară (de obicei **8-20 cm**) poate necesita adaptări la **ferestre, pervazuri, streșini și balcoane**, crescând complexitatea și costul manoperei.
- **Vulnerabilitate mecanică:** În ciuda stratului exterior întărit, ETICS poate fi **susceptibil la deteriorări mecanice** (de exemplu, impact, vandalism), în special în zonele de la parter, și poate necesita reparații sau consolidări periodice.
- **Constrângeri normative sau legate de patrimoniul cultural:** În clădirile istorice sau protejate din punct de vedere arhitectural, **modificările exterioare pot fi restricționate**, ceea ce face ca ETICS să fie o opțiune nepotrivită sau interzisă.
- **Investiția inițială:** Costul inițial, inclusiv schele, manoperă calificată și detalii, este **relativ ridicat** în comparație cu alte soluții, deși economiile pe termen lung justifică adesea cheltuiala.

5.6.3. Fațade ventilate (sisteme de placare cu ecran de protecție împotriva ploii)

Fațadele ventilate implică un **sistem de pereți stratificați** cu un placaj exterior (de exemplu, ceramică, metal, fibrociment), o cavitate de aer și un strat de izolație termică

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

subiacent. Această configurație permite **circulația aerului între izolație și placaj**, îmbunătățind performanța higrotermică și reducând acumularea de umiditate. Stratul de aer ventilat acționează ca un tampon termic și poate reduce valorile U la **0,15-0,30 W/m²·K**, în funcție de materialul izolației și de adâncimea cavității [23]. Aceste sisteme sunt utilizate pe scară largă atât în renovările energetice, cât și în modernizarea estetică a fațadelor.

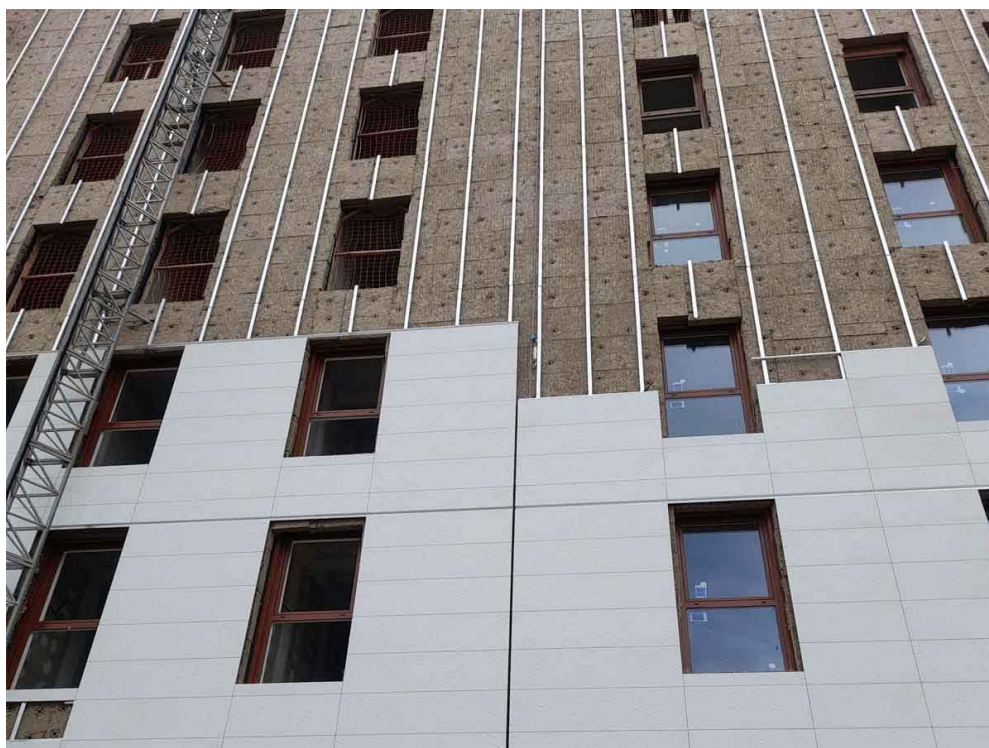


Figura 16: Reabilitarea energetică a fațadei. Fațadă ventilată

5.6.4. Soluții de izolare interioară

Când izolația exterioară nu este fezabilă (de exemplu, clădiri istorice), **izolația pereților interiori** este o alternativă viabilă. Materiale precum **panouri de izolație sub vid (VIP)**, aerogele sau plăci de vată minerală sunt aplicate pe fața interioară a peretelui. Deși aceste sisteme sunt mai ușor de instalat din interior, ele pot reduce ușor spațiul util și necesită straturi de control al vaporilor pentru a preveni condensarea. În funcție de produs, renovările interioare pot reduce valorile U la **0,30-0,45 W/m²·K** [24].

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

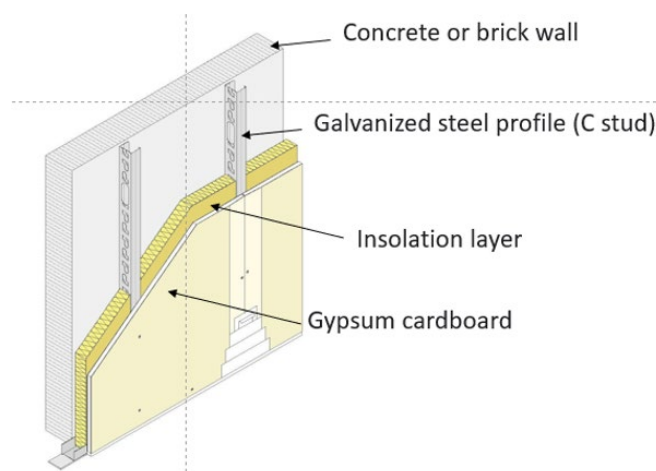


Figura 17: Soluție de izolare interioară.

Izolația pereților interiori este adesea utilizată atunci când izolarea exteriorului unei clădiri nu este posibilă, de obicei din cauza restricțiilor urbane, a cerințelor de conservare arhitecturală sau a limitărilor bugetare. Aceste sisteme implică aplicarea de materiale izolante (cum ar fi vată minerală, plăci de poliuretan, arogele sau panouri compozite) pe suprafața interioară a pereților exteriori existenți.

Avantajele soluțiilor de izolare internă:

- **Păstrarea aspectului exterior al clădirii:** Unul dintre principalele avantaje este că aspectul exterior al clădirii rămâne neschimbat. Acest lucru face ca izolația interioară să fie deosebit de potrivită pentru **clădirile istorice**, unde modificările fațadei sunt adesea restricționate.
- **Instalare simplificată:** Izolația internă poate fi instalată, de obicei, **cameră cu cameră**, permițând **renovarea în etape**. Acest lucru este util în mediile rezidențiale, unde locatarii pot continua să utilizeze părți ale clădirii în timpul lucrărilor.
- **Cost inițial mai mic:** În comparație cu sistemele de izolare exterioară, soluțiile interioare pot fi **mai puțin costisitoare**, în special în clădirile cu fațade complexe, ornamente sau acces dificil pentru schele.
- **Confort interior îmbunătățit:** Aplicată corect, izolația internă poate **reduce semnificativ pierderile de căldură, crește temperatura suprafețelor și reduce condensul** pe pereții interiori, îmbunătățind confortul termic în lunile de iarnă.

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Dezavantajele soluțiilor de izolare internă

- **Spațiu interior redus:** Un dezavantaj notabil este **pierderea suprafeței utile**, în special atunci când se utilizează izolație mai groasă pentru a îndeplini cerințele termice. Acest lucru poate fi o problemă în camere sau apartamente mai mici.
- **Riscuri de punți termice:** Izolația internă nu acoperă îmbinările structurale, cum ar fi plăcile de pardoseală sau pereții despărțitori interni. Acest lucru creează **punți termice**, care pot reduce performanța energetică globală și pot duce la **condensare localizată sau la dezvoltarea mucegaiului**.
- **Riscuri de condens și umiditate:** Dacă nu sunt proiectate corespunzător cu **straturi de control al vaporilor** sau materiale respirabile, sistemele de izolație interioară pot reține umiditatea în interiorul peretelui, ducând la **condens interstițial** și degradarea structurii clădirii.
- **Deranjarea ocupanților:** Instalarea izolației interioare implică lucrări în interiorul clădirii, care pot necesita **mutarea mobilierului, lucrări electrice și redecorarea**. Acest lucru poate deranja ocupanții în timpul renovării.
- **Detalii complexe necesare:** Executarea corectă este esențială, în special în jurul **ferestrelor, prizelor, radiatoarelor și joncțiunilor**. Detaliile necorespunzătoare pot compromite atât performanța termică, cât și controlul umidității.

5.6.5. Alt sistem: învelișuri hidronice

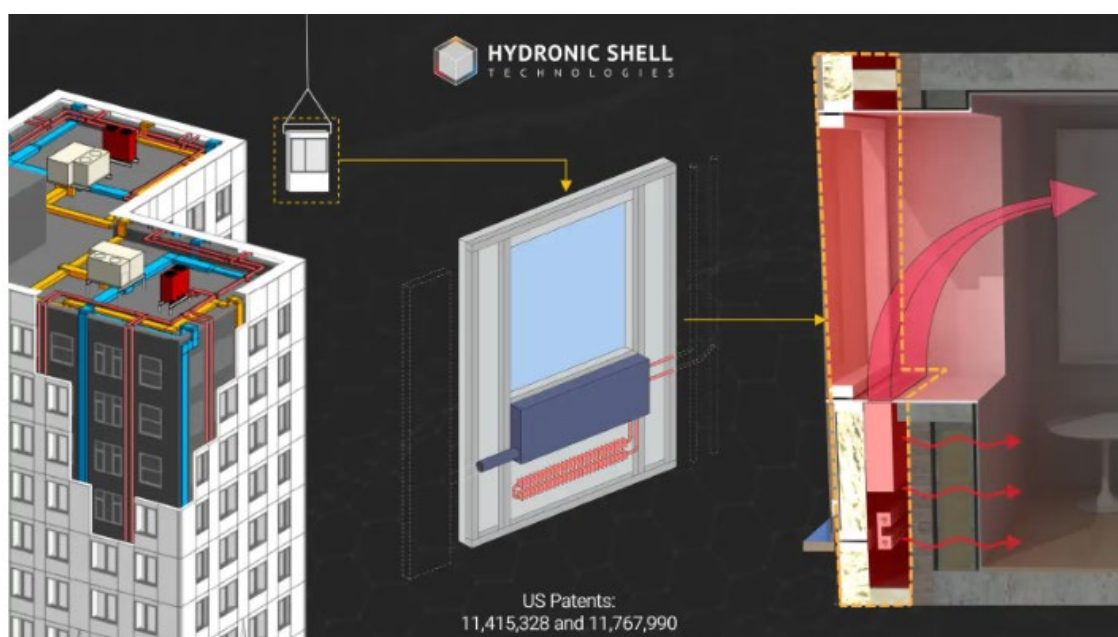


Figura 18: Sistem de înveliș hidronic [25]

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

Sistemul Hydronic Shell este o soluție inovatoare integrată în fațadă, concepută pentru **renovarea energetică profundă** a clădirilor existente, în special a celor cu izolație limitată și sisteme de încălzire învechite. Acesta constă dintr-o anvelopă exterioară prefabricată care încorporează izolație de înaltă performanță și o **rețea integrată de încălzire și răcire radiantă hidronică**. Această rețea circulă apa prin țevi sau panouri încorporate în fațadă, permițând încălzirea la temperaturi scăzute în timpul iernii și răcirea pasivă sau activă în timpul verii. Sistemul nu numai că îmbunătățește izolația termică (cu valori U de obicei sub **0,20 W/m²·K**), dar și înlocuiește sau completează sistemele tradiționale de încălzire, ventilație și climatizare, ceea ce duce la economii semnificative de energie și la îmbunătățirea confortului interior.

Unul dintre avantajele cheie ale Hydronic Shell este că permite o **modernizare neinvazivă**, deoarece modulele sunt montate extern și pot fi instalate cu perturbări minime pentru ocupanții clădirii. Pe lângă îmbunătățirea performanței energetice, sistemul oferă o fațadă ventilată nouă, cu potențial de renovare arhitecturală. Compatibilitatea sa cu sursele de energie regenerabilă (cum ar fi pompele de căldură sau energia solară termică) sporește și mai mult durabilitatea sa. Deși este încă o soluție emergentă în ceea ce privește implementarea la scară largă, aceasta reprezintă o strategie promițătoare pentru atingerea standardelor de **clădiri cu consum energetic aproape zero (nZEB)** în fondul imobiliar existent.

Referințe

- [1] Departamentul Energiei al Statelor Unite, „Building Envelope” (Anvelopa clădirilor), Energy.gov. [Online]. Disponibil la: <https://www.energy.gov/energysaver/design/energy-efficient-home-design/building-envelope>
- [2] Passive House Institute, „What is a Passive House?” [Online]. Disponibil la: <https://passivehouse.com>
- [3] Societatea Americană a Inginerilor de Încălzire, Răcire și Aer Condiționat (ASHRAE), *Manual ASHRAE – Fundamentals*, Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz și C. Pout, „O analiză a informațiilor privind consumul de energie al clădirilor”, *Energy and Buildings*, vol. 40, nr. 3, pp. 394–398, 2008.
- [5] Departamentul Energiei al Statelor Unite, „Tipuri de ferestre”, *Energy Saver*, <https://www.energy.gov/energysaver/types-windows>
- [6] NFRC (Consiliul Național de Evaluare a Ferestrelor), „Evaluarea performanței ferestrelor”, <https://www.nfrc.org>

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

- [7] Urban Front, „Valorile U și ușa dvs. de intrare: un ghid”, *Urban Front*, 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.urbanfront.com/blog/u-values-and-your-front-door/>
- [8] King Locksmiths, „Cea mai bună comparație între valoarea R și factorul U pentru uși”, *Blogul King Locksmiths*, 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.kingdoorandlock.com/r-value-vs-u-factor-door-insulation/>
- [9] A. Biro, „Ghid pentru uși eficiente din punct de vedere energetic în 2025”, *Green Building & Design (gb&d)*, 22 aprilie 2025. [Online]. Disponibil la: <https://gbdmagazine.com/energy-efficient-doors/>
- [10] Camila Prieto, „Fațade ventilate pentru reabilitarea clădirilor eficiente din punct de vedere energetic”, *ArchDaily*, iunie 2023. [Online]. Disponibil: <archdaily.com>
- [11] A. Espinosa-Fernández et al., „Eficiența energetică a fațadelor ventilate”, *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 171, pp. 41–52, 2017.
- [12] „Indira Paryavaran Bhawan”, *Wikipedia*, aprilie 2025. [Online]. Disponibil: <wikipedia.org/wiki/Indira_Paryavaran_Bhawan>
- [13] „Fațadă cu strat dublu”, *Wikipedia*, 2023. [Online]. Disponibil: <wikipedia.org/wiki/Double-skin_facade>
- [14] Departamentul Energiei al Statelor Unite, „Cool Roofs”, *Energy.gov*, 2021. [Online]. Disponibil la: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>
- [15] AIVC, „Performanța termică a acoperișurilor ventilate”, *Centrul pentru infiltrații de aer și ventilație*, 2006. [Online]. Disponibil la: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/epic2006/VOLUME_1_Epic06/E06/040_Borg.pdf
- [16] M. Singh et al., „O analiză comparativă a performanței termice a acoperișurilor răcoroase”, *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 2021. [Online]. Disponibil la: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123321000209>
- [17] Agenția pentru Protecția Mediului din S.U.A., „Utilizarea acoperișurilor verzi pentru reducerea insulelor de căldură”, *EPA*, 2022. [Online]. Disponibil la: <https://www.epa.gov/heatislands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>
- [18] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis și G. Mihalakakou, „Analiza proprietăților termice ale acoperișurilor verzi și investigarea performanței energetice a acestora”, *Energy and Buildings*, vol. 33, nr. 7, pp. 719–729, 2001. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- [19] Living Roofs, „Acoperișuri verzi și conservarea energiei”, *LivingRoofs.org*, 2023. [Online]. Disponibil la: <https://livingroofs.org/energy-conservation/>

Catalogul celor mai bune alternative pentru îmbunătățirea eficienței energetice a clădirilor: Îmbunătățirea anvelopei termice

- [20] Urban Greening, „Benefits of Green Roofs” (Beneficiile acoperișurilor verzi), *Green Roofs for Healthy Cities*, 2023. [Online]. Disponibil la: <https://greenroofs.org/resources/benefits-of-green-roofs/>
- [21] Comisia Europeană, „Performanța energetică a clădirilor”, *Uniunea Europeană*, 2023. [Online]. Disponibil: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
- [22] Baumit, „Sistem compozit de izolare termică exterioară ETICS”, *Fișe tehnice Baumit*, 2022. [Online]. Disponibil la: <https://www.baumit.com/products/facade/etics>
- [23] Knauf Insulation, „Sisteme de fațade ventilate”, *Ghid tehnic Knauf*, 2023. [Online]. Disponibil la: <https://www.knaufinsulation.com/en/products-solutions/facades>
- [24] Historic England, „Eficiența energetică și clădirile istorice: izolația pereților interiori”, 2016. [Online]. Disponibil la: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-internal-wall-insulation/>
- [25] Hydronic Shell, „Cum funcționează — Hydronic Shell”, *HydronicShell.com*, accesat în iunie 2025. [Online]. Disponibil la: <https://www.hydronicshell.com/>

6 - Rezultate

Pentru a evalua succesul aplicației, sugerăm realizarea unui chestionar pentru studenți.

7- Ce am învățat

Ce este anvelopa termică a unei clădiri.

Proprietățile fizice ale anvelopei termice a unei clădiri.

Strategii de optimizare a anvelopei termice a unei clădiri.

Componentele anvelopei termice.

Tipuri de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată.

Exemple de ferestre și uși cu eficiență energetică ridicată.

Exemple de fațade și acoperișuri cu eficiență energetică ridicată.

Măsuri de îmbunătățire a izolației fațadelor și pereților anvelopei termice.