

SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB

Partea a I-a. Argumente pentru utilizarea sistemelor vitrate în efortul de reducere a consumului de energie

*Victoria COTOROBAI**,
*Iulia NEGARĂ***,
*Ioan-Cristian COTOROBAI****

**Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi;*

***Universitatea Tehnică a Moldovei,*

****S.C. DAS Instalații, Iași*

Abstract: Energy consumption for heating/cooling residential and office buildings of type nZEB is closely related to the building envelope. One of the measures to increase the energy performance of such buildings is to increase the performance of the tire The type of windows and their technical and energy characteristics determine the amount of light and heat transmitted from the outside to the inside or vice versa. In the last two decades, technologies for the realization of glazed systems (windows, shading systems, frames, control systems) have developed. Identifying the most suitable dynamic glazing systems that can be integrated into nZEB buildings is an important step in their design. The authors studied, for different conceptual models, their dynamic behavior (energy and light performance) with the specialized software WINDOW 7.7.

Motto

*A(m) fost călăuzit(ă), în toată activitatea ... de exemplul
predecesorilor (mei), pe care l-a(m) primit ca pe un
testament, chiar dacă nu l)-a(m) urmat în carieră.*

(C. NOICA)

1. Introducere

Schimbările majore produse recent în domeniul clădirilor, referitoare la conceptul acestora (promovarea clădirilor nZBE) [B. ATANASIU , 2012], respectiv la nivelul de performanță energetică impus clădirilor și a tipurilor de resurse energetice primare (regenerabile, recuperabile) folosite pentru generarea energiei necesare pentru deservirea clădirilor nZBE au impus căutarea unor mijloace de creștere a performanțelor energetice ale clădirilor, de folosire eficientă a resurselor energetice regenerabile locale, etc. și toate acestea de așa natură încât să se asigure și condițiile de confort higro-termic și vizual în spațiile deservite. Selectarea măsurilor adecvate se realizează pe baza criteriul energetic, economic (costul ”optim”) și altele. Printre aceste măsuri se numără în primul rând măsurile de conservare a energiei la nivelul clădirii, respectiv de creștere a performanțelor

energetice ale anvelopei (hiperizolare; hiperetanșare; creșterea performanțelor energetice ale elementelor vitrate). Măsurile sunt diferențiate în raport cu vechimea clădirilor (noi, existente).

În deplin acord cu cele precizate anterior, în ultima perioada s-au înregistrat modificări substanțiale ale ponderii suprafețelor vitrate în bilanțul general al clădirilor [2]. Influența sistemului vitrat și în special a geamului asupra consumului de energie a fost examinată de mai mulți autori [1,6,8]. S-a căutat posibilitatea reducerii consumurilor de energie prin alegerea adecvată a configurației ferestrelor, a materialelor utilizate, orientării, dimensiunilor, gazelor incluse în carcasele dintre geamuri și dinamicii acestora, sistemelor de umbrire [7], [8], sistemelor de control, respectiv creșterii potențialului de adaptare a caracteristicilor acestora la dinamica parametrilor mediului exterior, exigențele mediului interior și cererea consumatorului.

Ferestrele sunt elementele cheie ale unei clădiri deoarece pot afecta toți parametrii de confort interior: vizual, termic, acustic și calitatea aerului.

Atenția crescândă la problemele de confort vizual și eficiență energetică care caracterizează clădirile secolului XXI a dus la dezvoltarea unor sisteme inovatoare de înaltă performanță cu geamuri dinamic-adaptive, care au ca scop reducerea pierderilor de căldură și controlul radiațiilor solare primite, pentru a maximiza câștigul solar în timpul iernii și a-l minimiza vara, precum și pentru a asigura cele mai bune condiții de iluminare naturală, fără risc de orbire. Astfel de sisteme, numite ferestre inteligente, permit variația cantității de căldură (SHGC)¹ și lumină (VLT)¹ care pătrund prin suprafețele de sticlă după cum este necesar, menținând în același timp vizibilitatea către exterior. Ferestrele dinamice, se dovedesc a fi mai eficiente decât sistemele statice tradiționale (geamuri selective *low-e* și dispozitive automate de umbrire) la reducerea consumului de energie pentru iluminat și aer condiționat și oferirea unui confort mai mare utilizatorilor.

Particularitățile specifice ale coeficientului de conductibilitate termică și de transmitanță a luminii prin sticlă influențează semnificativ consumul de energie în clădiri.

Sistemele vitrate pot influența substanțial consumul de energie electrică al sistemelor de iluminat artificial, ventilare, încălzire și condiționare. Utilizarea ferestrelor moderne cu rezistență la transferul de căldură crescută poate reduce semnificativ pierderea de căldură a unei clădiri [9-12]. Astfel de ferestre folosesc sticlă cu acoperiri cu emisii reduse, care pot avea o valoare redusă a transmisiei luminii [11] și pentru a menține nivelul de iluminare naturală. Este necesară creșterea suprafețelor ferestrelor, dar această măsură poate avea drept consecință o anumită creștere a pierderilor de căldură ale clădirii.

Suntem într-un moment de dezvoltare fără precedent al sistemelor vitrate iar selecția celor mai potrivite astfel de sisteme pentru clădirile *nZEB* este o acțiune complexă, cu impact major asupra performanțelor energetice, vizuale, acustice, ... ale unei clădiri.

S-au realizat diferite analize asupra performanțelor diferitelor sisteme vitrate, pe baza anumitor criterii. ..., dar s-a constatat faptul că este absolut necesară analiza

¹ Proprietatea este definită la punctul 2.3.

performanțelor energetice și luminoase ale diferitelor sisteme vitrate pe baza mult mai multor criterii și în diferite locații (condiții climatice), pentru o alegere potrivită a sistemelor vitrate pentru o clădire *nZEB*.

În articol se face *analiza diferitelor tipuri de geamuri dinamice*, cu control pasiv și activ, ilustrând utilizările potențiale ale acestora și beneficiile obținute în ceea ce privește eficiența energetică, confortul mediului și calitatea arhitecturală atât în construcțiile noi, cât și în cele existente.

2. Sisteme vitrate. Noțiuni generale

2.1. Componentele unui sistem vitrat

Sistemele vitrate sunt alcătuite dintr-un ansamblu de componente, interconectate direct sau indirect între ele, cu rolul de a asigura transferul de lumină și căldură în și din interior, o bună integrare în elementele opace, o bună dinamică în activitățile de deschidere/închidere, izolare fonică, generare de energie, controlul fluxurilor de aer/gaze și funcțiilor specifice ale acestora. Principalele componente sunt: *geamurile (unul sau mai multe); ramele; sistemele de umbrire exterioare/între cavități/interioare sau integrate în geamuri; sistemele de etanșare; cavitățile dintre geamuri vidate/umplute cu aer sau gaze (kripton/argon/xenon); sistemele de control al fluxurilor de gaze sau al luminii transmise*. În cele ce urmează se va pune accentul pe sistemele și componentele care permit economia de energie la nivelul clădirii.

2.2. Procesul de transfer energetic prin elemente vitrate

Fluxul termic poate traversa un element de construcție vitrat (fereastră, fațadă vitrată) prin mai multe procese de transfer termic:

- **Conducție:** procesul de transfer de căldură printr-un mediu solid, lichid sau gazos, datorită degajărilor termice rezultate în urma ciocnirilor dintre moleculele mediilor respective;
- **Convecție:** transferul de căldură realizat prin mișcarea gazelor sau lichidelor pe lângă suprafețe solide datorită prezenței unui ecart de densitate/temperatură;
- **Radiație:** transferul termic prin radiații electromagnetice din spectrul infraroșu, în vid sau în medii optice transparente la radiația infraroșie.

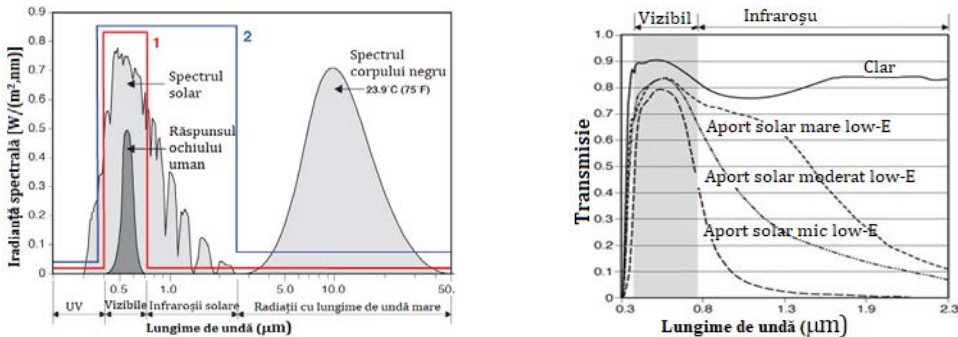
Există două tipuri distincte de radiații sau de transfer de căldură prin radiații:

- *cu lungime de undă mare*, respectiv transferul de căldură radiant între obiecte la temperaturi ambientale sau exterioare. Obiectele aflate la aceste temperaturi emit radiații cu $\lambda = 3 - 50 \mu\text{m}$.
- *cu lungime de undă scurtă*. Este cazul radiațiilor emise de Soare (la temperatură $T_s = \text{cca. } 6000 \text{ K}$) și are loc în intervalul $\lambda = 0,3 - 2,5 \mu\text{m}$ (radiațiile ultraviolete, vizibile și infraroșii solare).

1. *Transmitanța idealizată a unui geam cu un strat low - e* proiectat pentru un aport de căldură solar redus. Lumina vizibilă este transmisă și radiațiile solare din spectrul infraroșu, cu lungimi de undă mari sunt reflectate în interior este reflectată. Această abordare este de a reduce aportul de căldură solară și este

adecvat în aproape toate climatele.

2. *Transmitanță idealizată a unui geam cu un strat low - e* scăzut proiectat pentru un aport mare de căldură solară. Se transmite lumina vizibilă și radiațiile solare infraroșii cu lungimi de undă mici. Radiațiile infraroșii cu lungimi de undă mare se reflectă în interior. Soluția este recomandată pentru un climat rece unde se dorește valorificarea eficientă a aperturilor solare.



- a) Transmitanță spectrală ideală: 1 (roșu) pentru câștiguri de căldură cu conținut scăzut de energie solară; 2 (albastru) pentru câștiguri de căldură cu conținut ridicat de energie solară (după McCluney 1996)
- b) Lumina soarelui transmisă de o sticlă transparentă cu diferite acoperiri

Fig. 1. Transmitanța spectrală ideală pentru diferite geamuri și diferite climate/locății
(După: McCluney, 1996)

Procesul fizic este același dar nu există o suprapunere între aceste două intervale de lungime de undă. Acoperirile care controlează trecerea undelor lungi sau a radiațiilor solare în aceste intervale, prin transmitere și/sau reflecție, pot contribui semnificativ la economiile de energie. Tipurile de vitraj variază în transparența lor în diferite părți ale spectrului vizibil² (Fig. 1.).

Principiul este același și în afara spectrului vizibil. Majoritatea sticlelor sunt parțial transparente la unele radiații ultraviolete. Materialele plastice sunt relativ opace față de ultraviolete. Sticla este opacă radiațiilor infraroșii cu unde lungi și în general transparentă radiațiilor solare cu lungimi de unde scurte (infraroșii). Prin exploatarea strategică a acestor variații în tehnologia sistemelor vitrate s-au dezvoltat produse vitrate performante.

Proprietățile geamurilor determină transferul de energie radiantă. Patru dintre acestea au un impact major. Acestea sunt: **transmitanță, reflectanță, absorbanță și emisivitate** (Fig. 2).

² Sticla cu nuanțe de verde transmite mai multă lumină solară din porțiunea verde a spectrului vizibil și absoarbe sau reflectă mai multe din celelalte culori atunci când se privește spre exterior. Sticla cu nuanțe de bronz absoarbe sau reflectă albastru și verde și transmite culorile mai calde. Nuanțele neutre de gri absorb sau reflectă majoritatea culorilor în mod egal.

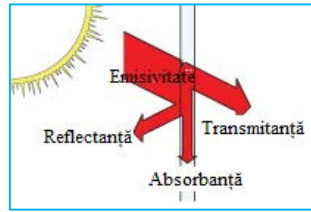


Fig. 2. Proprietățile de bază ale sistemelor vitrate care influențează transferul de energie radiantă

Transmitanța: se referă la procentul de radiații care poate trece prin geamuri; poate fi definită pentru diferite tipuri de lumină sau energie (transmitanță vizibilă, transmisie UV, transmitanță totală a energiei solare).

Transmiterea luminii vizibile determină eficiența unui tip de sticlă în furnizarea luminii de zi și o vedere clară prin fereastră. Sticla vopsită are o transmisie vizibilă mai mică decât cea transparentă. Ochiul uman este sensibil la lumină la lungimi de undă $\lambda\epsilon$ (0,4; 0,7) μm având sensibilitatea de vârf la 0,55 μm , iar la capetele roșii și albastre ale spectrului sensibilitate este mai mică. Aceasta este denumită *sensibilitatea fotică a ochiului*.

Radiația solară conține cca. 45 % radiații în spectrul și în consecință, peste jumătate din energia soarelui este invizibilă pentru ochi (cca. 50 % sunt radiații cu lungimi de undă în ”aproape infraroșu” și cca 5% în spectrul ultraviolete (UV). Transmitanța totală a energiei solare descrie modul în care vitrajul răspunde la întregul spectrul solar și este mai util în caracterizarea cantității de energie solară totală transmisă de vitraj.

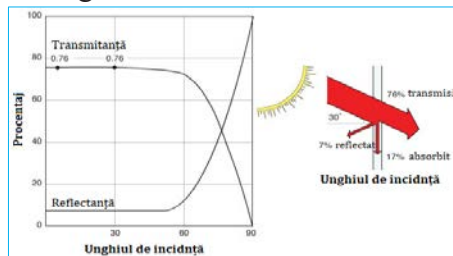


Fig. 3. Radiația solară transmisă și reflectată de un geam clar cu grosimea de 1/4-inch este o funcție de unghiul de incidentă

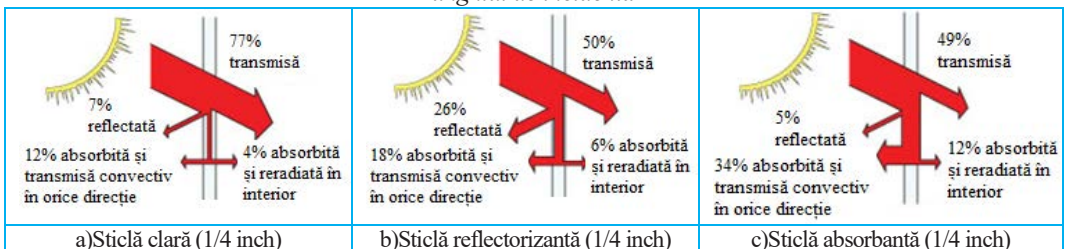


Fig. 4. Transmiterea energiei solare prin trei tipuri de sticlă în condițiile conform standard ASHRAE

Tehnologiile recente pentru vitraj permit un bun control al modului în care se comportă materialele vitrate la impactul cu radiații solare cu lungimi de undă din-afara spectrului vizibil. În aceste tehnologii se modifică proprietățile de bază ale materialului de substrat

(sticlă, plastic) și acoperirile care se pot fi adăugate pe suprafețele substraturilor 3.

Reflexia. Interacțiunea unei radiații solare cu o suprafață se desfășoară diferit în raport cu caracteristicile mediului din care vine și cele ale mediului cu care interacționează conform principiului lui Snell (Fig. 5.a, Fig. 5b), având drept rezultat un fenomen de reflexie și altul de refracție. În raport cu caracteristicile suprafeței (netedă, sau nu) reflexia poate fi speculară sau difuză (Fig. 5.c).

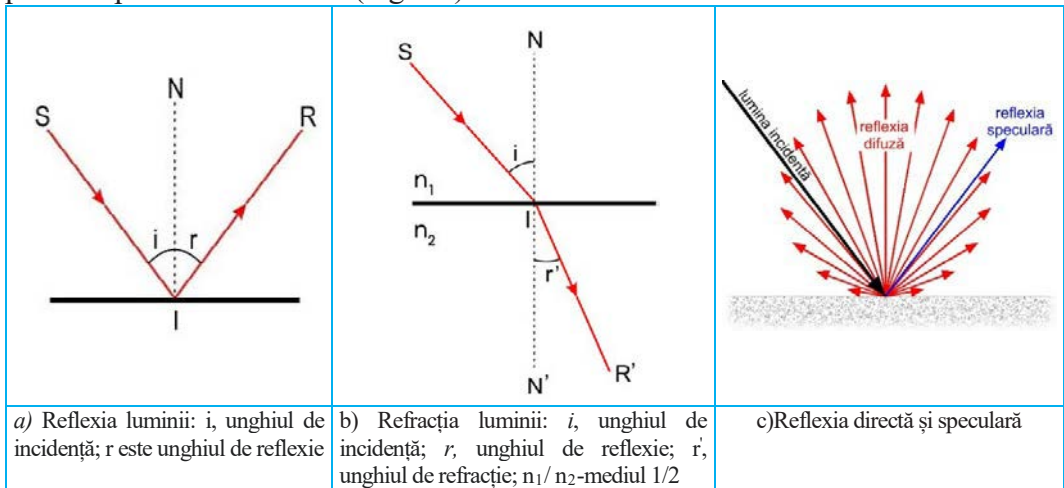


Fig. 5. Reflexia și refracția luminii la interacțiunea undă - suprafață sticlă/alt mediu

Reflectivitatea naturală a sticlei depinde de tipul materialului de geam, de calitatea suprafeței de sticlă, de prezența acoperirilor și de unghiul de incidență a luminii. Cu cât este mai mare unghiul de incidență, cu atât mai mult se reflectă lumina decât se transmite sau se absoarbe (vezi figura din dreapta). sticla clară reflectă 50% sau mai mult din lumina soarelui lovind-o în unghiuri mai mari de aproximativ 80° .

Reflectivitatea diferitelor tipuri de sticlă este evidentă în condiții de lumină scăzută. Suprafața de pe partea mai strălucitoare acționează ca o oglindă⁴. Efectul poate fi observat din exterior în timpul zilei și din interior în timpul nopții. Pentru aplicații speciale, când reflectările suprafeței sunt nedorite (adică, vizualizarea mărfurilor printr-o vitrină într-o zi strălucitoare), acoperirile speciale pot elimina practic acest efect reflectorizant. Majoritatea acoperirilor se reflectă în toate regiunile spectrului. În ultimii douăzeci de ani, cercetătorii au aflat foarte multe despre proiectarea acoperirilor care pot fi aplicate pe sticlă și plastic pentru a reflecta în mod preferențial doar lungimile de undă selectate ale energiei radiante. Baza pentru acoperiri de înaltă performanță *Low-e* a constituit-o variația reflectării energiei din infraroșu îndepărtat și apropiat.

³ O fereastră optimizată pentru iluminarea zilei și pentru reducerea câștigurilor de căldură solare generale ar trebui să transmită o cantitate adecvată de lumină în porțiunea vizibilă a spectrului, excluzând în același timp câștigul de căldură inutil din partea spectrului solar cu radiații infraroșii apropiate.

⁴ deoarece cantitatea de lumină care trece prin fereastră din partea mai întunecată este mai mică decât cantitatea de lumină reflectată din partea mai deschisă

Absorbanță. Este proprietatea sticlei de a absorbi/ reține o parte din energia incidentă. Energia absorbită de sticlă este transformată în căldură, ridicând temperatura sticlei. Absorbția sticlei este crescută de aditivii din sticlă care absorb energia solară⁵. Sticla transparentă absoarbe foarte puțină lumină vizibilă, în timp ce sticla cu nuanțe întunecate absoarbe o cantitate considerabilă. Când o sticlă „absorbantă de căldură” este expusă la soare, se simte mult mai fierbinte la atingere decât sticla limpede. Sticlele absorbante au nuanțe de gri, bronz sau albastru-verde. Sticla absorbantă se utilizează în general pentru scăderea coeficientului de creștere a căldurii solare și pentru controlul strălucirii contribuind la reducerea sarcinii de răcire a clădirii și costurilor echipamentelor de climatizare. Trebuie precizat că o altă metodă de reducere a sarcinii de răcire constă în vehicularea unui flux de aer rece printre foile de geam. Deci, absorbția nu este cea mai eficientă modalitate de a reduce sarcinile de răcire.

Notă: Toate sticlele și majoritatea materialelor plastice sunt, în general, bune absorbante ale energiei infraroșii de mare lungime de undă. Este motivul pentru care sticla clară se utilizează la sere: permit transmiterea energiei solare intense, dar blochează retransmisia energiei termice cu temperaturi scăzute generate în seră și radiată înapoi la sticlă.

Emisivitatea. Energia solară absorbită de sticlă este preluată și transportată la distanță prin mișcarea aerului, sau re-radiată de suprafața sticlei. Emisivitatea este practic capacitatea unui material de a radia energie. Geamul ferestrei, împreună cu alte componente ale ferestrei (ramă, draperii, ...) emit / radiază căldură sub formă de energie infraroșie cu unde lungi. Este știut faptul că lungimea de undă a energiei variază în raport cu temperatura suprafeței. Emisia de căldură radiantă este una dintre componentele transferului de căldură pentru o fereastră. Reducerea emisiilor de căldură ale ferestrei poate îmbunătăți mult proprietățile sale izolatoare⁶.

2.3. Elemente pentru cuantificarea performanței energetice ale ferestrelor (conform standarde)

Performanțele energetice (termică și luminoasă) ale geamurilor sunt determinate de: *transmitanța termică a sistemului de geamuri* - U_g ; *transmitanței solare* - T_{solg} ; *transmitanței vizibile / luminoasă* - VT_g / TL ; *coeficientului de aporturi solare (câștig al căldurii solare) / factorul de transmisie totală a energiei solare* - $SHGC_g$; *rezistenței la condensare* - CR și *distribuției temperaturii în partea centrală a sistemului de geamuri*; (conform ISO 15099 și ISO / EN 10077).

Precizăm faptul că în urma calculelor de evaluare a performanțelor luminoase și energetice se determină mult mai mulți indici de performanță, cum ar fi: *reflexanțele*

⁵ Dacă absorb lumina vizibilă, sticla pare întunecată. Dacă absorb radiații ultraviolete sau aproape infraroșu, nu va exista o schimbare mică sau deloc de aspect vizual

⁶ Sticla transparentă standard emite 84% din energia posibilă pentru un obiect la temperatura camerei iar pentru radiațiile cu unde lungi care lovesc suprafața sticlei, 84% sunt absorbite și doar 16% sunt reflectate. Sticlele cu acoperiri low-E au o emisivitate de 0,04. Acest geam ar emite doar 4% din energia posibilă la temperatura sa și astfel ar reflecta 96% din radiațiile infraroșii cu undă lungă incidentă.

solare; reflectanțele vizibile; absorbțiile stratului; transmitanța UV; factorul secundar de transfer de căldură spre interior; coeficientul de transmitanță termică - U; coeficienții de umbrire - SC; factorii energetici de transmisie, absorbție și refracție: TE, RE, AE și alte caracteristici [31,43].

Pentru înțelegerea ușoară a celor ce urmează vom defini succint principalele caracteristici energetice (termică și luminoasă):

- **Coeficientul de transmitanță solară /factorul U/:** Când există o diferență de temperatură între interior și exterior, căldura se pierde sau se câștigă prin rama ferestrei și vitraj prin efectele combinate ale conducției, convecției și radiațiilor cu unde lungi. Factorul U al unui ansamblu de ferestre reprezintă *rata totală/globală de transfer a căldurii* sau *valoarea de izolare*.
- **Coeficient de creștere a căldurii solare /(SHGC)/:** La trecerea radiației solare directe sau indirecte prin fereastră se poate obține căldură, indiferent de temperatura exterioară. Capacitatea de a controla acest aport de căldură prin ferestre este caracterizată prin prisma coeficientului de "câștig de căldură solar (SHGC)" sau "coeficient de umbrire (SC)" al ferestrei.
- **Transmitanța vizibilă /(VT)/** denumită și *transmitanța luminii vizibile/(VLT)/*, este o proprietate optică care indică cantitatea de lumină vizibilă transmisă prin geam. Afectează energia oferind lumină de zi care creează oportunitatea de a reduce iluminatul electric și încărcările sale de răcire asociate.
- **Scurgeri de aer.** Pierderea și câștigul de căldură se datorează și infiltrațiile exfiltrațiile de aer, prin fisuri din jurul ferestrelor și ramelor ansamblului ferestrei. Efectul este cuantificat în general în raport cu cantitatea de aer (metri cubi sau metri cubi pe minut) care trece printr-o zonă unitară a ferestrei (metru pătrat) în condiții de presiune date.

Parametrii principali utilizați în caracterizarea energetică a geamurilor din sistemele vitrate sunt τ_v și g (Rel. 1; Fig. 6). ceilalți parametri sunt opționali pentru a furniza informații suplimentare. Transmitanța totală a energiei solare g (SHGC) se calculează ca suma transmitanței solare directe τ_e și factorul secundar de transfer de căldură q_i al geamului către interiorul acestuia din urmă rezultat din transferul de căldură prin convecție și radiația IR cu undă lungă a acelei părți a radiația solară incidentă care a fost absorbită de geamuri.

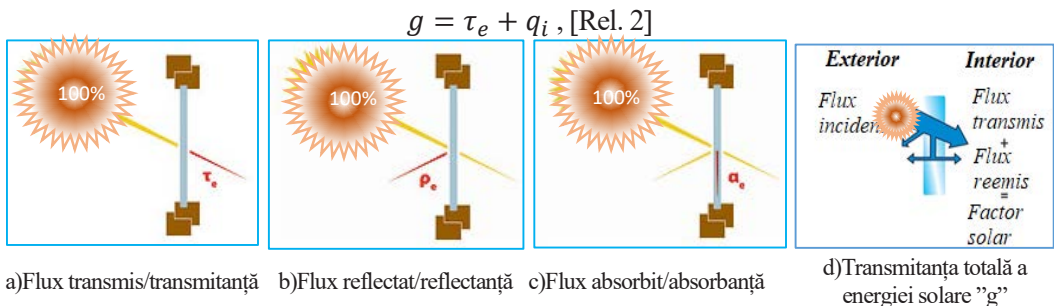


Fig. 6. Procesul de interacțiune radiație solară-sticlă

Fluxul radiant solar incident ϕ_e este împărțit în următoarele trei părți:

- *partea transmisă*, $\tau_e \phi_e$, unde τ_e - este transmitanța solară directă;
- *partea reflectată*, $\rho_e \phi_e$, unde ρ_e - este reflectanța solară directă;
- *partea absorbită*, $\alpha_e \phi_e$, unde α_e - este absorbția solară directă.

Relația dintre cele trei caracteristici este:

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1, \text{ [Rel. 3]}$$

Factorii de transmisie, de reflexie și de absorbție energetică - sunt raporturile dintre fluxurile energetice transmise, reflectate sau absorbite și fluxul energetic incident.

Transmitanța solară directă τ_e a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \Delta\lambda}, \text{ [Rel. 4]}$$

unde: S_{λ} - este distribuția spectrală relativă a radiației solare; $\tau(\lambda)$ - este transmitanța spectrală a geamului; $\Delta\lambda$ - este intervalul de lungime de undă.

Reflectanța directă solară a geamului ρ_e se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300nm}^{250nm} S_{\lambda} \Delta\lambda}, \text{ [Rel. 5]}$$

unde: S_{λ} - este distribuția spectrală relativă a radiației solare; $\rho(\lambda)$ - este reflectanța spectrală a geamului; $\Delta\lambda$ - este intervalul de lungime de undă.

Factorii de transmisie și de reflexie luminoasă - sunt raporturile dintre fluxurile luminoase transmise și reflectate și fluxul luminos incident.

Transmitanța luminii τ_v a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}, \text{ [Rel. 6]}$$

unde:

D_{λ} - este distribuția spectrală relativă a iluminantului D65 [7]; $\tau(\lambda)$ - este transmitanța spectrală a geamului; $V(\lambda)$ - este eficiența luminoasă spectrală pentru vederea fotopică care definește observatorul standard pentru fotometrie [7]; $\Delta\lambda$ - este intervalul de lungime de undă.

Reflectanța luminoasă ρ_v a geamului se calculează utilizând următoarea formulă:

$$\rho_v = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda}, \text{ [Rel. 7]}$$

Compararea exactă a ferestrelor se realizează pe baza acestor patru concepte la care se mai adaugă **raportul Lumina/Câștig solar** și raport dintre **VT / SHGC**. Acestea au fost standardizate.

3. Metodologia de lucru

Pentru a identifica cele mai potrivite sisteme vitrate pentru clădirile tip *nZEB* s-au analizat diferite sisteme vitrate dezvoltate recent.

Analizele realizate au vizat de fapt aspectele energetice (termice și luminoase). Specialiști de marcă în domeniul studiilor comportamentului clădirilor pe baza modelelor virtuale au dezvoltat și validat modele de comportament al sistemelor vitrate per ansamblu și inclusiv pe fiecare componentă în regim dinamic (de climă exterioară, de condiții ale climatului interior, ...).

În cadrul acestei lucrări s-au utilizat software dedicate („WINDOW”, dezvoltat de Berkeley Lab WINDOW) sau software integrate de algoritmi pentru modele de analiză a comportamentului dinamic și performanțelor termice și solar-optice ale sistemelor vitrate (EnergyPlus, Trnsys, WinCalc, ...). WINDOW este un software de simulare utilizat pentru a determina proprietățile termice și optice ale tipurilor de sticlă și ferestre, care utilizează bazele de date cu caracteristicile sticlelor, ramelor, gazelor, ...

În algoritmi pentru performanțele termice și solar-optice ale sistemelor de geamuri se consideră sistemul de geamuri ca o serie de straturi și goluri, în care unele straturi pot fi în contact direct între ele (adică laminate). Algoritmii iau în considerare și dispozitivele de umbrire care sunt tratate ca straturi plane cu caracteristici suplimentare (fluxul de aer în jurul sau prin ele). Golurile dintre geamuri pot fi umplute cu gaze pure sau amestecuri de gaze. Există de asemenea posibilitatea ca gazele dintre acestea să poată fi evacuate într-o măsură mai mare sau mai mică (respectiv să prezinte diferite niveluri de vid). Algoritmii permit calcularea devierii golurilor de geam, precum și efectele deformării asupra performanței termice.

Proprietățile optice sunt evaluate atât pentru straturile de geamuri speculare, cât și pentru împrăștierea straturilor de geamuri și umbrire. Proprietățile optice de bandă largă, cum ar fi T_{sol} , T_{vis} etc. sunt calculate utilizând datele spectrale-optice ale materialului de bază asupra cărora se aplică sursa de energie, sub forma spectrală a acesteia, respectiv prin intermediul fișierul standard. Calculele optice multi-strat sunt efectuate spectral și rezultatele benzii largi sunt calculate prin integrarea post-spectrală.

Calcularea performanțelor termice și solare-optice ale întregului sistem vitrat/ferestre (U , VT , $SHGC$) se realizează cu ajutorul unor algoritmi special realizați. Fereastra este un sistem tridimensional, motiv pentru care indicii săi de performanță sunt calculați ca medii ponderate pe suprafață ale unui centru dimensional al numerelor de performanță ale geamurilor și ale cadrului și marginii bidimensionale ale numerelor de performanță ale geamurilor cu ajutorul software LBNL THERM.

Analiza efectelor combinate optice și energetice ale transferului de căldură și masă (deplasare aer prin interiorul/exteriorul sistemului vitrat și deplasare gaze în cavitățile sistemului), prin sistemul vitrat se poate realiza, cu o bună precizie, în programul de analiză multifizic COMSOL, cu ajutorul metodei elementelor finite prin rezolvarea ecuațiile cuplate de căldură și flux de fluid în două dimensiuni. Conducerea, convecția și radiația sunt simulate numeric.

Notă: ”Îmbinarea implicită COMSOL este utilizată pentru a construi domeniile de calcul. Analiza de sensibilitate a rezultatelor la dimensiunea ochiurilor se efectuează și se determină a fi mai mică de 1%. Disiparea vâscoasă nu este abordată și se presupune că toate proprietățile termofizice sunt constante, cu excepția termenului de flotabilitate al ecuației impulsului y în care se utilizează aproximarea Boussinesq. Se utilizează soluția paralelă iterativă directă (respectiv software performant de rezolvare a sistemelor liniare paralele și simularea semiconductoarelor (PARDISO). [23]

Există multe alte instrumente software pentru înțelegerea și analiza impactului alegerilor de ferestre asupra clădirilor (rezidențiale, de birouri, comerciale). Acestea sunt: instrumente de analiză specifice ferestrelor; instrumente de îndrumare; software-ul pentru întreaga clădire.

Fiecare vitraj absoarbe, transmite și reflectă o parte a radiației solare primite, în funcție de materialul geamului (respectiv conductivitatea, emisivitatea geamurilor, absorbanta, reflectanța), de unghiul de incidență al radiației solare, de stratul de gaz dintre geamuri (tip gaz și dimensiuni lamă), de configurație (2/3/4 geamuri). Datele optice și energetice ale ferestrei diferă de la caz la caz.

În lucrarea dată s-au analizat performanțele luminoase și termice a mai multor structuri de geamuri, (vezi tabelul 1), pentru climatul din Iași cu aceeași formă geometrică și cu aceleași tip de ramă din PVC. În lucrare, caracteristicile energetice și optice ale vitrajelor s-au determinat cu ajutorul softului specializat WINDOW. Acest soft conține: bazele de date pentru caracteristicile optice și energetice ale tuturor geamurilor omologate în lume (inclusiv cele active/inteligente); bazele de date ale tâmplăriei; bazele de date ale sistemelor de umbrire; bazele de date ale straturilor de gaze dintre geamuri, ...