

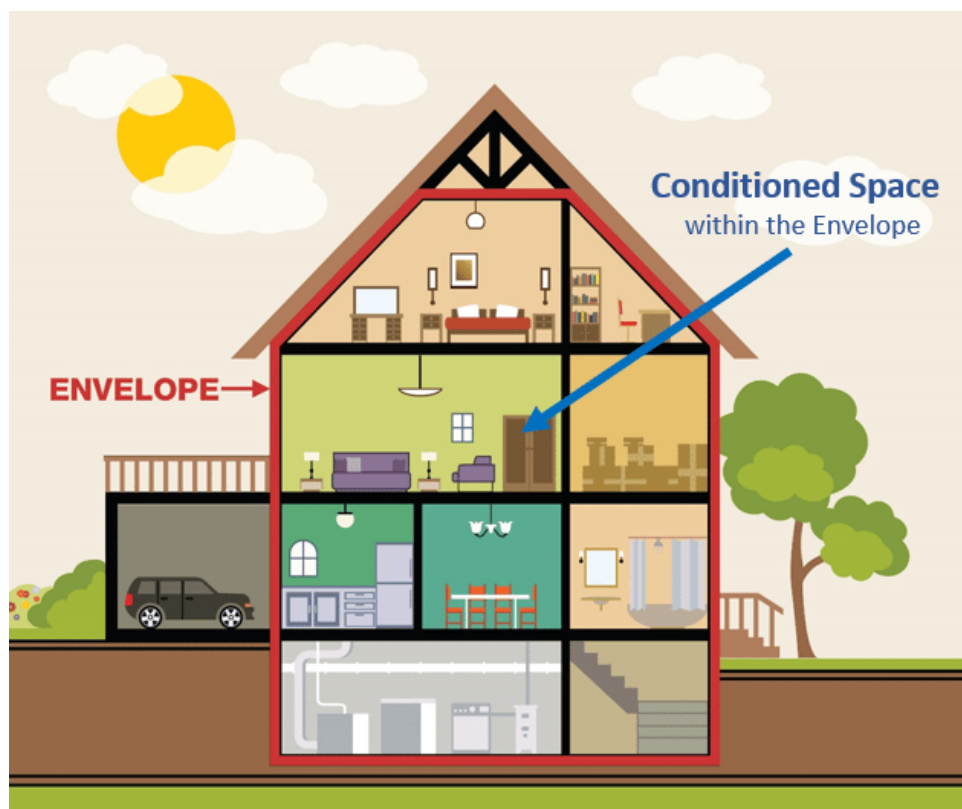
Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

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

Titlu: Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirilor



Rezumat

Titlu: Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirilor	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 – Anvelopa clădirii	4
5.2 – Tipuri comune de fațade, pereți și acoperișuri.....	5
5.3 – Transferul de căldură prin anvelopa termică.....	11
5.4 – Conductivitatea termică și produsele de izolare pentru clădiri	14
5.5 – Proprietățile termice ale unui perete	15
5.6 – Proprietățile termice ale ferestrelor	17
5.7 – Cerințe ale codului privind anvelopa termică.....	21
Referințe.....	25
6 - Rezultate	25
7- Ce am învățat	25

1 – Obiective

Scopul principal al acestui tutorial este de a arăta ce este anvelopa termică a unei clădiri și cum funcționează aceasta în menținerea confortului în spațiile interioare ale clădirii. Obiectivele principale ale unui astfel de tutorial includ, de obicei:

Obiectivele acestui tutorial despre anvelopa termică a clădirilor sunt următoarele:

- Cunoașterea definiției anvelopei termice a clădirilor.
- Cunoașterea elementelor anvelopei termice a clădirilor și a modului în care acestea funcționează.
- Cunoașterea exemplelor de diferite tipuri de fațade, pereți despărțitori, acoperișuri
- Înțelegerea diferitelor mecanisme de transfer de căldură prin anvelopa termică: conducție, convecție, radiație
- Cunoașterea diferitelor materiale utilizate în stratul de izolație termică al unui element al anvelopei termice a unei clădiri.
- Înțelegerea proprietăților termice ale pereților (transmisie și inerție termică)
- Înțelegerea proprietăților termice ale ferestrelor (factor solar, transmisie, transmisie luminoasă).
- Cunoașterea cerințelor tehnice ale standardelor de economisire a energiei în clădiri privind anvelopa termică.

2 - Metodologia de învățare

Profesorul va oferi o explicație despre anvelopa termică a unei clădiri, cu o durată de aproximativ 30 de minute.

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

- Învelișul clădirii
- Tipuri comune de fațade, pereți și acoperișuri
- Transferul de căldură prin anvelopa termică
- Conductivitatea termică și produsele de izolare pentru clădiri
- Proprietățile termice ale unui perete
- Proprietățile termice ale ferestrelor
- Cerințe ale codului privind anvelopa termică

Pentru a evalua succesul aplicației, se va organiza un chestionar pentru studenți.

3 - Durata tutorialului

Implementarea descrisă în acest tutorial va fi realizată 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 – Anvelopa clădirii

Anvelopa termică a clădirii (denumită și stratul de control al fluxului de căldură) cuprinde acele elemente ale unei clădiri – precum pereții subsolului, pereții exteriori, podelele, acoperișurile, straturile izolante, ferestrele, ușile, barierele de aer și vaporii – care separă spațiul interior climatizat de mediul exterior neclimatizat și controlează transferul de căldură, aer și umiditate [1].

O altă definiție:

Termenul „**anvelopă termică a clădirii**” este definit ca fiind „**pereții subsolului, pereții exteriori, podeaua, acoperișul și orice alte elemente ale clădirii care înconjoară spațiile climatizate**”. Această delimitare include și granița dintre spațiul climatizat sau asigură o delimitare între spațiul climatizat și spațiul neclimatizat sau necondiționat.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

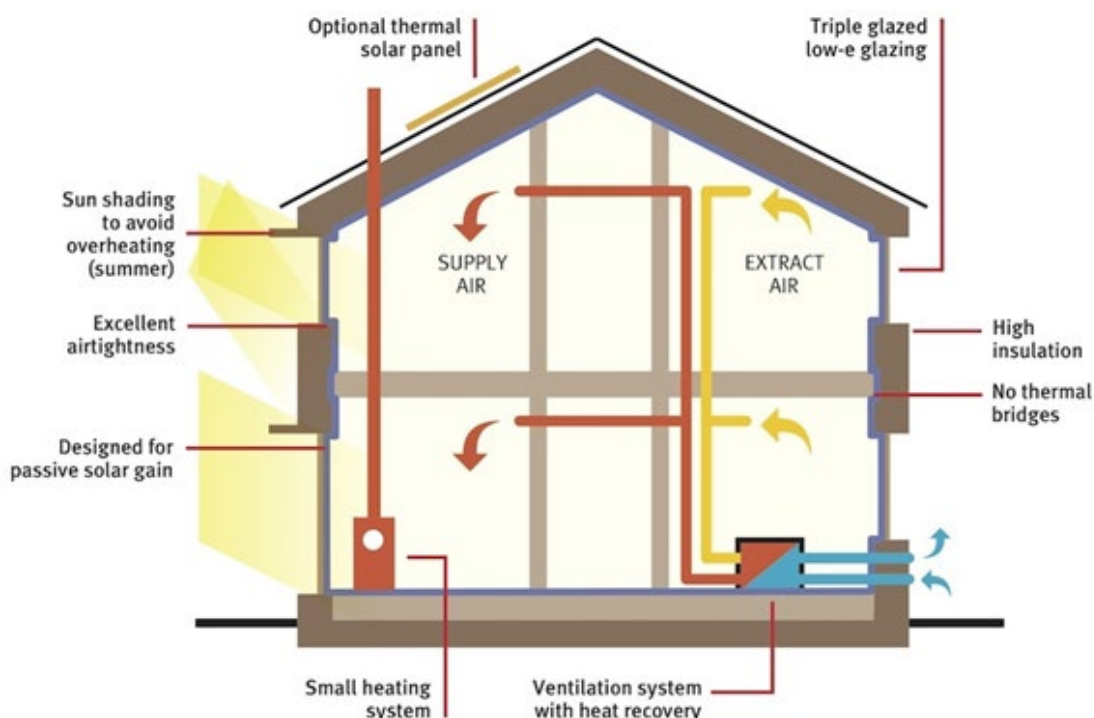


Figura 1. Anvelopa termică a clădirii

5.2– Tipuri comune de fațade, pereți și acoperișuri

5.2.1 Tipul de fațadă I: Fațadă cu perete dublu din cărămidă

O fațadă cu pereți dubli din cărămidă este formată din două straturi separate de zidărie – un perete exterior și un perete interior din cărămidă – separate de o cavitate care include de obicei atât un spațiu de aer, cât și un strat de izolație termică. Stratul izolator, amplasat pe peretele interior sau exterior, reduce transferul de căldură prin conducție, contribuind la menținerea unei temperaturi interioare stabile și la îmbunătățirea eficienței energetice. Cavitatea de aer acționează ca o zonă tampon, limitând pătrunderea umidității și permițând scurgerea sau evaporarea apei care se infiltrează în peretele exterior. Această combinație de materiale și straturi oferă performanțe termice și acustice excelente, îmbunătățind în același timp durabilitatea și rezistența la intemperii a anvelopei clădirii.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

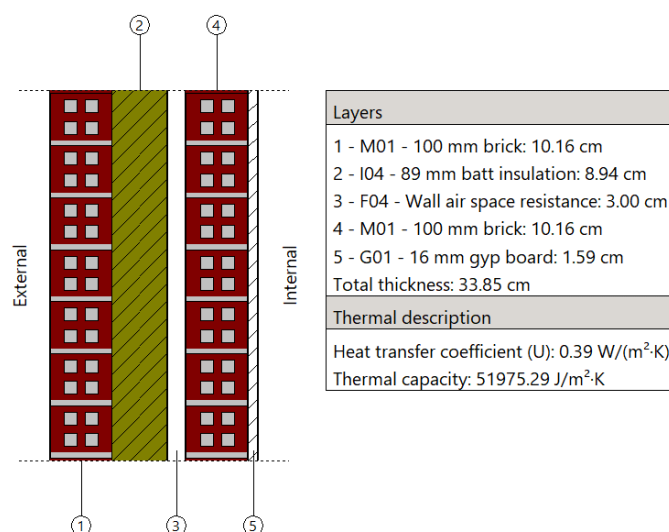


Figura 2: Fațadă cu perete dublu din cărămidă

5.2.2 Fațadă de tip II: Fațadă ventilată

O fațadă ventilată cu un strat exterior din panouri de calcar funcționează ca un sistem de anvelopă a clădirii de înaltă performanță, care îmbunătățește reglarea termică și controlul umidității. Placarea exterioară din calcar acționează ca un strat protector și estetic, protejând structura de expunerea directă la intemperii. În spatele acesteia, o cavitate ventilată permite circulația continuă a aerului, ceea ce ajută la eliminarea umidității, reduce punțile termice și previne acumularea de căldură în climatele mai calde. În interiorul cavității, un strat de izolație termică minimizează transferul de căldură între interiorul clădirii și mediul exterior, îmbunătățind eficiența energetică. Structura interioară este formată dintr-un perete de cărămidă care asigură suportul mecanic și integritatea structurală, urmat de un strat de finisare interioară care completează învelișul interior al clădirii. Acest sistem multistratificat oferă o durabilitate excelentă, confort termic și protecție împotriva factorilor de mediu.

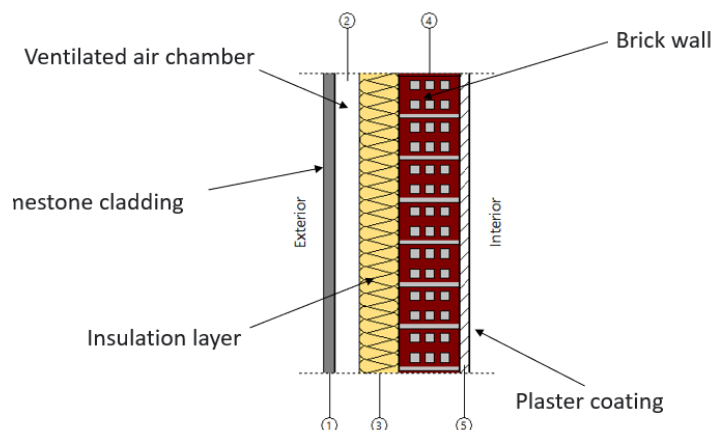


Figura 3: Fațadă ventilată

5.2.3 Fațadă de tip III: Fațadă cu perete din lemn

Acest sistem de fațadă are o structură masivă din lemn, utilizând panouri de perete din lemn laminat încrucișat (CLT), care servesc atât ca elemente structurale primare, cât și ca elemente portante. Pe partea exterioară a peretelui CLT este instalat un strat de izolație din vată minerală, care oferă performanțe termice și acustice excelente, menținând în același timp permeabilitatea la vapori pentru a evita problemele de umiditate. Șipci de lemn sunt fixate în stratul de izolație, servind ca elemente structurale intermediare care creează o cavitate ventilată și o rețea de susținere pentru placarea exterioară. O garnitură verticală este integrată pentru a asigura etanșeitarea la vânt, reducând infiltrațiile de aer și îmbunătățind eficiența energetică.

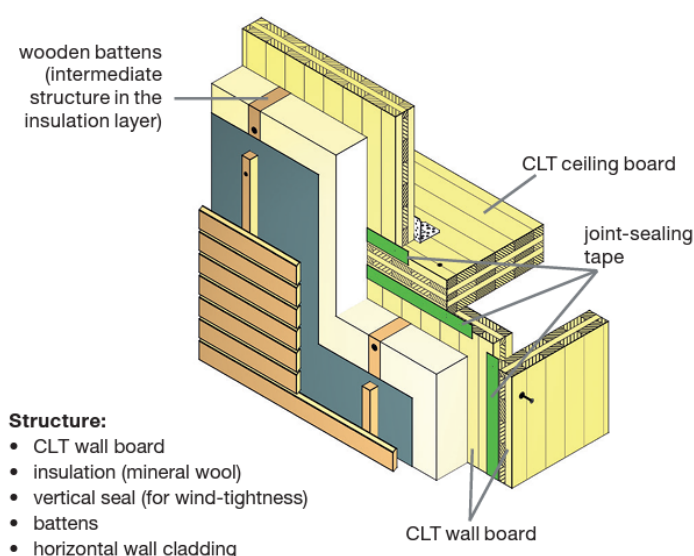


Figura 4: Fațadă cu perete din lemn

Deasupra șipcilor sunt montate panouri orizontale din lemn, care constituie finisajul exterior, oferind protecție împotriva intemperiilor și contribuind la aspectul estetic al fațadei. Sistemul include bandă de etanșare a îmbinărilor între panourile CLT și la conexiuni, pentru a asigura etanșeitarea și a minimiza punțile termice. Placa de tavan CLT se conectează perfect cu elementele de perete, menținând continuitatea straturilor termice și etanșe. Acest design multistrat combină frumusețea naturală și durabilitatea lemnului cu performanțe termice ridicate, rezultând o anvelopă modernă, eficientă din punct de vedere energetic și durabilă.

5.2.4 Perete despărțitor: perete cu izolație interioară și placaj din gips-carton

Un exemplu de construcție a unui perete despărțitor este un perete structural existent din beton sau cărămidă, care servește ca suport principal și separare între spațiile sau locuințele adiacente. Un cadru din profile de oțel zincat (șuruburi C) este ancorat pe fața interioară a acestui perete structural, creând o cavitate în care se instalează un strat de izolație termică, de obicei vată minerală sau panouri din spumă rigidă. Această

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

izolație îmbunătățește performanța termică a peretelui, reducând pierderile sau câștigurile de căldură dintre unități și contribuind la izolarea acustică. Sistemul este completat de un strat de carton cu gips (gips-carton) înșurubat pe profilele de oțel, formând un finisaj interior neted, gata de vopsire.

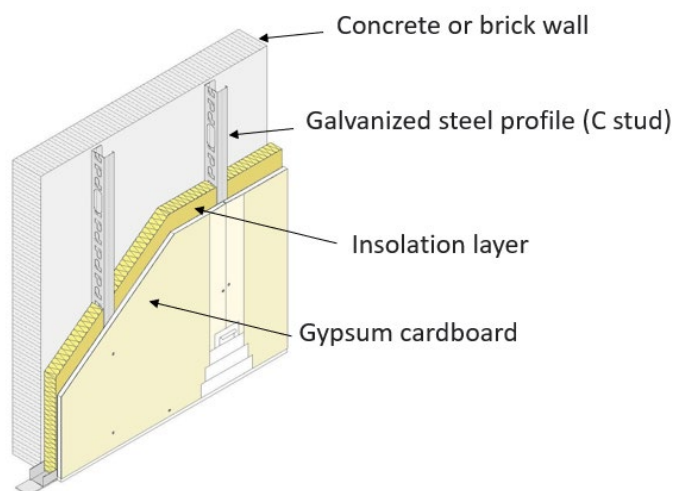


Figura 5: Perete despărțitor cu izolație interioară și placaj din gips

Pentru a preveni problemele de condens și umiditate în interiorul ansamblului de pereți, este esențial să se amplaseze o **barieră de vapor** pe partea caldă a stratului izolat, adică direct în spatele cartonului cu gips, dar înaintea izolației, în special în climatele cu ierni reci. Această amplasare împiedică pătrunderea aerului cald și umed din interior în stratul izolat mai rece, unde ar putea să se condenseze și să provoace mucegai sau deteriorarea structurii. Prin menținerea umidității în afara izolației, bariera de vapor asigură longevitatea și performanța sistemului de pereți.

5.2.5 Acoperiș de tip I: acoperiș plat inversat

Acest sistem de acoperiș plat (Figura 6) este compus din mai multe straturi instalate peste o placă structurală de beton. Mai întâi, se aplică un strat de șapă cu pantă (șapă în pantă) pentru a direcționa apa către punctele de scurgere, prevenind formarea bălților. Deasupra șapei, un strat impermeabil protejează clădirea împotriva pătrunderii apei. Deasupra stratului impermeabilizant se instalează plăci izolante din polistiren extrudat (XPS) pentru a asigura o rezistență termică excelentă și a reduce la minimum pierderile de căldură prin acoperiș. Apoi se aplică un strat de reducere a fluxului de apă pentru a încetini mișcarea apei pe suprafața acoperișului. În final, sistemul este finisat cu balast de pietriș sau dale de pavaj așezate pe distanțiere, care protejează straturile de dedesubt de expunerea la raze UV și de deteriorarea mecanică, oferind în același timp o suprafață practicabilă sau utilizabilă.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

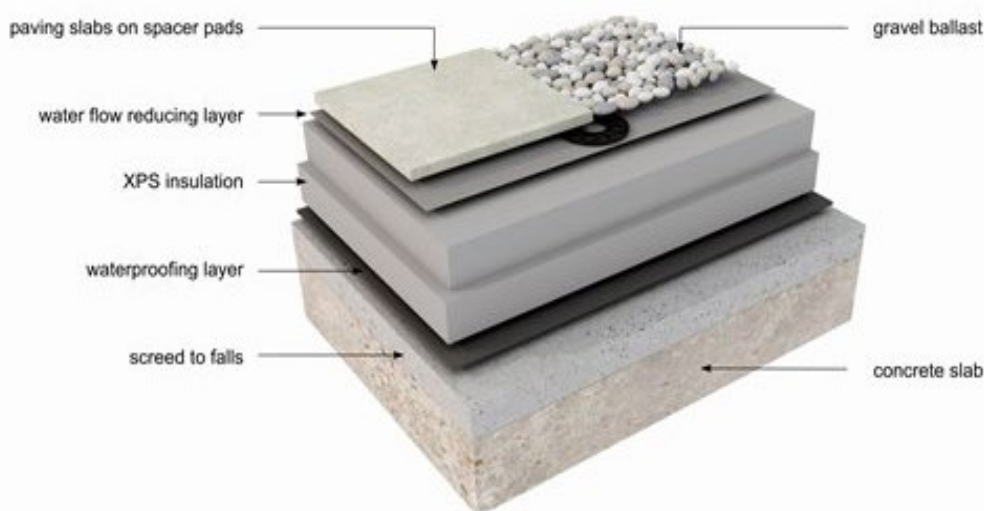


Figura 6: Acoperiș plat inversat

Din punct de vedere hidrotermic, acesta este un **sistem de acoperiș inversat** (numit și acoperiș cu membrană protejată), în care izolația termică se află deasupra stratului de impermeabilizare. Această dispunere menține stratul de impermeabilizare la o temperatură mai stabilă, minimizând ciclurile termice și prelungind durata de viață a acestuia. Structura cu celule închise a izolației XPS rezistă la absorbția apei, menținând performanța izolației chiar și în condiții de umiditate. Stratul de balast sau pavaj împiedică ridicarea de către vânt și protejează izolația de lumina soarelui și de impactul mecanic. Umiditatea care pătrunde în balast sau în îmbinări se poate scurge prin stratul de reducere a fluxului de apă, în timp ce panta o direcționează către orificiile de scurgere. Acest design higrotermic gestionează eficient căldura și umiditatea, asigurând eficiența energetică și protejând structura acoperișului de deteriorarea cauzată de apă.

5.2.6 Acoperiș de tip II: Acoperiș cu țiglă și pereți din cărămidă

Un acoperiș cu țiglă peste ziduri de cărămidă (Figura 7) începe de obicei cu o placă structurală din beton care servește ca element principal de susținere a sarcinii sistemului de acoperiș. Deasupra acestei plăci se instalează un strat de izolație termică pentru a reduce transferul de căldură și a îmbunătăți eficiența energetică a clădirii. Deasupra izolației, se construiesc pereți despărțitori ușori din cărămizi tubulare pentru a crea structura înclinată a acoperișului în două ape. Acești pereți despărțitori susțin o placă ceramică, care servește ca bază rigidă pentru stratul de șapă. Deasupra plăcii ceramice este incorporată o cavitate ventilată, care permite circulația aerului sub țiglele ceramice.

Un strat de șapă de mortar este aplicat peste placa ceramică pentru a crea o suprafață netedă și a asigura panta necesară pentru drenarea apei de-a lungul acoperișului înclinat. Țiglele din lut sau beton sunt apoi așezate deasupra cavității ventilate și a șapei, completând stratul exterior impermeabil al acoperișului. Cavitatea ventilată

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

transformă sistemul într-un acoperiș ventilat, permițând aerului cald să se evacueze și reducând acumularea de căldură sub țiglele. Acest design multistratificat și ventilat nu numai că asigură performanța termică și stabilitatea structurală, dar oferă și o protecție eficientă împotriva intemperiilor.



Figura 7: Acoperiș cu țiglă și pereți din cărămidă

În climatele calde, un acoperiș ventilat cu țiglă oferă avantaje semnificative: cavitatea ventilată permite circulația continuă a aerului, ceea ce ajută la disiparea căldurii acumulate pe suprafața acoperișului înainte ca aceasta să ajungă în interior. Acest lucru reduce temperaturile interioare și sarcinile de răcire, îmbunătățind confortul și eficiența energetică prin minimizarea necesității de aer condiționat. În plus, ventilația ajută la eliminarea umezelii, reducând riscul de condens și prelungind durata de viață a materialelor de acoperiș.

5.2.7 Acoperiș de tip III: Acoperiș din țiglă cu structură din lemn

Un acoperiș în două ape cu structură din lemn (Figura 8) este format, de obicei, dintr-un cadru din lemn cu căpriori și grinzi care formează cele două plane înclinate ale acoperișului. Între nervurile din lemn, izolația este instalată pe sau între plăcile structurale de acoperire, oferind o barieră termică eficientă direct în structura din lemn. Peste izolație și placaj, se fixează orizontal sau diagonal scânduri sau șipci suplimentare din lemn pentru a crea o suprafață de sprijin pentru țiglele acoperișului. Țiglele din lut sau beton sunt apoi așezate deasupra acestor șipci, completând ansamblul acoperișului înclinat și ventilat. Această structură din lemn permite o construcție ușoară și flexibilă, care poate fi adaptată cu ușurință la diferite deschideri și stiluri arhitecturale.

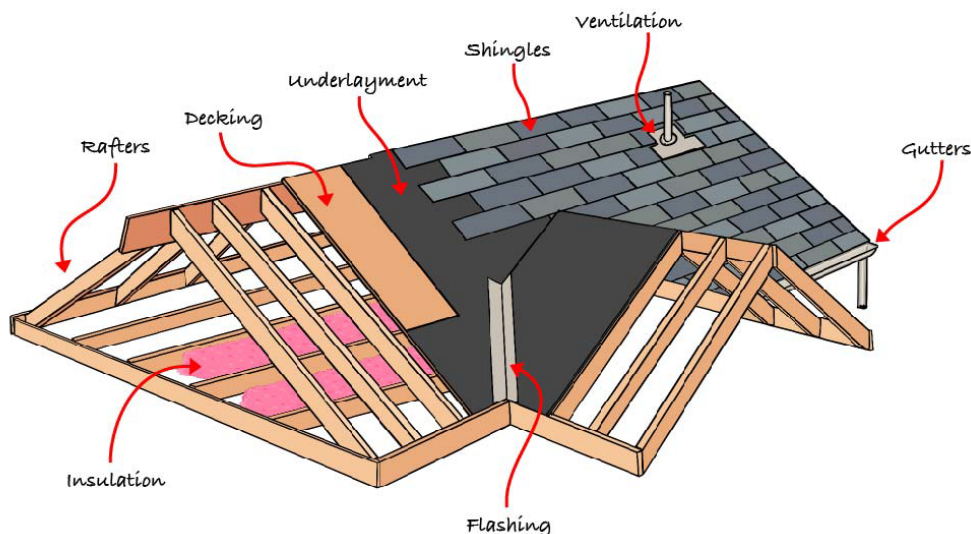


Figura 8: Acoperiș cu țiglă și structură din lemn

În comparație cu acoperișurile din țiglă peste ziduri de cărămidă, acoperișurile în două ape cu structură din lemn oferă o construcție mai rapidă, o greutate redusă pe pereții portanți ai clădirii și o mai mare flexibilitate pentru geometrii complexe ale acoperișului. Utilizarea lemnului simplifică formarea lucarnelor, luminatoarelor sau a altor elemente ale acoperișului. În plus, prin amplasarea izolației în interiorul sau deasupra structurii din lemn, învelișul termic poate urma mai ușor forma acoperișului, reducând punțile termice și îmbunătățind performanța energetică. Aceste avantaje fac acoperișurile în două ape din lemn deosebit de potrivite pentru clădirile rezidențiale din zonele în care construcția ușoară și flexibilitatea proiectării sunt priorități.

5.3– Transferul de căldură prin anvelopa termică

Capacitatea de a menține temperatura aerului interior la nivelul dorit este afectată de toate cele trei metode de transfer de căldură:

- Conducție
- Convecție
- Radiație

5.3.1 Conducție

Conducția termică este procesul prin care căldura este transferată printr-un material solid dintr-o regiune cu temperatură mai ridicată către o regiune cu temperatură mai scăzută, fără ca materialul în sine să se miște. Acest lucru se întâmplă atunci când particulele mai energice (mai fierbinți) din interiorul materialului intră în coliziune cu particulele vecine, mai puțin energice (mai reci), transferându-le energia termică. Eficiența acestui proces depinde de conductivitatea termică a materialului — metalele, de exemplu, sunt buni conductori de căldură, în timp ce materialele izolante, cum ar fi

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

vata minerală sau polistirenul, au o conductivitate termică scăzută și încetinesc semnificativ transferul de căldură prin conducție.

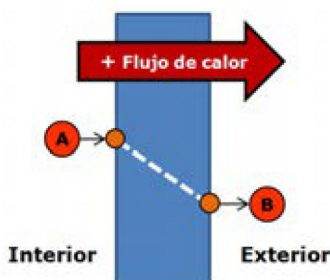


Figura 9: Fluxul de căldură prin conducție

- Necesită contactul între suprafețe pentru transferul de căldură solid-solid.
- Deoarece diferitele materiale dintr-un ansamblu izolat se ating între ele, pierderea de căldură prin conducție are loc prin componentele solide ale anvelopei clădirii.
- De exemplu, căldura se propagă prin conducție din zonele calde către zonele mai reci ale plăcilor de beton, geamurilor, pereților, tavanelor și altor materiale solide.

5.3.2 Convecție

Convecția termică este procesul de transfer de căldură printr-un fluid (lichid sau gaz) cauzat de mișcarea fluidului însuși. Ea apare atunci când regiunile mai calde și mai puțin dense ale fluidului se ridică, în timp ce regiunile mai reci și mai dense se scufundă, creând un model de circulație continuă cunoscut sub numele de curent de convecție. Această mișcare distribuie căldura în întregul fluid. Convecția poate fi naturală, determinată numai de diferențele de temperatură (cum ar fi aerul cald care se ridică într-o cameră), sau forțată, când un mecanism extern, cum ar fi un ventilator sau o pompă, mișcă fluidul. Convecția este un mecanism cheie în încălzire, ventilație și multe fenomene naturale, cum ar fi curenții oceanici și circulația atmosferică.

Pe scurt:

- Transferul căldurii dintr-un loc în altul prin mișcarea moleculară prin fluide precum apa sau aerul.
- Pierderea de căldură prin convecție rezultă de obicei din exfiltrare sau scurgeri de aer.
- Pierderea de căldură prin convecție are loc atunci când aerul cald este forțat să iasă, de obicei din clădire (exfiltrare), de aerul rece care intră, de obicei în partea inferioară (infiltrare).
- Viteza de transfer crește când vântul bate în clădire sau când diferența de temperatură dintre interior și exterior crește.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii



Figura 10: Scurgeri de aer în/din casă[3].

5.3.3 Radiație

- Radiația este transferul de căldură prin unde electromagnetice de la o suprafață mai caldă la una mai rece.
- Transferul căldurii solare către un acoperiș sau căldura resimțită în apropierea unui cuptor de sticlă sunt exemple de transfer de căldură prin radiație.

Radiația solară poate afecta semnificativ confortul termic din interiorul unei case, prin creșterea directă a temperaturii interioare, în special prin ferestre și pereți sau acoperișuri slab izolate. Când lumina soarelui pătrunde prin geamuri, poate încălzi suprafețele interioare, provocând o creștere a temperaturii ambiante și creând supraîncălzire localizată, în special vara sau în clădirile cu deschideri mari orientate spre sud. Fără umbră adecvată, izolație termică sau materiale reflectorizante, acest câștig de căldură poate duce la disconfort, dependență crescută de aerul condiționat și consum mai mare de energie. Controlul radiației solare cu dispozitive de umbră exterioare, acoperiri reflectorizante și orientarea corespunzătoare este esențial pentru menținerea unui climat interior stabil și confortabil.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

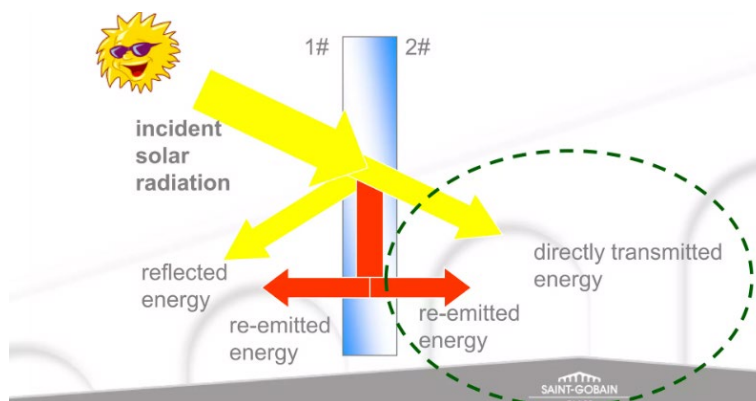


Figura 11: Radiația solară prin ferestre [4].

5.4– Conductivitatea termică și produsele de izolare pentru clădiri

Conductivitatea termică a unui material este o măsură a capacității sale de a conduce căldura. Este denotată în mod obișnuit prin k , λ sau κ și se măsoară în $W/m \cdot K$.

Această proprietate este **independentă de grosimea** materialului. Transferul de căldură are loc la o viteză mai mică în materialele cu conductivitate termică scăzută decât în materialele cu conductivitate termică ridicată.

Tabelul 1 prezintă conductivitatea termică a diverselor materiale de construcție.

Tabelul 1: Coerența termică a materialelor de construcție.

No	Building Material	Density (kg/m ³)	K (W/m.K)
1	Concrete	2.400	1,448
2	Aerated Concrete	960	0,303
3	Plastered Clay Brick	1.760	0,807
4	Exposed Clay Brick		1,154
5	Glass	2.512	1,053
6	Gypsum board	880	0,170
7	Steel	7.840	47,6
8	Granite	2.640	2,927
9	Marble/Ceramic/Terazzo	2.640	1,298

Source: SNI 03- 6389- 2000

Produsele care urmează să fie utilizate în **stratul de izolație termică** a anvelopei termice a unei clădiri se caracterizează prin conductivitate foarte scăzută. Toate produsele au o conductivitate similară, astfel încât, la alegerea unui material, principalii factori care trebuie luați în considerare sunt: grosimea, prețul și durabilitatea.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

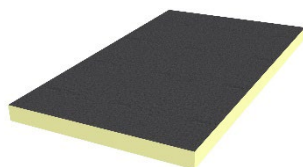
Lista următoare prezintă cele mai utilizate materiale pentru izolarea termică a unei clădiri:

- Izolație din vată minerală (gama de densitate aparentă ridicată) $\lambda = 0,038$ W/m·K
- Panouri izolante cu miez din poliuretan rigid (PIR) $\lambda = 0,022$ W/m·K
- Spumă poliuretanică pulverizată pentru izolare termică $\lambda = 0,02 - 0,03$ W/m·K
- Spumă de polistiren expandat (EPS) $\lambda = 0,035-0,037$ W/m·K
- Panouri din polistiren extrudat sau polistiren expandat (XPS) $\lambda = 0,024$ W/m·K
- Izolație din fibre de celuloză $\lambda = 0,04$ W/m·K
- Panouri izolante termice pe bază de plută $\lambda = 0,037 - 0,040$ W/m·K

Figura 12 prezintă imagini ale acestor materiale izolante.



(a) Vată minerală



(b) Poliuretan rigid



©Spumă poliuretanică pulverizată



(d) Spumă de polistiren expandat (EPS) sau polistiren extrudat sau polistiren expandat (XPS)



(e) Izolație din fibre de celuloză



(f) Panouri pe bază de plută

Figura 12: Materiale de izolare termică

5.5– Proprietățile termice ale unui perete

Cele două proprietăți fundamentale care explică comportamentul termic al unui perete sunt **transmisia termică** și **inerția termică**.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

5.5.1 Conductanța (sau transmisia termică, sau valoarea U) a unui element (perete sau fereastră).

Transmitanța termică (cunoscută și sub denumirea de **valoare U**) a unui perete sau a unei ferestre este rata de transfer de căldură prin perete pe unitatea de suprafață și pe unitatea de diferență de temperatură între mediul interior și exterior. Se exprimă în **wați pe metru pătrat d ru pe kelvin ($W/m^2 \cdot K$)**, iar valorile mai mici corespund unei performanțe mai bune de izolare.

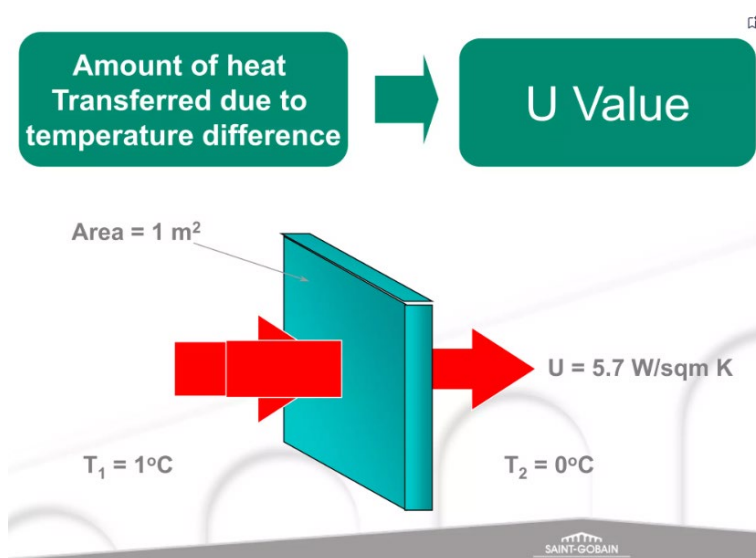


Figura 13: Definiția valorii U [4].

Cum se calculează **valoarea U** a unui perete:

The thermal transmittance U ($W/m^2 \cdot K$) is given by the following expression:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

R_T the total thermal resistance of the wall [$m^2 \cdot K/W$]:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

$R_1, R_2 \dots R_n$ the thermal resistances of each layer defined according to expression (3) [$m^2 \cdot K/W$];

R_{si} and R_{se} are the surface thermal resistances corresponding to indoor and outdoor air respectively, taken from codes according to the position of the enclosure, direction of heat flow and its location in the building [$m^2 \cdot K/W$].

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

R thermal resistance of a layer; e thickness of the layer; λ conductivity of the layer material



Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

Masa termică este o proprietate a masei unei clădiri care îi permite să stocheze căldura și să ofere inerție împotriva fluctuațiilor de temperatură.

Inerția termică se referă la **capacitatea** unui perete **de a absorbi, stoca și elibera treptat căldura în timp**, ceea ce joacă un rol crucial în îmbunătățirea eficienței energetice a unei clădiri. Pereții d, cu inerție termică ridicată, de obicei din materiale dense precum beton, cărămidă sau piatră, pot modera temperaturile interioare prin întârzierea transferului căldurii externe în clădire în timpul zilei și eliberarea căldurii stocate în perioadele mai reci, cum ar fi noaptea. Acest efect de tamponare contribuie la reducerea dependenței de sistemele de încălzire și răcire, menținând confortul termic cu un consum redus de energie. Drept urmare, clădirile cu o masă termică bine proiectată pot atinge un climat interior mai stabil și un consum redus de energie, în special în climatele cu fluctuații mari de temperatură pe parcursul zilei.

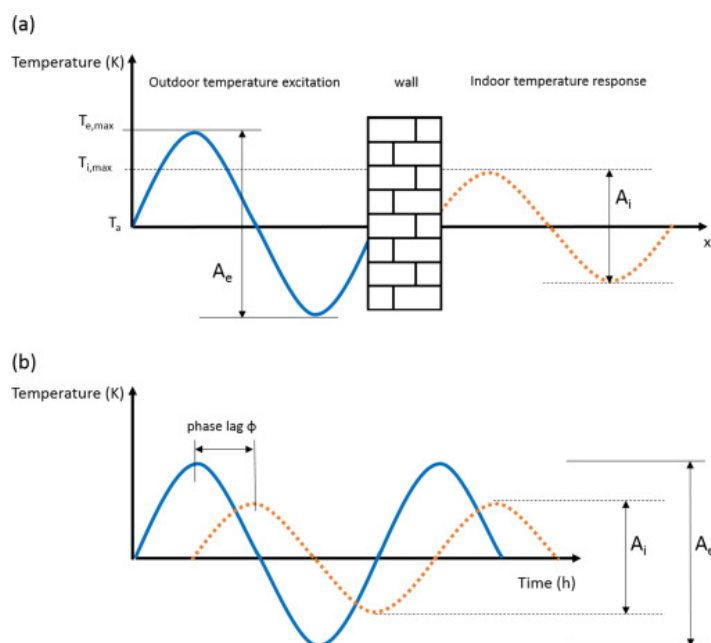


Figura 14: Efectul inerției termice a peretelui asupra temperaturii interioare [4].

Următoarea ecuație (4) arată parametrii de care depinde inerția termică P

$$P = \sqrt{C \lambda} = \sqrt{c \rho \lambda}$$

P : thermal inertia, C : Volumetric heat capacity, c : specific heat, λ : thermal conductivity

(4)

5.6– Proprietățile termice ale ferestrelor

Factorii cheie de performanță ai ferestrelor sunt următorii:

- Câștigul total de căldură / Transmisia căldurii
 - SHGC sau SF: Coeficientul de câștig de căldură solară sau factorul solar
 - Valoarea U
- Transmisia luminii: procentul de lumină incidentă transmisă

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

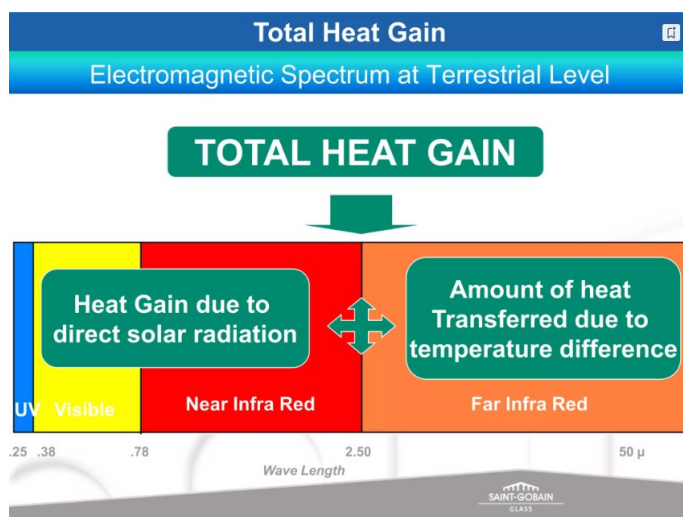


Figura 15: Câștig de căldură – spectru electromagnetic.

Coeficientul de câștig de căldură solară (SHGC), cunoscut și sub denumirea de **factor solar**, este o măsură a cantității de **radiație solară** care trece printr-o fereastră – atât transmisă direct, cât și absorbită și apoi eliberată în interior – în raport cu energia solară totală care lovește fereastra. Acesta este exprimat ca un număr între **0 și 1**, unde un **SHGC mai mic** înseamnă că mai puțină căldură solară pătrunde în clădire, iar un **SHGC mai mare** permite un câștig solar mai mare. În ceea ce privește **eficiența energetică**, SHGC ideal depinde de climă: în **climatele calde**, ferestrele cu **SHGC scăzut** contribuie la reducerea sarcinilor de răcire prin minimizarea câștigului de căldură nedorit, în timp ce în **climatele reci**, un **SHGC mai ridicat** poate fi benefic prin maximizarea încălzirii solare pasive și reducerea necesității încălzirii mecanice. Prin urmare, alegerea SHGC potrivit este esențială pentru optimizarea **performanței termice și a consumului de energie** al unei locuințe pe tot parcursul anului.

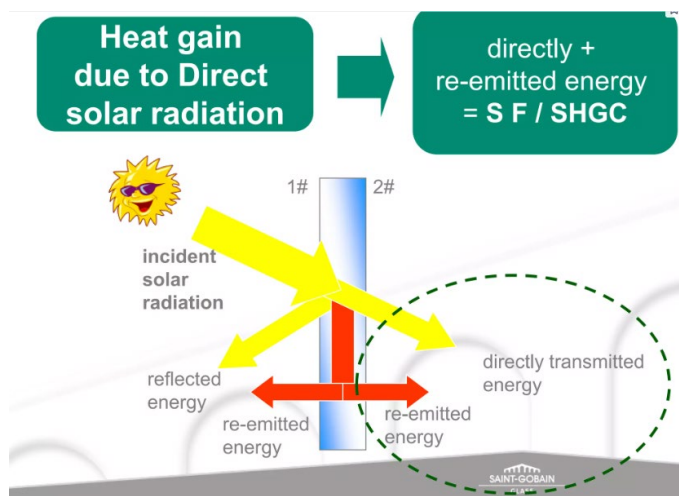


Figura 16: Conceptul factorului solar (SF sau SHGC).

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

Valoarea U a fost explicată în secțiunea 5.5.1.

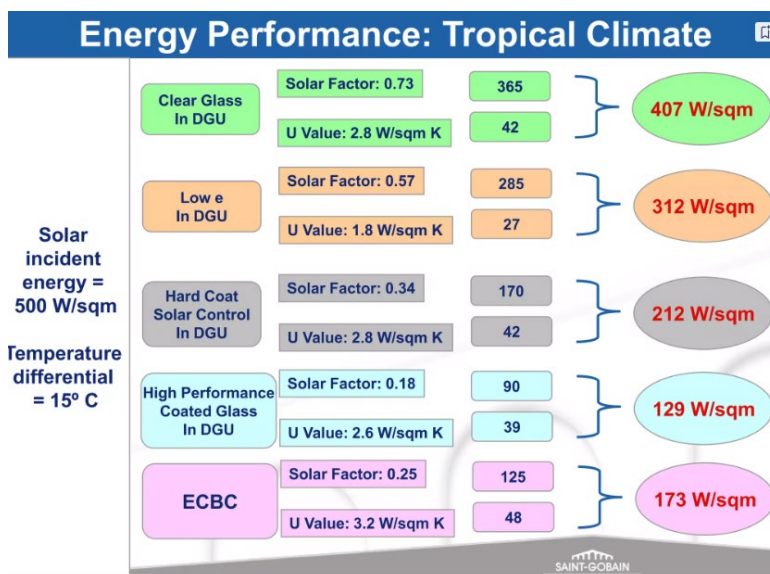
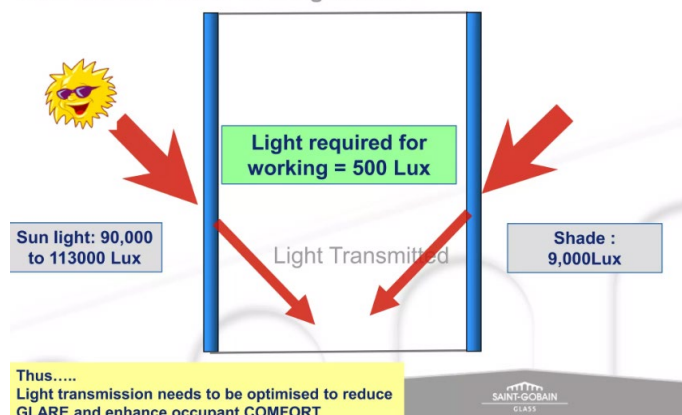


Figura 17: Exemple de câștiguri de căldură cu diferite tipuri de geamuri, în climat tropical

Transmisia luminii, denumită adesea **transmisie a luminii vizibile (VLT)**, este procentul de **lumină vizibilă** care trece printr-o fereastră în interiorul unei clădiri. Aceasta este exprimată ca o valoare între **0 și 1** (sau 0% și 100%), unde valorile mai mari înseamnă că mai multă lumină naturală pătrunde în spațiu. În mediul rezidențial, un nivel optim de transmisie a luminii este esențial pentru a asigura **confortul vizual**, a **reduce necesitatea iluminatului artificial** și a crea un mediu plăcut și funcțional pentru **locuit, lucru sau relaxare**. O transmisie prea redusă a luminii poate face ca interiorul să pară întunecat și să necesite mai multă iluminare electrică, crescând consumul de energie. În schimb, o transmisie foarte ridicată poate provoca **strălucire** sau supraîncălzire, în special în climatele însorite. Prin urmare, alegerea ferestrelor cu un VLT adecvat ajută la echilibrarea **accesului la lumina naturală**, a **eficienței energetice** și a **confortului ocupanților**.

Light Transmission (LT):

How low can the LT of the glass be ?



Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

Figura 18: Conceptul de transmisie corectă a luminii [4].

Există mai multe dispozitive și tehnologii concepute pentru a **optimiza transmisia luminii** prin ferestrele clădirilor, îmbunătățind atât **iluminatul natural**, cât și **eficiența energetică**. **Geamurile inteligente** sau **ferestrele electrocromice** își pot regla automat nuanța în funcție de intensitatea luminii solare, reducând strălucirea și căldura, menținând în același timp lumina naturală adecvată. **Sistemele de umbră exterioare**, cum ar fi **jaluzelele**, **copertinele** sau **brise-soleils**, pot bloca lumina solară excesivă în timpul orelor de vârf, permițând în același timp pătrunderea luminii difuze. **Soluțiile interne**, cum ar fi **rafturile luminoase** și **jaluzelele reflectorizante**, ajută la redirecționarea luminii naturale mai adânc în spațiile interioare. În plus, **acoperirile cu emisivitate redusă (low-E)** pe sticlă pot controla cantitatea de lumină vizibilă transmisă, minimizând în același timp câștigul de căldură. Împreună, aceste dispozitive permit controlul dinamic al luminii naturale, contribuind la crearea unor medii confortabile și bine iluminate și la reducerea dependenței de iluminatul artificial și de sistemele HVAC.

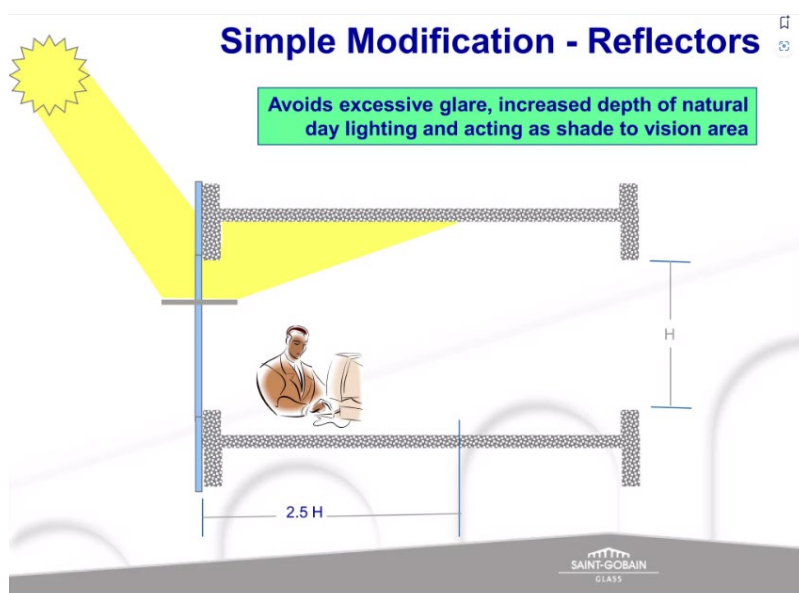


Figura 19: Reflectoare [4]

Recomandări privind pereții, ferestrele, umbrirea și câștigurile solare.

- Pereții trebuie proiectați astfel încât să aibă izolație
- Suprafața ferestrelor trebuie limitată la 10-30% din suprafața pereților
- Ferestrele trebuie să fie foarte eficiente, în special dacă reprezintă mai mult de 25% din suprafața pereților (atât protecție termică, cât și protecție solară).
- Umbririle cu consolă trebuie proiectate în funcție de unghiurile solare (de exemplu, consolele sunt de obicei mai eficiente pe pereții nordici și sudici)
- Umbrarea cu umbrare exterioare mobile poate fi foarte eficientă pentru optimizarea iluminatului natural și controlul câștigurilor solare.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

- Obloane
- Jaluzele mobile.

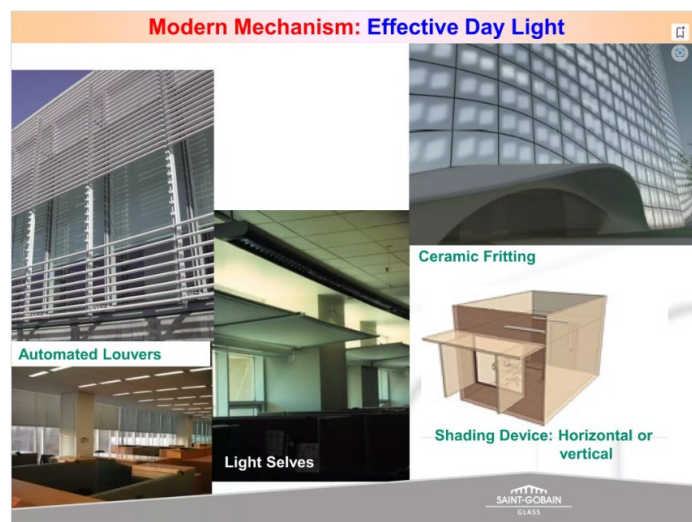


Figura 20 Sisteme de umbrire [4].

5.7– Cerințe privind codul pentru anvelopa termică

Conform Codului tehnic spaniol pentru construcții, clădirile trebuie să aibă o anvelopă termică care să limiteze necesarul de energie primară în funcție de zona climatică, destinația și compactitatea acestora.

Pentru a respecta aceste obiective, este necesar să se verifice cinci aspecte:

1. Limitări ale **transmisiei globale** a anvelopei termice (K) și **ale transmisiei prin elemente** (U_{lim})
2. Controlul solar al anvelopei termice ($Q_{sol;Jul}$)
3. **Permeabilitatea la aer** a anvelopei termice (Q_{100} și n_{50})
4. **Dezechilibre limită între unitățile de utilizare** (U_{lim} compartimentări interioare)
5. **Controlul condensului.**

5.7.1. Exemplu de anvelopă termică conformă cu codul spaniol de construcții.

Această secțiune descrie două exemple de anvelopă termică a unor clădiri din Cartagena (Spania) [5]. Cartagena este situată în **zona** climatică **B3**, conform codului tehnic spaniol pentru construcții.

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

În contextul codului spaniol de construcții, zona climatică B3 se referă la un climat mediteranean moderat, caracterizat prin ierni blânde și veri calde până la toride. Litera „B” indică severitatea climatului iernal, B reprezentând condiții de iarnă blândă, iar cifra „3” se referă la severitatea climatului estival, 3 fiind una dintre cele mai calde categorii de vară.

Primul exemplu constă într-o casă unifamilială recent construită, cu următoarele caracteristici ale elementelor anvelopei:

Descrierea fațadelor:

Straturi în PEREȚI:

Mortar de ciment

Cărămidă perforată

Izolație ($\lambda=0,032 \text{ W/m}^2$)

Cărămidă dublă goală

Descrierea acoperișului

Straturi în ACOPERIȘURI:

Țigle ceramice

Mortar de ciment

Izolație ($\lambda=0,032 \text{ W/m}^2$)

Beton cu agregate ușoare

Descrierea pardoselilor

Straturi în PODELE:

Gresie

Mortar de ciment

Izolație ($A=0,032 \text{ Wm}^2$)

Pardoseală din beton armat

Pentru o clădire rezidențială nouă situată într-o zonă climatică de iarnă B, cu materialele descrise în anvelopa termică, conform Codului Tehnic al Construcțiilor din Spania (CTE), elementele anvelopei termice trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici (Tabelul 2):

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

- pereții și podelele în contact cu aerul exterior trebuie să aibă o transmisie termică (valoare U) de $0,38 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (cel puțin 7 cm de izolație);
- acoperișurile în contact cu aerul exterior trebuie să atingă o valoare U de $0,33 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (cel puțin 8,5 cm de izolație);
- pereții, podelele și acoperișurile în contact cu spații nehabitate sau cu solul, precum și pereții despărțitori interiori din interiorul anvelopei termice trebuie să îndeplinească o valoare U de $0,69 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (cel puțin 3 m de izolație);
- iar deschiderile, cum ar fi ferestrele și ușile, trebuie să aibă o valoare U maximă de $2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Această cerință este îndeplinită cu ferestre cu tâmplărie metalică cu rupere a punții termice și geam termopan cu emisivitate redusă (4,10,6 mm).

Aceste specificații asigură conformitatea cu cerințele de eficiență energetică pentru zona climatică de iarnă B.

Tabelul 2: Tabel orientativ pentru construcții noi. Exemplul 1.[5]

Guideline table for new construction or interventions on the building as a whole:						
Table a - Annex E Thermal transmittance of the element <u>as a guideline</u> for compliance with K, U [$\text{W/m}^2\text{K}$].						
Element	Winter climate zone					
	α	A	B	C	D	E
Walls and floors in contact with outside air (u_s, u_m)	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
cm of insulation	4	5	7	9,5	10,5	12,5
Covers in contact with outside air (u_c)	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
cm of insulation	5,5	6	8.5	13	13,5	16
Walls, floors and roofs in contact with non-habitable spaces or with the ground (u_T)	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Partition walls or interior partitions belonging to the thermal envelope (u_{MD})						
cm of insulation	2	2	3	5	5	5
Openings (frame, glass and, if applicable, louver box) (u_H)* (u_H)* (u_H)* (u_H)	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5
glass composition and metallic carpentry, without roller shutter drawer	BE4/8/6 SinRPT	BE4/8/6 SinRPT	BE4/10/6 RPT	BE4/10/6 RPT	BE4/12Ar/ BE4/14Ar/6 RPT	BE4/14Ar/6 RPT

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

Al doilea exemplu constă în reabilitarea energetică a unei clădiri existente. Această clădire are aceleași caracteristici ale materialelor din anvelopa termică ca cea din exemplul 1. De asemenea, este situată în zona climatică B3. În acest caz, grosimea straturilor de izolație care trebuie instalate și transmisia limită care trebuie respectată în conformitate cu codul tehnic spaniol pentru construcții sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3: Tabel orientativ pentru intervenții în clădiri existente. Exemplul 2. [5]

Table for **interventions in existing buildings:**

Table 3.1.1.a - HE1 Thermal transmittance limit values, u_{lim} [W/m ² K].		Winter climate zone					
Element		α	A	B	C	D	E
Walls and floors in contact with outside air (u_s, u_m)		0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
	cm of insulation	2.5	3	4	5	6.5	7
Covers in contact with outside air (u_c)		0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
	cm of insulation	5	5.5	6.5	7	8	8.5
Walls, floors and roofs in contact with non-habitable spaces or with the ground (u_T)		0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Partition walls or interior partitions belonging to the thermal envelope (u_{MD})							
	cm of insulation	1.5	2	2.5	2.5	3	3.5
Openings (frame, glass and, if applicable, louver box) (u_H)* (U_H)* (U_H)* (U_H)		3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
	glass composition and metallic carpentry, without roller shutter drawer	4/16/6 SinRPT	BE4/8/6 SinRPT	BE4/8/6 RPT	BE4/10/6 RPT	BE4/20/6 RPT	BE4/20/6 RPT
Doors with semi-transparent surface equal to or less than 50%.		5,7					

*The window openings in units of use with commercial activity can increase the value of the u_H by 50%.

Pentru o intervenție într-o clădire existentă situată într-o zonă climatică de iarnă B, cu materialele descrise în anvelopa termică, în conformitate cu Codul tehnic spaniol pentru construcții (CTE), elementele anvelopei termice trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici (Tabelul 3):

- pereții și podelele în contact cu aerul exterior trebuie să aibă o transmisie termică (valoare U) de 0,56 W/m²·K (cel puțin 4 cm de izolație);
- acoperișurile în contact cu aerul exterior trebuie să atingă o valoare U de 0,44 W/m²·K (cel puțin 6,5 cm de izolație);
- pereții, podelele și acoperișurile în contact cu spații nehabitate sau cu solul, precum și pereții despărțitori interiori din interiorul anvelopei termice trebuie să îndeplinească o valoare U de 0,75 W/m²·K (cel puțin 2,5 m de izolație);
- iar deschiderile, cum ar fi ferestrele și ușile, trebuie să aibă o valoare U maximă de 2,3 W/m²·K. Această cerință este îndeplinită cu ferestre cu tâmplărie

Proprietățile și comportamentul anvelopei termice a clădirii

metalică cu rupere a punților termice și geam termopan cu emisivitate redusă (4,8,6 mm).

Referințe

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (n.d.). Building thermal envelope. În ASHRAE Terminology. Accesat la 3 august 2025, de la <https://terminology.ashrae.org/?entry=building+thermal+envelope>.
- [2] BPC Green Builders. <https://www.bpcgreenbuilders.com/blog/your-homes-thermal-envelope-most-important-element-for-an-energy-efficient-home/>
- [3] Importanța anvelopei clădirilor. Accesat la 3 august 2025, de la [The Importance Of The Building Envelope | Eco Spray Insulation](#)
- [4] „IEA – Agenția Internațională pentru Energie”, IEA. Accesat la: 23 iunie 2024. [Online]. Disponibil la: <https://www.iea.org>
- [5] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Guía de aplicación del Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE)*.
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE/GuiaDBHE.pdf>

6 - Rezultate

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

7- Ce am învățat

- Definiția anvelopei termice a clădirilor.
- Elementele anvelopei termice a clădirilor și modul în care funcționează acestea.
- Exemple de diferite tipuri de fațade, pereți despărțitori, acoperișuri
- Transferul de căldură prin anvelopa termică: conducție, convecție, radiație
- Materialele utilizate în stratul de izolație termică al unui element al anvelopei termice a unei clădiri.
- Principalele proprietăți termice ale pereților și ferestrelor
- Cerințe tehnice din normele de construcție privind anvelopa termică.