

Răspunsul clădirilor cu fațadele duble vitrate integrate la exigențele DE 2010/31/UE

The response of buildings with double glazed facades integrated to the 2010/31/EU exigencies

Victoria Cotorobai¹, Theodor Mateescu¹, Cătălin Grigoraș¹.

¹Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași,
Bulevardul Dimitrie Mangeron Nr. 45A, Romania
E-mail: cotorobai.victoria@gmail.com

Rezumat. *Fațadele duble vitrate au cunoscut și cunosc o îmbunătățire continuă dar utilizarea acestora a căpătat vizibilitate abia după anii 2000. Fațadele duble vitrate au în prezent performanțe ridicate, capătă atribute noi, devin termo-active și chiar inteligente și sunt integrate în clădiri cu diferite funcțiuni, în zone geografice diferite, Însă, în actualul context, energetic și tehnologic, ele trebuie să răspundă adecvat și exigențelor impuse clădirilor prin DE 31/2010/UE. În lucrare se prezintă rezultatele unor experimente numerice realizate în vederea identificării celor mai bune modalități de structurare a fațadelor duble vitrate în scopul realizării de clădiri performante energetic.*

Cuvinte cheie: performanțe energetice și optice fațade duble vitrate, indicatori confort spații delimitate de fațade duble vitrate.

Abstract. *Double glazed facades have known and are known continual improvement but their use has become visibility only after 2000. They have now high performance, gains new attributes become even smart thermo-active and integrated in buildings with different functions in different geographical areas, However, in the current context, energy and technology, they must respond appropriately and requirements imposed by DE 31/2010/UE buildings. This paper presents the results of numerical experiments performed to identify the best ways of structuring double glazed facade in order to achieve energy efficient buildings.*

Key-words: energy and optical performance double glazed facade, comfort indicators spaces enclosed by glass double facade.

1. Introducere

Fațadele duble vitrate - FDV - sunt elemente de anvelopă din ce în ce mai agreate pentru realizarea de clădiri noi de birouri, administrative, comerciale, gări, aeroporturi și chiar de locuințe. Acestea au apărut în cea de-a doua jumătate a sec. al XIX-lea dar au fost acceptate efectiv în deceniul 8 al secolului trecut și cunosc o dezvoltare importantă după anul 2000. Acestea prezintă o serie întreagă de avantaje în raport cu elementele opace dintre care cele mai importante sunt legate de posibilitatea de o bună valorificare pasivă și activă a energiei

solare, de multiplul rol de protecție termică, acustică, la intemperii, la vânt, de realizarea unui bun cuplaj între mediul exterior-anvelopă-mediul interior și sistemele de instalații asociate (ventilare, încălzire/răcire, condiționare, iluminat) având un rol important în reducerea consumului de energie al clădirilor care le integrează.

În ultimii 20 de ani au fost cercetate multiple aspecte legate de performanțele FDV dar acestea au fost realizate în corelație cu materialele, tehnologiile, exigențele și posibilitățile momentului în care au fost realizate. În actualul context energetic și tehnologic însă clădirile noi trebuie să îndeplinească atributul de clădiri „**Net Zero Energy**”, respectiv:

- să se poată încălzi/răci în mod pasiv sau cu consumuri extrem de mici de energie,
- să utilizeze resursele de energie regenerativă pentru generarea energiei electrice utilizate și prepararea apei cale de consum;
- să asigure și mențină condițiile unei ambianțe interioare confortabile, în raport cu nivelul de performanță declarat, pe toată durata de viață;
- *et al.*

Clădirile cu fațade duble vitrate, agreate în special din punct de vedere arhitectural, vor trebui să răspundă și ele acestor deziderate, ceea ce impune studii speciale în scopul identificării măsurilor de aducere a acestora la performanțele energetice impuse prin DE 31/2010/UE .

În cele ce urmează se vor prezenta câteva din rezultatele unor studii realizate în acest sens de către autori.

2. Fațade duble vitrate. Structură. Funcțiuni.

Fațada dublă vitrată [FDV] este un element de anvelopă care aparține grupei de elemente de construcție cunoscute sub denumirea de fațade duble.

Specialiștii care s-au preocupat de acest subiect au propus diferite denumiri și definiții care diferă substanțial între ele. Acestea se concentrează uneori numai pe particularitățile de alcătuire, alteori pe una dintre funcțiunile pe care le realizează și nu există o unicitate nici în denumire și nici în definiție¹.

Până în prezent nu există încă un standard cu o terminologie omologată.

În majoritatea definițiilor se regăsesc informații despre alcătuirea structurală a FDV din două componente vitrate. În unele dintre definiții se precizează explicit faptul că între componentele vitrate se află un strat de aer, aflat în mișcare în timp ce în altele se precizează numai prezența unui strat de fluid, nenominalizat. Unele dintre definiții detaliază aspecte de cuplaj ale celor două componente vitrate, altele detaliază aspecte funcționale.

Din punct de vedere funcțional-constructiv, multe dintre fațadele dublu vitrate s-au născut din necesitatea de protecție a unui perete cortină prin amplasarea unei suprafețe vitrate în fața acestuia. Elementul de anvelopă astfel format este un element de fațadă transparent, activ, care influențează comportamentul termo-aerodinamic al întregii clădirii, într-o manieră directă sau indirectă, în raport cu modalitățile de cuplaj mecanic, termic, hidraulic ale celor două elemente vitrate, între ele, cu mediile interioare și exterioare acestora și cu sistemele de instalații. Deci, o astfel de fațadă poate interacționa cu mediul exterior sau interior, funcție de structura funcțional-constructivă adoptată, în scopul adaptării acestora la schimbările climatice astfel încât să asigure conservarea climatului interior și condiții de confort optime.

¹ FDV sunt denumite în diferite lucrări de specialitate prin termenii : *Façades Double Peau [FDP]; Double-Skin Façade [DSF]; Double Façade/Envelope; Double Skin Curtain Wall; Dual-Layered Glass Façade; Multiple-Skin Façades; Intelligent Glass Façade; Second Skin Façade/System; Active Façade* (termen utilizat uzual pentru o fațadă dublă cu sistem de ventilare mecanică a cavității).

În literatura de specialitate, în afară de tipul prezentat mai sus au fost repertorizate diferite alte modalități de realizare a unei fațade vitrate duble, cu particularități de alcătuire și funcționare.

În prezenta lucrare, prin noțiunea de **Fațada Dublă Vitrată [FDV]**, se va înțelege *sistemul tehnic alcătuit din:*

- două elemente vitrate, separate de un strat de aer, conectate între ele și integrate în anvelopa clădirii, după scheme structurale care să permită circulația controlată a aerului între cele două elemente; fiecare din elementele vitrate poate fi alcătuit la rândul lui din una sau mai multe sticle cuplat și separate de vid, aer sau gaze rare.

- un ansamblu de componente asociate, menite să controleze mărimea aporturilor solare și nivelul de iluminare (sisteme de umbrire);

- un ansamblu de componente asociate menite să controleze caracteristicile și dinamica fluidului (sistem de ventilare, climatizare, încălzire...).

Volumul de aer închis între cei doi pereți constituie o zonă tampon termic care are și rol în preîncălzire solară a aerului pentru ventilație și în plus în asigurarea protecției fonice, a protecție la vânt și poluanți. Efectul principal al acestui sistem este economia de energie.

În prezent există o mare varietate de tipuri distinctive de FDV, diferențiabile în raport soluțiile de structurare și funcționare a acestora. Clasificarea fațadelor se poate realiza în raport cu diferite criterii² (fig. 1), între care, cele cu impact energetic sunt prezentate în tabelul 1.

Tabel 1.
Clasificare FDV din punct de vedere funcțional-constructiv

Tip ventilare																
Mecanică				Hibridă						Naturală						
Mod de ventilare a cavității																
Cu circuit deschis ”interior—exterior”				Cu circuit închis ”cavitate fereastră—mediu interior—mediu exterior”												
Cu aspirație aer		Cu evacuare aer		zonă tampon			perdea aer interioară			perdea aer exterioară						
Compartimentare cavitate																
ferestre duble ventilate („box-window”)	FDV compartimentată pe etaje			FDV multietajată				FDV tip puț cu compartimentate verticală ”shaft-box”								
	tip coridor		module juxtapuse		Casete axate		cu jaluzele									
Tip sistem protecție																
Structurală				Asociat												
Cu sticlă specială		Cu sticlă activă		Exterior				Între vitraje				Interior				
				Copertină		Ecran	Storuri		Storuri		Rulouri		Rulouri		Storuri	Draperie
				S	PV		F	CA	F	CA	CA		CA	F	CA	
Posibilitate generare energie																
pasivă								activă								
Încălzire/răcire aer cavitate								termică				electrică				
S-simplă; PV-cu panouri fotovoltaice; F-fixă; CA-control activ																

Din punct de vedere funcțional, FDV-urile pot îndeplini un ansamblu relativ numeros de funcții, dintre care, cele cu impact energetic sunt prezentate în figura 1.

² Până în 2004, clasificarea FDV s-a realizat numai după caracteristicile geometrice. O primă clasificare sistematizată a fost propusă, în cadrul unui document special destinat conceptelor de fațade ventilate, de X. Lancour și alții [1].

Sunt agreeate din ce în ce mai mult FDV-urile dinamic-adaptive și cele de tip inteligent la care pot fi controlate activ fluxurile de fluid și/sau energie, respectiv: temperatura, debitul de aer vehiculat precum și circuitul acestuia; cantitatea e energie termică și luminoasă transmisă spre interior; cantitatea e energie de încălzire a sticlei, ...

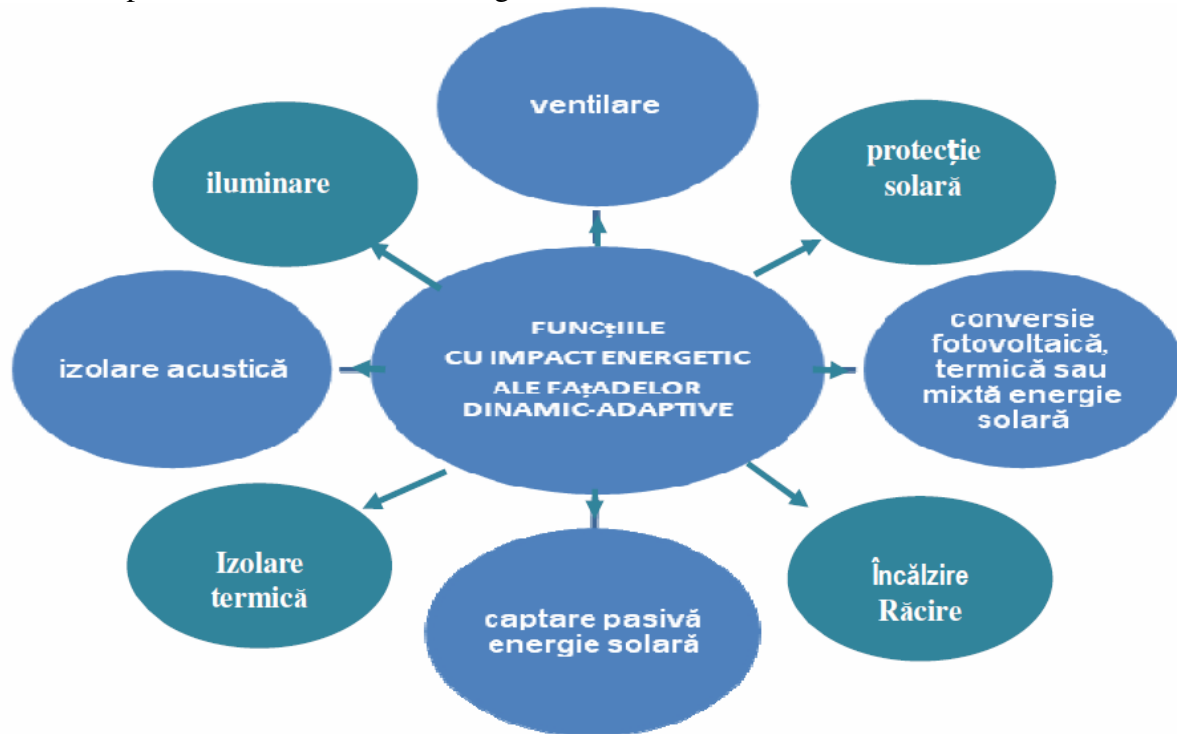


Figura 1. Funcțiuni ale fațadelor dublu vitrate

3. Performanța energetică a unei FDV. Indicatori de performanță energetică. Factori de influență ai performanțelor energetice.

√ **Performanța energetică a unei clădiri** este definită (conform MC 001:2006) ca fiind *energia efectiv consumată sau estimată pentru a răspunde necesităților legate de utilizarea normală a clădirii* (în raport cu destinația acesteia).

Energia poate fi utilizată pentru încălzirea/răcirea clădirii în scopul asigurării confortului higrotermic sau condițiilor de climat interior necesare pentru desfășurarea funcțiunii dorite, pentru asigurarea confortului vizual sau condițiilor de vizibilitate impuse de funcțiunea spațiului (iluminat), pentru asigurarea calității aerului interior și pentru prepararea apei calde de consum).

Performanța energetică a unei clădiri se:

- determină conform metodelor de calcul normate (în România, conform Metodologiei de calcul MC 001:2006³);
- exprimă prin unul sau mai mulți indicatori numerici funcție de performanța energetică a anvelopei și sistemelor de instalații aferente:
- *consumul anual specific de energie, pentru încălzire, răcire, ventilare, climatizare, iluminat, preparare a.c.c., în [kWh/m²an],*

³ în curs de revizuire, pentru implementarea recent revizuitei DE referitoare la performanța energetică a clădirilor.

- *consumul normal de energie (consumul de energie termică/electrică în scopul realizării stării de confort termic);*

- *indice de emisii echivalent CO_2 [kg_{CO_2}/m^2an ;*

Fațadele dublu vitrate pot influența în mod substanțial performanța energetică a clădirii funcție de performanțele energetice și caracteristicile tehnice ale acestora, determinând :

- *mărima pierderilor/aporturilor de energie datorate transferului fluxurilor termice interior/exterior, respectiv exterior/exterior;*

- *mărima energiei solare valorificate în mod pasiv prin stocare;*

- *mărima pierderilor de energie/aporturilor de energie prin introducerea/extragerea de aer în scopul asigurării calității aerului interior (prin sistemele de ventilare naturală sau mecanică);*

- *mărima pierderilor de energie/aporturilor de energie prin introducerea/extragerea de aer exterior prin neetanșeități;*

- *mărima energiei valorificate prin optimizarea iluminatului natural.*

✓ **Factori de influență a performanțelor energetice ale FDV.**

Factorii care determină performanțele energetice ale fațadelor duble vitrate sunt multipli și caracterizează *sistemul FDV în ansamblu* precum și *fiecare dintre componentele acesteia*.

Performanța energetică a sistemului FDV în ansamblu poate fi influențată de dinamica legăturilor acestuia cu mediul exterior (parametrii climă de calcul), cu anvelopa, respectiv modul de cuplare cu aceasta și cu mediu interior (parametrii de confort, regimuri de funcționare/exploatare, sisteme de instalații asociate și interacțiunea acestora cu fațada).

Din studiile documentare realizate am identificat ca și factori cu o oarecare pondere în performanțele energetice ale sistemului FDV:

- *Numărul, caracteristicile (optice și termice) și modul de cuplare a vitrajelor;*

- *Fluidul (gaz, apă, ș.a.) și dimensiunea lamei de fluid dintre vitrajele cuplate;*

- *Dimensiunea canalului de aer dintre vitraje;*

- *Strategiile de ventilare alese;*

- *Modul de organizare a ventilării canalului;*

- *Strategiile de umbrire și sistemele alese: structurale sau sisteme exterioare asociate (amplasate la exteriorul FDV, în cavitatea ventilată/canal sau în spațiul deservit).*

Influența unei FDV asupra mărimii consumului specific anual de energie al unui spațiu în care este integrată se face ținând cont de:

- ***Pierderile/aporturile de energie termică și luminoasă prin aceasta. Se are în vedere structura de alcătuire a FDV și caracteristicile energetice, termice, optice ale elementelor componente, respectiv:***

- *Factorii de transmitanță termică, energetică și luminoasă ai vitrajelor;*

- *Factorii de transmitanță termică și energetică ai ramei vitrajelor;*

- *Factorii de transmitanță termică, energetică și luminoasă ai sistemelor de umbrire asociate;*

- ***Pierderile/aporturile de energie pentru încălzirea/răcirea aerului din cavitate.***

- ***Parametrii climei de calcul, respectiv dinamica acestora (radiație solară, directă, difuză; temperatură aer exterior, presiune atmosferică, direcție și mărime viteză vânt);***

- ***Dinamica aporturilor interioare și,***

- ***Parametrii de confort higro-termic și cei de confort vizual impuși.***

4. Mod de lucru

4.1. Criterii de analiză utilizate.

Analiza privind creșterea performanțelor energetice ale FDV poate fi făcută într-un prim pas parțial, cu adresabilitate strictă numai la element în sine.

Dar, în vederea creșterii performanțelor energetice ale clădirilor, acest obiectiv trebuie corelat cu cel referitor la creșterea performanțelor globale ale anvelopelor în care sunt integrate și cu cel referitor la asigurarea condițiilor de climat interior normate în raport cu funcțiunea.

Pentru a putea propune cele mai adecvate soluții de îmbunătățire a performanțelor energetice ale FDV, analizele s-au desfășurat pe baza următoarelor trei criterii generale:

- **Realizarea unor performanțe de transmitanță a energiei termice și luminoase, directă și globală, ridicate pentru FDV-uri:** acest criteriu impune identificarea soluțiilor de conformare a FDF care conduc la aceste rezultate: vitraje, mod de cuplare, dimensiune cavități; gaze utilizate; strategii de umbră. Analiza se poate realiza în regim static, pentru condițiile nominale normate și în regim dinamic, în condițiile utilizării parametrilor dinamici pentru clima de calcul;

- **Realizarea unor performanțe energetice ridicate pentru clădirea care integrează FDV** prin analize de bilanțuri energetice relevante, (necesar de energie pentru încălzire/răcire; energie solară valorificată, ...) asupra a diferite variante de configurare a FDV și a diferite strategii de ventilare; bilanțurile se întocmesc în regim dinamic.

- **Realizarea unor condiții de confort termic, vizual și sanitar (respectiv calitate aer) pentru spațiul deservit în raport cu prevederile normative în vigoare.** În analiză s-au considerat parametrii de confort conform SR EN 7730, pentru cazul în care s-au utilizat soluția de climatizare a aerului și cei indicați în SR EN 15251 pentru clădirile cu sisteme de răcire naturală și sisteme de ventilare naturală.

4.2. Analiza influenței structurii de alcătuire a FDV, și caracteristicilor elementelor componente în regim static.

Fațadele vitrate pot fi alcătuite prin cuplarea adecvată a două sau mai multe vitraje, cu caracteristici identice sau diferite, amplasate la distanțe diferite unele de altele și închizând cel puțin o lamă de aer, cu ventilare naturală sau mecanică.

Cele mai uzuale soluții de cuplare a vitrajelor într-o FDV sunt prezentate în tabelul 2., figurile a,b,c,d,e și f.

Tabelul 2.
Cuplarea vitrajelor în funcție de numărul de sticle și poziționare lor

1+1	1+2	2+1	1+3	2+2	3+1	1+1+1
a	b	c	d	e	f	g

Performanțele energetice (termice și optice) ale vitrajelor sunt dependente și se determină în raport cu următoarele caracteristici: *coeficientul de transmitanță termică: U*;

fracția din radiația ultra violetă transmisă: τ_{UV} ; coeficientul de transmitanță luminoasă: τ_V , notată și cu TL ; fracția din energia absorbită re-emisă spre exterior și interior: $RL_{exterior}$, $RL_{interior}$; factorii energetici de transmisie, absorbție și refracție: TE , RE , AE ; factorul global de însorire, g ; coeficienții de umbrire T_{SC} și S_{SC}

Aceste caracteristici diferă foarte mult de la un vitraj la altul. Se pot determina, conform metodelor standard normate în SR EN 410: 2011, SR EN 673:2011 și ISO 9050, cu diverse instrumente ajutoare sau cu ajutorul softurilor special concepute care în general au și o bază de date cu informații acreditate, ale furnizorilor individuali sau grupurilor de furnizori.

În prezenta cercetare, caracteristicile vitrajelor s-au determinat cu ajutorul softurilor specializate (CALUMEN, SPECTRUM, WINDOW 6.3. cel mai performant soft în acest scop și care este apelat de platformele de simulare a clădirilor).

Aceste softuri permit posibilități de configurare multiple.

În analiza influenței structurii de alcătuire a FDV (număr, mod cuplare vitraje, distanțe dintre geamurile cuplate și dimensiune canal ventilat) s-a urmărit:

- Modul de influență a diferitelor soluții de configurare a vitrajelor: 1+1; 1+2; 2+1; 2+2; 1+3; 3+1; 2+2; 1+1+1;
- Modul de influență a cuplării vitrajelor cu caracteristici diferite, cu performanțe diferite: sticle cu depuneri selective, sticle termocrome, termotrope, electrocromatice, sau sticle cu funcțiuni multiple.
- Modul de influență a dimensiunilor intergeamuri și a cavității de aer;
- Modul de influență a gazului introdus între geamuri.

Rezultatele calculelor de determinare a mărimilor proprietăților optice, energetice, de umbrire⁴ și termoizolare pentru diferite soluții de cuplare a vitrajelor, diferite sticle utilizate, diferite gaze introduse între geamurile cuplate, diferite dimensiuni ale lamei de gaz dintre geam și din cavitatea de aer sunt prezentate centralizat, în tabelul 3.

✓ Concluzii parțiale.

Determinarea proprietăților termice, energetice și optice pentru diferite structuri de FDV⁵ a condus la desprinderea următoarelor concluzii de interes referitoare la influența fiecărui factor asupra proprietăților ansamblului vitrat:

- ✓ Referitor la **coeficientului de transmitanță termică U** , se poate afirma că acesta:
 - este influențat în mod substanțial prin utilizarea geamurilor cu caracteristici de control solar și a celor izolatoare termic: se reduce cu peste 60% în raport cu sticla clară;

Exemplu: Pentru o FDV 1+2, cu structura 4+30+4-20-4 (geamuri sticlă clasică 4mm, grosime cavitate aer 30mm, grosime lamă aer dintre geamurile cuplate 20mm) coeficientul de transmitanță termică U are valoarea de 1.7 W/m²,K, în timp ce pentru o FDV cu aceeași configurare, aceleași distanțe, același gaz dar geamuri cu structuri diferite, cu control solar și joasă emisivitate, valoarea acestuia este 1.1 W/m²,K.

- este influențat în mod substanțial prin utilizarea gazelor rare în canalul dintre geamurile cuplate: se reduce cu cca 10+15% în cazul utilizării xenonului comparativ cu lama de aer, pentru FDV cu aceeași configurare și aceleași caracteristici ale vitrajului.

⁴ a spațiului deservit, prin comportarea diferențiată a sticlelor speciale în procesele de transmitanță luminoasă.

⁵ număr geamuri, soluții cuplare, distanțe inter-geamuri cuplate, grosime lamă aer din cavitatea ventilată, structuri diferite de geamuri

- este influențat de dimensiunea canalului dintre geamurile cuplate; există o dimensiune optimă în raport cu caracteristicile vitrajului și a naturii gazului dintre vitraje pentru care valoarea coeficientului de transmitanță U este minimă. În literatura de specialitate se indică valoarea de 16 mm dar din analizele efectuate a rezultat că aceasta este cuprinsă între 16÷24mm, în cazul utilizării aerului și 6÷10 mm în cazul utilizării gazelor rare (valoarea mică este pentru xenon).

- este relativ puțin influențat de creșterea dimensiunii cavității de aer; se justifică numai în cazul fațadelor dublu vitrate ventilate;

- prezintă o ameliorare energetică relativ redusă dacă numărul de geamuri crește la mai mult de trei⁶; se justifică numai în cazul utilizării geamurilor cu funcțiuni speciale pentru protecție fonică, la foc, sau securizare.

✓ Referitor la **factorul global de însorire, g** :

- este influențat în mod substanțial prin utilizarea geamurilor cu caracteristici de control solar și a celor izolatoare termic: se reduce cu mai mult de 55% la utilizarea acestora;

- nu este influențat vizibil de natura gazului din canalul dintre geamurile cuplate;

- este relativ puțin influențat de variația dimensiunii canalului dintre geamurile cuplate în cazul utilizării vitrajelor cu proprietăți speciale și nu se modifică la variații ale acestei dimensiuni în cazul sticlei clare;

- este relativ puțin influențat de creșterea dimensiunii cavității de aer;

- se reduce odată cu creșterea numărului de geamuri.

✓ Referitor la **coeficientul de transmitanță luminoasă: τ_v** (notație conform SR EN 410) indicat în tabelului 5.2. prin simbolul **TL**, pentru corelarea cu rezultatele calculelor realizate în cadrul softului SPECTRUM se poate afirma că acesta se reduce odată cu creșterea numărului de vitraje și a introducerii geamurilor cu control solar și joasă emisivitate.

✓ Referitor la **fracția din radiația ultra violetă transmisă: τ_{UV}** , notat în tabelul 5.2. cu **T_{UV}** , se poate afirma de asemenea că acesta se reduce odată cu creșterea numărului de vitraje și a introducerii geamurilor cu control solar și joasă emisivitate.

✓ Referitor **fracția din energia absorbită, re-emisă spre interior: $RL_{interior}$** , se poate afirma de asemenea că acesta crește odată cu creșterea numărului de vitraje și a introducerii geamurilor cu control solar și joasă emisivitate.

✓ Referitor la **factorul energetic de transmisie, TE** , se poate afirma că acesta scade vizibil odată cu creșterea numărului de geamuri (cu circa 10% pentru fiecare geam adăugat) și scade substanțial (cu peste 50 %) odată cu utilizarea geamurilor speciale cu control solar.

✓ Referitor la **factorul energetic de absorbție, AE** , acesta are o variație în sens invers față de cazul factorului de transmisie, adică crește odată cu creșterea numărului de geamuri (cu circa 35% pentru fiecare geam adăugat) și crește substanțial odată cu utilizarea geamurilor speciale cu control solar (de circa 2.3 ori).

✓ Referitor la **factorul energetic de refracție, RE** , acesta are un comportament similar cu factorul energetic de transmisie, TE : adică crește odată cu creșterea numărului de geamuri (cu circa 35% pentru fiecare geam adăugat) și odată cu utilizarea geamurilor speciale cu control solar (cu peste 10 %).

✓ Referitor la **coeficienții de umbrire T_{sc} și S_{sc}** , aceștia scad odată cu adăugarea de geamuri și scad în mod substanțial odată cu utilizarea vitrajelor cu proprietăți de control solar.

⁶ configurații 1+3/3+1, 2+2, ...

Deci, un prim set de **măsurile de optimizare energetică a unei FDV** vizează optimizarea structurării a FDV prin:

- *configurarea optimă, în raport cu obiectivele dorite a modului de cuplare a vitrajelor,*
- *alegerea adecvată a dimensiunii și naturii gazului dintre vitrajele cuplate,*
- *determinarea dimensiunilor optime ale gazului și secțiunii transversale a cavității de aer dar, mai ales,*
- *alegerea cu atenție și cuplarea adecvată a geamurilor cu proprietăți speciale.*

4.3. Analiza, în regim dinamic a factorilor de influență a performanțelor energetice ale FDV.

Analiza structurii și modului de alcătuire a FDV, realizată anterior, asupra performanțelor energetice ale FDV a fost realizată în regim static și oferă *un prim criteriu de selectare* a unor soluții de configurare eficientă. Dar regimul de funcționare al acestor elemente de anvelopă - FDV pasive sau active - este un regim dinamic. Variația factorilor de influență ai performanțelor energetice ale FDV este multiplă:

- mediul exterior are un comportament dinamic, cu variație continuă a parametrilor, dar cu anumite particularități (alternanță zi/noapte a prezenței radiației solare...,)
- mediul interior clădirii are de asemenea un comportament dinamic, datorat variației regimurilor de utilizare, aporturilor de energie termică și luminoasă,...poate fi definit prin parametrii de calcul normați, și răspunsul sistemului FDV la dinamica acestuia face diferența între performanță și inadaptare.
- caracteristicile fluxului de aer vehiculat prin canal, particularităților sistemului de ventilație asociat...

Pentru analiza în regim dinamic a performanțelor FDV s-au utilizat mai multe instrumente de analiză specifice și adecvate problemelor supuse analizei și anume:

- *softul PARASOL⁷*
- *platforma de cercetare a sistemelor energetice în regim dinamic TRNSYS, prin cuplarea cu modulelor COMIS și TRANSFLOW de simulare a curgerii aerului;*
- *platforma de concepere a clădirilor și sistemelor de instalații aferente și simulare a comportamentului dinamic al acestora în regim dinamic LESOSAI, pentru analiza în regim dinamic a unor noi tipuri de FDV propuse;*

✓ Ipoteze de lucru.

Clădirea, cu funcțiune de birouri și regim de înălțime parter este echipată cu FDV având 8 canale **2.225x2.0x0.1m**, separate orizontal și vertical, ventilate în sistem mixt, în regim de răcire în sezonul cald și respectiv în regim de încălzire în sezonul rece (fig. 2).

Clădirea are FDV orientată plin sud și este amplasată în municipiul Iași.

Din punct de vedere structural au fost analizate trei variante, după cum urmează:

- **V1 @ 1+2** – având vitrajele realizate cu sticlă clară, cu grosime de 4mm, cu cavitate de aer de 10 cm și interstițiu geamuri cuplate 16 mm, încărcat cu argon.
- **V2 @ 1+2** – având aceleași caracteristici ca în varianta V1 cu sistem de umbrire în canalul fațadei, tip stor venețian.
- **V3 @ 1+2** – cu vitrajul exterior din sticlă electrocromatică și următoarele din foi de sticlă clară de 4 mm.

⁷ Dezvoltat de Universitatea Lund, Institutul de Tehnologie, Departamentul de Construcții și Arhitectură, Divizia Proiectare clădiri și sisteme energetice aferente.

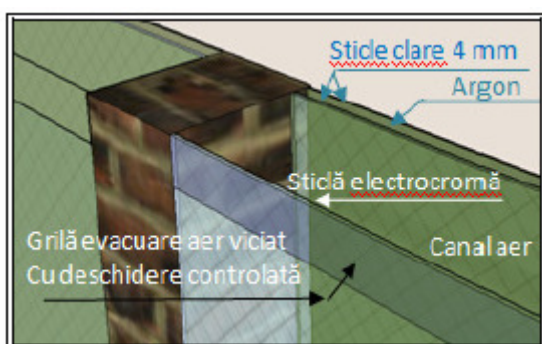
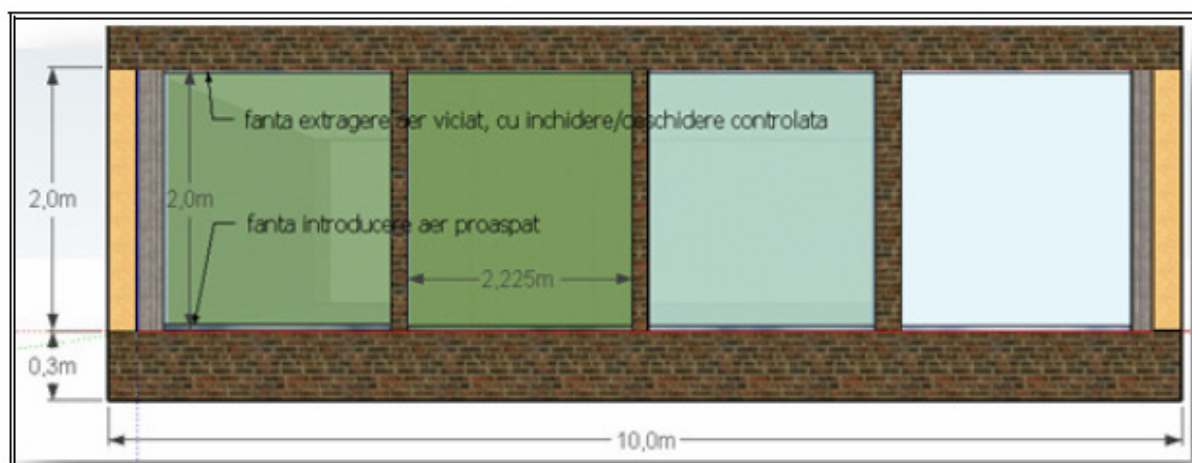
Tabelul 3

Structură FDV	Cod cuplare	Tip geamuri*				C1		C2		Cavi	UV		Factori optici				Factori energetici			Factor însorire		Coeficienți umbră	
		G1	G2	G3	G4	g	gaz	g	g	U W/m ² K	T _{av} %	TL %	RL _{EXT} %	RL _{INT} %	TE %	RE %	AE %	g	TSC	SSC			
+		1	1			aer				30	2.8	50	82	15	15	74	13	13	0.78	0.90	0.85		
	4+30+4	1	1							50	2.8	50	82	15	15	74	13	13	0.78	0.90	0.85		
	4+100+4	1	1							100	2.9	50	82	15	15	74	13	13	0.78	0.90	0.85		
	4+500+4	1	1							500	3.0	50	82	15	15	74	13	13	0.78	0.90	0.85		
	4+1000+4	1	1							1000	3.0	50	82	15	15	74	13	13	0.78	0.90	0.85		
+						aer																	
	4+30+4-6-4				6					30	2.0	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-12-4				12					30	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-16-4				16					30	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-20-4				20					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-28-4				28					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+50+4-20-4				20					50	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+100+4-20-4				20					100	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+500+4-20-4				20					500	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+1000+4-20-4				20					1000	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
						xenon																	
	4+30+4-6Xe-4				6					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-12Xe-4				12					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-16Xe-4				16					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-20Xe-4				20					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+30+4-28Xe-4				28					30	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+50+4-20Xe-4				20					50	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+100+4-20Xe-4				20					100	1.7	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+500+4-20Xe-4				20					500	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
	4+1000+4-20Xe-4				20					1000	1.8	40	75	20	20	64	18	18	0.71	0.82	0.74		
1. Sticlă clară-4mm																							
2. Pilkington Activ Optilam, Feuilleté, 6.4 mm (331)																							
3. Pilkington Activ Optilam, Feuilleté, 6.4 mm (331)																							
4. Pilkington Optilam Eclipse Advantage Arctic Blue, Feuilleté, 8.4 mm (441)																							
5. Pilkington K Glass, Recuit, 3 mm																							

Structura ura	Cod cuplare	Tip geamuri*				C1		C2		Cavi	UV		Factori optici				Factori energetici			Factor însorire		Coeficienți umbră	
		G1	G2	G3	G4	g	gaz	g	g	U W/m ² K	T _{av} %	TL %	RL _{EXT} %	RL _{INT} %	TE %	RE %	AE %	g	TSC	SSC			
+						aer																	
	A6.4L+30+Ea8.4abL-12-K3				12					30	1.3	0	33	26	33	19	20	61	0.36	0.42	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-16-K3				16					30	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-20-K3				20					30	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.34	0.39	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-28-K3				28					30	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+50+Ea8.4abL-20-K3				20					50	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+100+Ea8.4abL-20-K3				20					100	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+500+Ea8.4abL-20-K3				20					500	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+1000+Ea8.4abL-20-K3				20					1000	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-6Xe-K3				6					30	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.35	0.40	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-12Xe-K3				12					30	1.1	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-16Xe-K3				16					30	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-20Xe-K3				20					30	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+30+Ea8.4abL-28Xe-K3				28					30	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+50+Ea8.4abL-20Xe-K3				20					50	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+100+Ea8.4abL-20Xe-K3				20					100	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+500+Ea8.4abL-20Xe-K3				20					500	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.33	0.38	0.22		
	A6.4L+1000+Ea8.4abL-20Xe-K3				20					1000	1.0	0	33	26	33	19	20	61	0.32	0.37	0.22		
1. Sticlă clară-4mm																							
2. Pilkington Activ Optilam, Feuilleté, 6.4 mm (331)																							
3. Pilkington Activ Optilam, Feuilleté, 6.4 mm (331)																							
4. Pilkington Optilam Eclipse Advantage Arctic Blue, Feuilleté, 8.4 mm (441)																							
5. Pilkington K Glass, Recuit, 3 mm																							

Din punct de vedere tehnic clădirea este prevăzută cu:

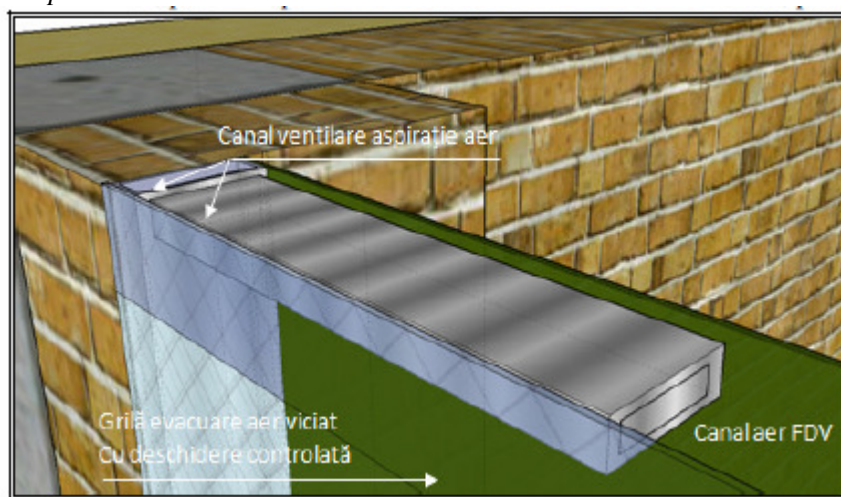
- **Sistem de încălzire:**
 - parțial cu apă caldă de joasă temperatură 35/28⁰C, prin planșeu radiant;
 - parțial cu aer cald, preîncălzit într-un puț canadian cu 2 tuburi de L=40m și încălzit până la temperatura de introducere cu o baterie de încălzire termică.
- **Sistemul de ventilare:** dublu flux cu recuperator de energie (inclusiv din căldura latentă de vaporizare); debit de aer introdus: 250 m³/h și unitate funcțională; regim de funcționare zi/noapte, cu întreruperi pe perioada sâmbetei și duminicii; mod de reglaj: continuu.
- **Sistemul de răcire** utilizat a fost cu aer răcit în puțul canadian cu 2 tuburi de L=40m.
- **Sistemul de iluminare** a fost considerat a fi de tipul cu reglare continuă și intrare în stand-by funcție de intensitatea luminoasă, menținută optimă în zona de lucru. S-au utilizat corpuri de iluminat cu LED.
- Strategia de ocupare și regimul de funcționare considerate: pentru aparatele electrice sunt una dinamică.
- Ipotezele de simulare sunt prezentate în tabelul 4.



b. Detaliu FDV cu ventilare naturală, partea superioară.



c. Detaliu FDV, partea inferioară



d. Detaliu FDV cu ventilare mecanică (în zona superioară)

Figura 2. Modelul clădirii realizat în Scketchup-Platforma Google

Tabel 4

Temperatura	Ziua: 8-17	în incintă	⁰ C	Max.26
	Noaptea		⁰ C	Min.20
			⁰ C	Max.26
			⁰ C	Min.20
Aporturi termice	Ziua: 8-17		W/m ²	18.5
	Noaptea		W/m ²	0
Temperatură aer condiționat introdus	Ziua: 8-17	în sistem ventilare	⁰ C	17
	Noaptea		⁰ C	= t _{aer exterior}
Debit aer introdus	Ziua: 8-17		l/s	69,7
	Noaptea		l/s	35
Randament recuperator energie			%	90%

Simularea a fost realizată în regim dinamic, pe durata unui an utilizând valorile orare ale parametrilor climatici, pentru orașul Iași și anul tipic meteorologic (figura 3.).

Programele specializate de calcul iau în considerație strategiile funcționale în raport cu variația parametrilor climatici interiori și exteriori.

Pentru analiza comparativă a performanțelor energetice și de confort a soluțiilor analizate, în fiecare din cele trei variante adoptate s-au determinat:

- Caracteristicile termo-optice ale vitrajelor;
- Consumul anual de energie anual, global și distinct, pentru încălzire și pentru răcire;
- Parametrii de confort termic interior:
- procentul mediu previzibil, PMV;
- procentul previzibil de nemulțumiți, PPD;
- temperatura operativă T_o în diferite planuri de interes;

Pentru evaluarea performanțelor vitrajelor, în cadrul cercetării s-au utilizat softurile specializate SPECTRUM și WINDOW 6.3. (acesta poate fi apelat în cadrul platformelor de simulare a clădirilor).

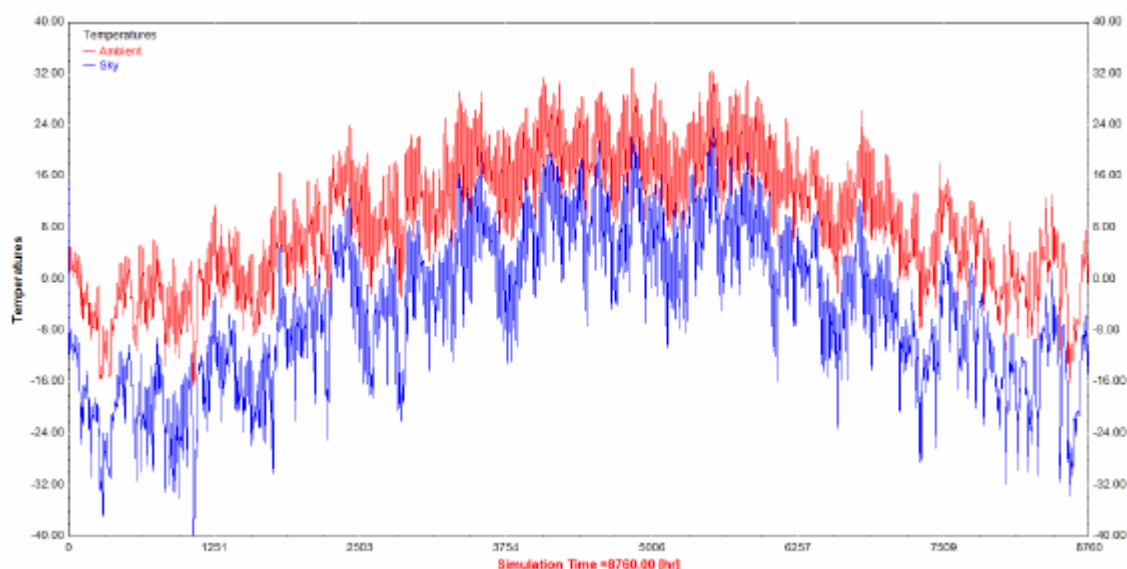


Figura 3. a. Temperatura exterioară și temperatura bolții cerești. Anul meteo tipic

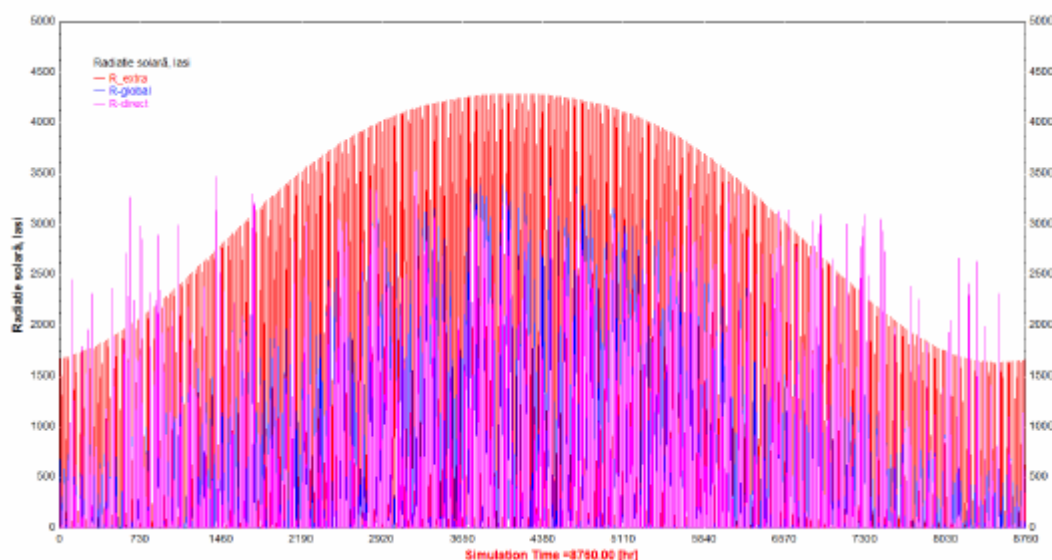


Fig. 3.b. Radiatia solara în spațiu extraterestru, radiația globală normală și directă la nivelul solului

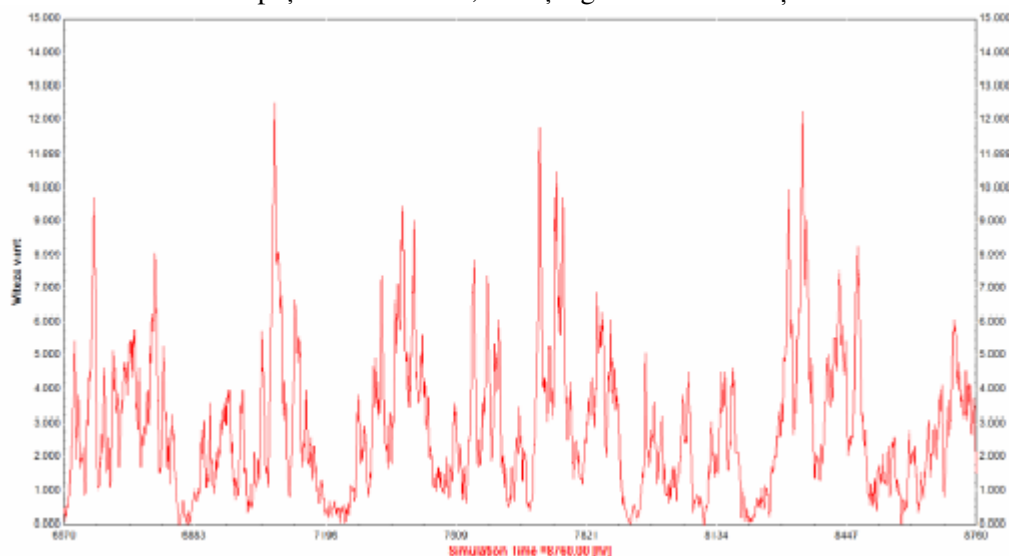


Fig. 3.c. Viteza vântului. Anul meteo tipic. Municipiul Iași

Pentru compararea performanțelor fațadelor analizate **au fost determinați următorii indicatori:**

- **Necesarul anual de energie (global și specific);**
- **Emisiile de CO₂;**
- **Indicatorii de confort higro-termic: T_O, PMV, PPD.**

Rezultatele simulărilor au fost prezentate sub formă de:

- valori tabelare și
- grafice și diagrame (pentru a permite realizare de analize în raport cu diferite criterii.).

Pentru fiecare dintre variante sunt prezentate succesiv:

- ***Caracteristicile optice/energetice pentru structura fațadei*** (Tabel 5 – V1 și Figura 4; Tabel 6.–V2 și Figura 5.; Tabel 7- V3 și Figura 6):

- coeficientul global de transmitanță al FDV, g , în procente din radiația solară incidentă;
- coeficientul de transmitanță termică U , în $[W/m^2K]$.
- **Bilanțurile energetice:**
 - necesarul de energie încălzire/răcire:
 - varianta V1 : Figura 7 ;
 - varianta V2 : Figura 8;
 - varianta V2: Figura 9;
 - necesarul de energie preîncălzire/prerăcire;
- **Indicatorii de confort** în zilele cu temperatură extremă din sezonul rece și cel rece:
 - PMV (Figura 10 –V3);
 - PPD (Figura 11-V3);
 - T_{OG} (Figura 12 –V3);

Tabel 5.

Caracteristicile optice/energetice pentru structura FDV-V1				
Variantă	Mod ventilare	Coeficientul de transmitanță termică	Coeficientul global de transmitanță energetică	Coeficientul global de transmitanță luminoasă
		U	g	T
		$[W/m^2K]$	%	%
FDV-V1	C-VN*	1.95	0.668	0.579
	C-VM**	2.05	0.668	0.579
*Ventilarea canalului se face natural; ** Ventilarea canalului se face mecanic				
Observație: Coeficientul de transmitanță termică variază puțin în raport cu intensificarea fluxului de curgere prin canal.				

Tabel 6.

Caracteristicile optice/energetice pentru structura FDV-V2				
Variantă	Mod ventilare	Coeficientul de transmitanță termică	Coeficientul global de transmitanță energetică	Coeficientul global de transmitanță luminoasă
		U	g	T
		$[W/m^2K]$	%	%
FDV-V1	C-VN	1.86	0.669	0.579
Observație: Coeficientul de transmitanță termică este relativ mai mic decât în varianta precedentă ca urmare a efectului termoizolant al storului venețian.				

Tabel 7.

Caracteristicile optice/energetice pentru structura FDV-V3				
Variantă	Mod ventilare	Coefficientul de transmitanță termică	Coefficientul global de transmitanță energetică	Coefficientul global de transmitanță luminoasă
		U	g	T
		[W/m²K]	%	%
FDV-V1	C-VN	2.05	0.283	0.210
	C-VN	1,94	0.283	0.210

Observație:
Sticla electrocromă se caracterizează prin valori reduse ale coeficientului de transmitanță energetică globală g și luminoasă T.

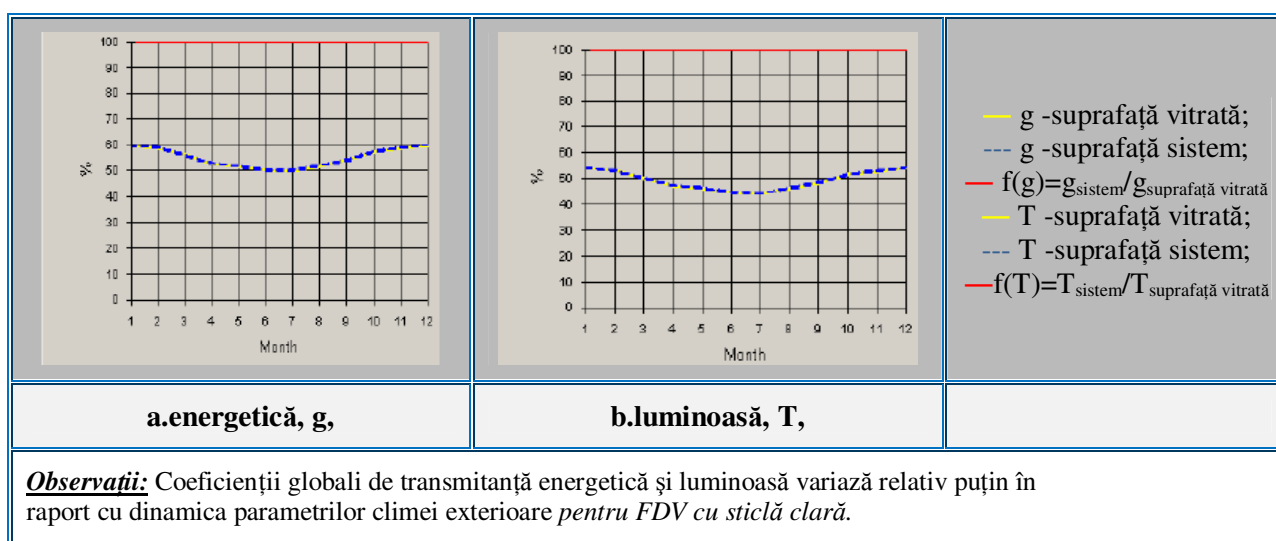


Figura. 4. Evoluția anuală a coeficientul global de transmitanță energetică și luminoasă a FDV-V1

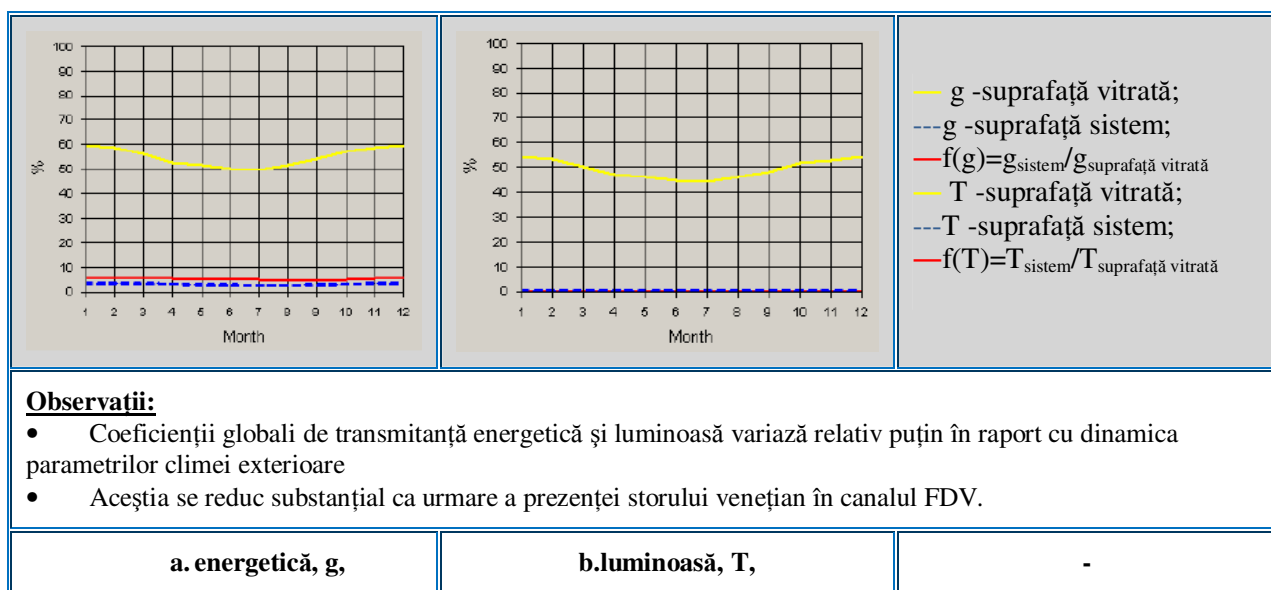


Figura. 5. Evoluția anuală a coeficientul global de transmitanță energetică și luminoasă FDV-V2

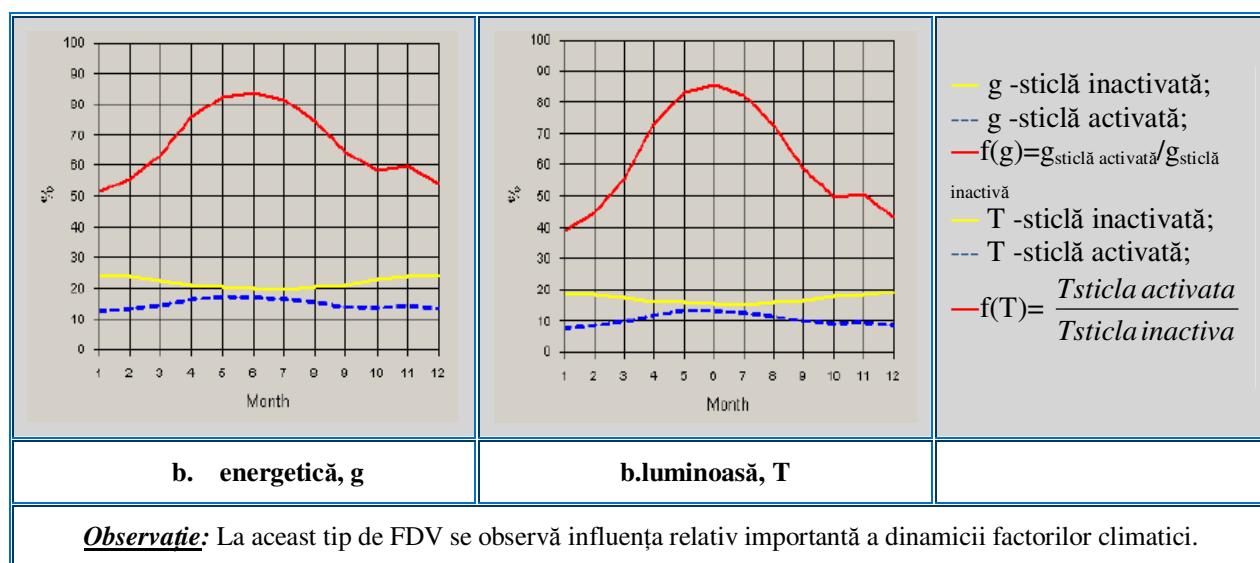


Figura. 6. Evoluția anuală a coeficientul global de transmitanță energetică și luminoasă a FDV-V3

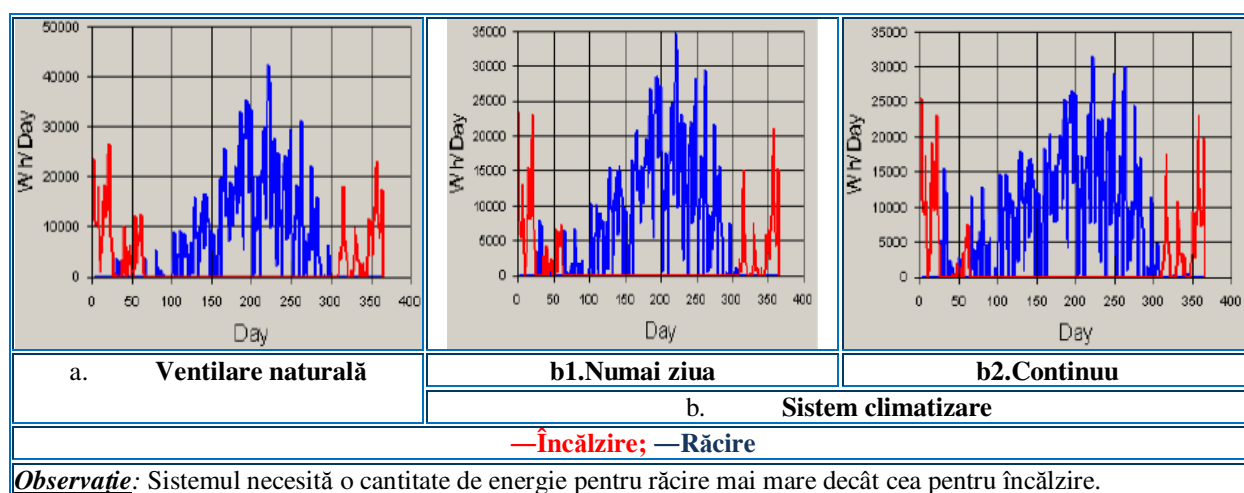


Figura 7. Bilanț energetic - varianta V1: Evoluția necesarului de energie de încălzire/răcire în Wh/zi

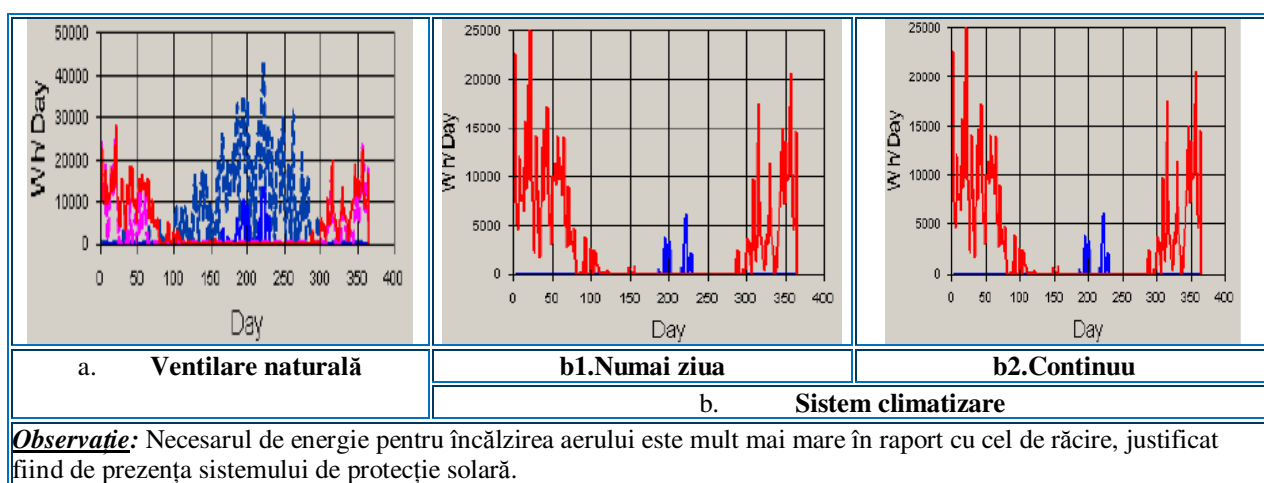


Figura 8. Bilanț energetic — **varianta V2** (roșu: încălzire; albastru: răcire)

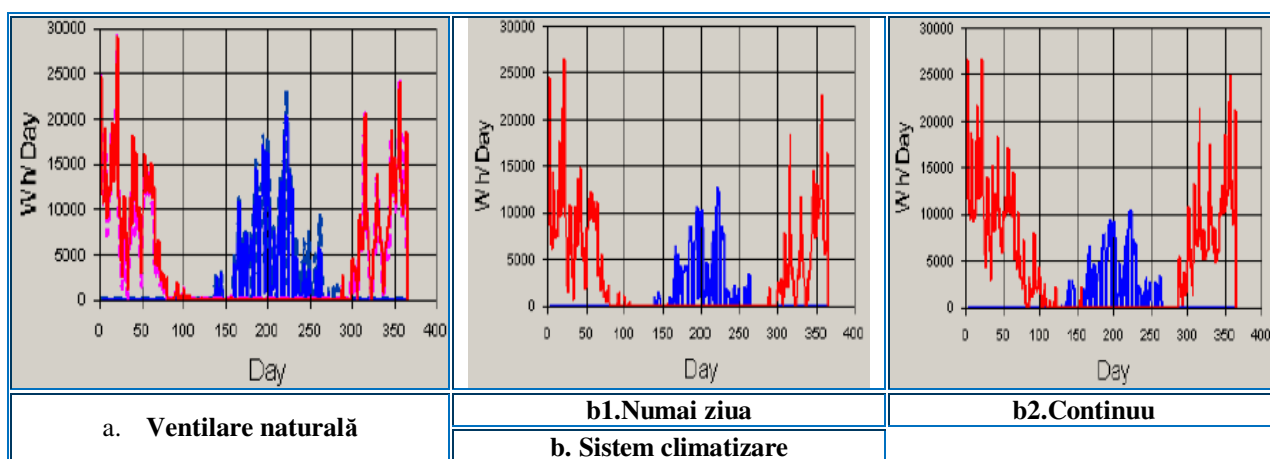


Figura 9. Bilanț energetic — **varianta V3** (roșu: încălzire; albastru: răcire)

✓ Interpretarea rezultatelor.

Rezultatele măsurătorilor sunt extrem de numeroase, motiv pentru care în cadrul lucrării s-au prezenta grupat, pe problemele analizate, o parte dintre rezultatele obținute și, corelat cu acestea, s-au făcut și interpretările/comentariile și s-au extras concluziile parțiale.

Interpretările/comentariile și concluziile parțiale pot fi sintetizate în raport cu diferite criterii, dintre care, în cadrul prezentei cercetări ne-am oprit la următoarele:

A. Referitoare la proprietățile de transmitanță termică și energetică în regim dinamic:

◇ Coeficientul de transmitanță termică U prin FDV.

Valoarea acestuia a fost determinată în raport cu prevederile:

- SR EN 410, pentru determinarea fluxului de energie transmisă prin diferite tipuri de sticlă, respectiv a fluxului de energie solară radiantă pe lungimi de undă și coeficienții de absorbantă/ transmitanță ai sticlelor în raport cu acesta;
- EN 12898, pentru determinarea coeficienților de emisivitate corectată ale sticlelor cu joasă emisivitate și
- SR EN 673, pentru calculul coeficienților de conductanță a pachetului de sticle și calculul coeficientului de transmitanță termică globală U .

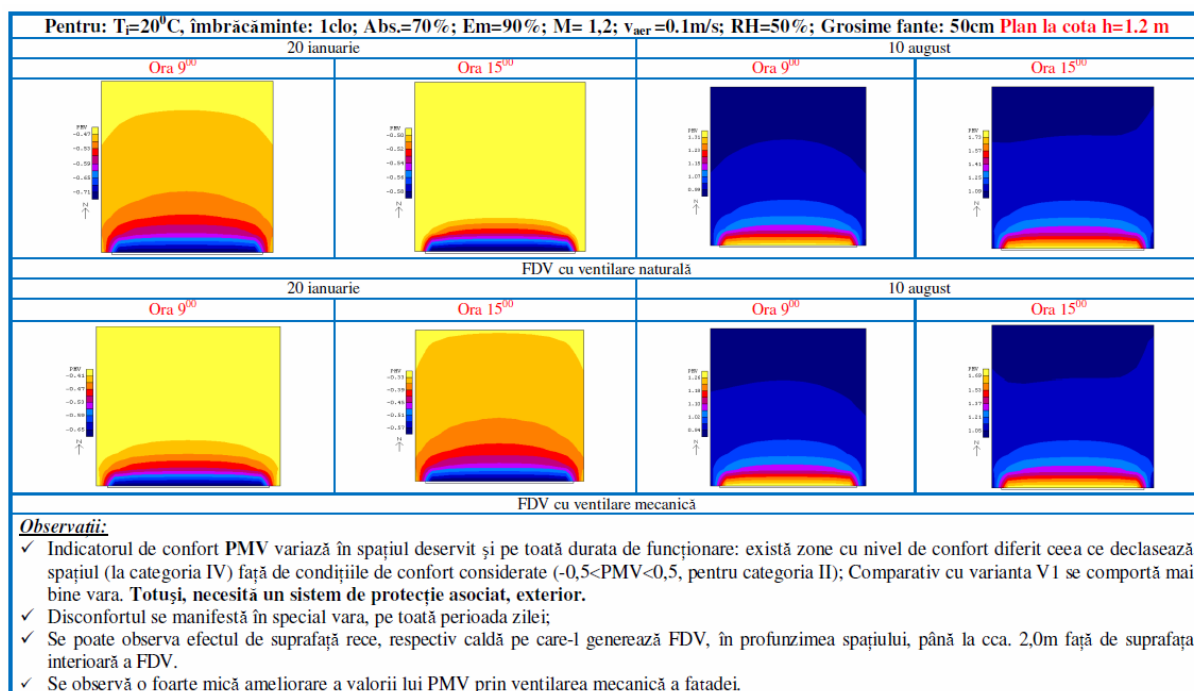


Figura 10. Valoarea indicatorului de confort PMV, pentru FDV, V3.

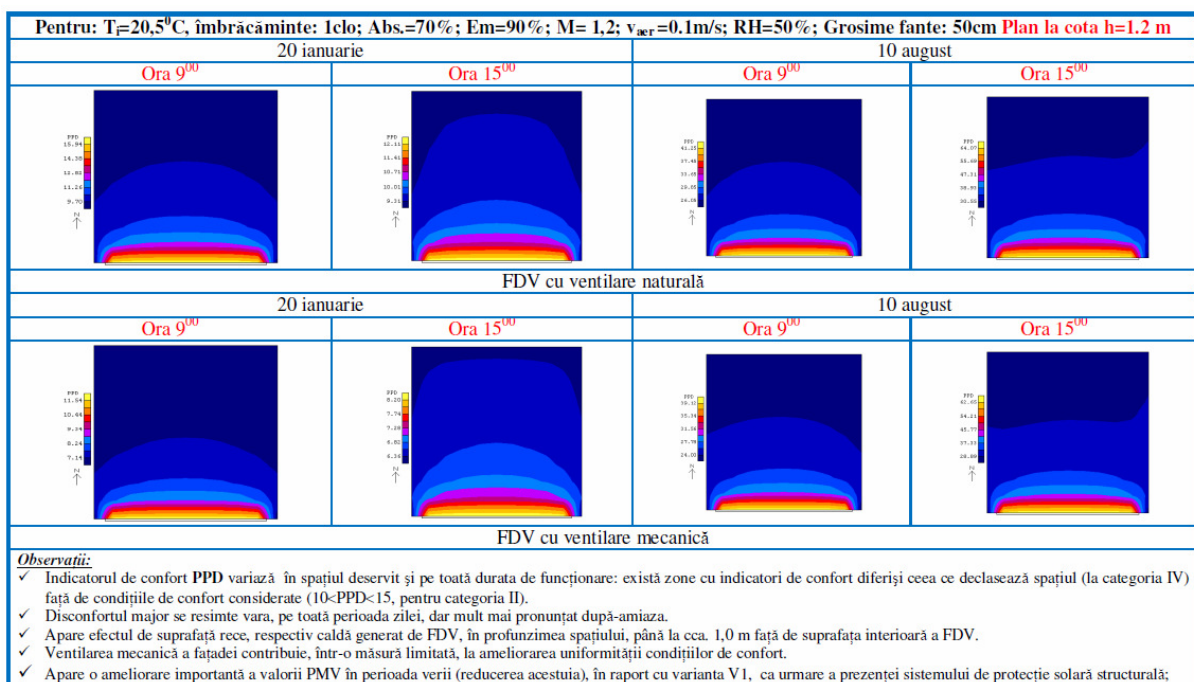


Figura 11. Valoarea indicatorului de confort PPD, pentru FDV, V3.

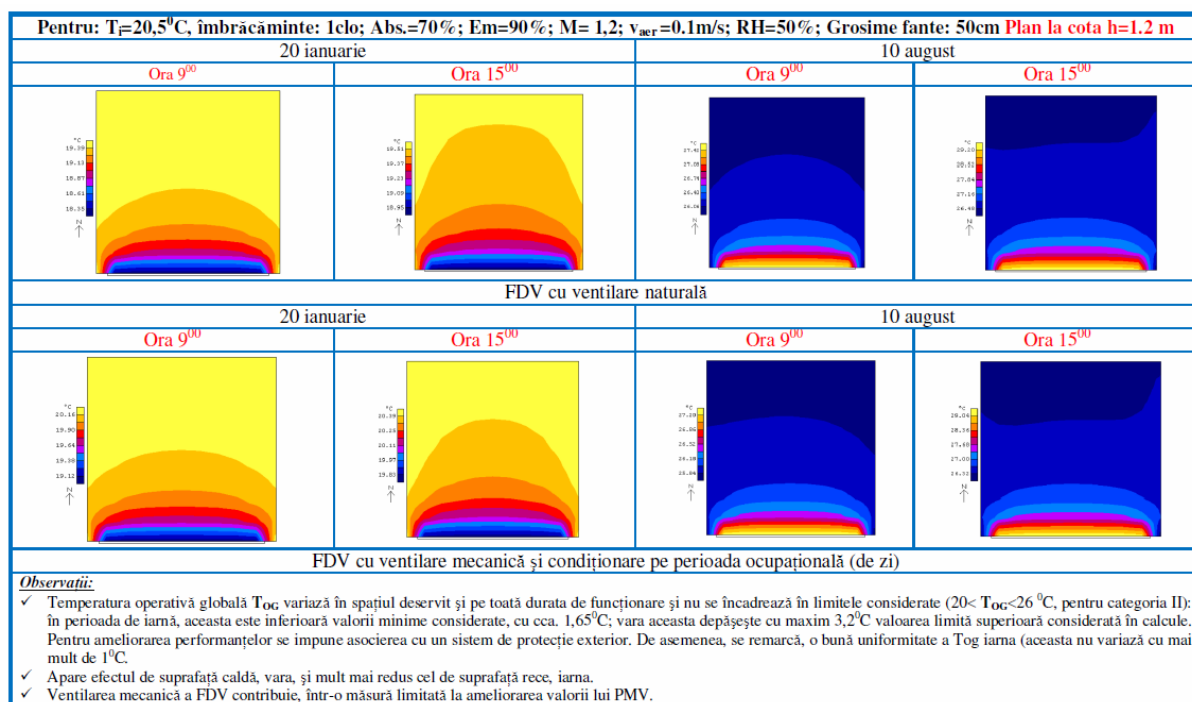


Figura 13. Valoarea temperaturii operative globale T_{OG} , pentru FDV, V3.

Coeficientul de transmitanță termică globală al FDV – U — este dependent de:

- caracteristicile sticlei (grosimea sticlelor, coeficienții de conductivitate termică, transmitanță energetică globală, emisivitățile corectate ale sticlei).
- numărul sticlelor;
- modul de structurare, respectiv ordinea diferitelor tipuri de sticlă;
- numărul straturilor de gaze, grosimea și tipul gazelor utilizate,
- coeficienții de schimb de căldură superficial între FDV și ambianțele exterioară/interioară, respectiv parametrii mediului exterior și cei ai mediului interior (temperatură, viteză curenți aer);
- modul de ventilare și strategiile de ventilare, prin: coeficienții de schimb de căldură superficial între FDV și sticlele delimitatoare ale canalului determinați de temperatura și debitul/viteza curenților aer; precum și de ecartul de temperatură mediu exterior - mediului interior canal.

◇ Coeficientul global de transmitanță „g” al FDV depinde de:

- ✓ structura FDV (număr geamuri, mod cuplare, gaze utilizate) (Tabelul.3.);
- ✓ de caracteristicile sticlelor (Tabelul.3.);
- ✓ se reduc odată cu mărirea numărului de vitraje și odată cu introducerea sticlelor speciale (cu control solar, cu joasă emisivitate...).
- Caracteristicile/Proprietățile optice (de transmitanță energetică și luminoasă) ale ansamblului FDV, respectiv transmitanța directă „T” și cea totală „g” a vitrajului și a sistemului sunt influențate de:
 - ✓ caracteristicile optice ale sticlelor utilizate la realizarea vitrajelor și modul de cuplaj într-o măsură mai mult sau mai puțin importantă, după cum urmează:

✓ la fațadele duble vitrate care au în componență și geamuri cu control solar transmitanță directă precum și cea totală a vitrajului și ansamblului FDV este mult mai mică comparativ cu FDV cu sticlă clară cu restul caracteristicilor identice: ***influența majoră asupra performanțelor de transmitanță și respectiv asupra performanțelor energetice o are numărul de vitraje și tipul;***

✓ introducerea sticlelor electrocrome conduc la creșterea reflexiei termice vara și a transmisiei termice iarna (V.3), respectiv la scăderea factorului de transmitere globală al vitrajului vara și creșterea factorului aferent sistemului;

✓ strategiile de ventilare adoptate: creșterea turbulenței și modificarea temperaturii aerului din cavitate au ca efect și ameliorarea performanțelor de transmitanță energetică a FDV (prin valorile coeficienților de schimb convectiv, mărimea rezistențelor termice superficiale pe fețele canalului, gradientul de temperatură stabilit și diferența de temperatură relativ mică canal-incintă); ponderea influenței este extrem de redusă în raport cu influența caracteristicilor vitrajului.

• **Variațiile parametrilor climatici influențează destul de puțin caracteristicile optice ale FDV**, cu excepția cazurilor în care se utilizează sticle speciale (electrocrome).

• **Soluțiile de protecție solară influențează în mod substanțial performanțele sistemului FDV.**

✓ *Sistemele de protecție asociate* au ca efect o modificare a factorului de transmitanță globală. Pentru variantele analizate:

▪ *la fațada cu vitraje din sticlă clară*, varianta V2, se poate observa faptul că prezența sistemului de umbrire are ca efect scăderea factorului de transmitanță globală al ansamblului vitraj-sistem protecție, dar transmitanța directă este foarte puțin influențată.

▪ *la fațadele cu sticle speciale* (varianta V3 de configurare) se impune asocierea și cu un sistem de protecție solară suplimentar (structural sau asociat, de tip copertină sau storuri venețiene) în scopul ameliorării indicatorilor de confort; prezența sticlei cu control solar, inactivează soluțiile de control solar montate la interior de aceasta.

✓ *Sistemele de protecție structurală* au ca efect o modificare a factorului de transmitanță globală, cu mărimi diferite în raport cu caracteristicile sticlei.

B. Referitoare la influența diferitelor modalități de structurare a FDV asupra bilanțurilor energetice ale incintei.

Analiza bilanțurilor energetice ale incintei a permis formularea unor concluzii globale referitoare la integrarea fațadei în anvelopă și efectele diferitelor soluții de structurare a FDV asupra bilanțurilor energetice globale ale clădirii. Criteriile de analiză au urmărit stabilirea bilanțurilor energetice pentru perioada de încălzire/răcire. Ipotezele de analiză sunt prezentate în *tabelul 5.4*. Au fost analizate toate variante de conformare structurală prezentate inițial.

În *tabelele 8* și *figura 14* sunt prezentate centralizat bilanțurile energetice pe fiecare dintre variantele analizate.

Concluziile desprinse sunt prezentate local, în fiecare tabel.

În *tabelul 9* este prezentat centralizat necesarul de energie pentru preîncălzire și prerăcire.

În urma analizelor realizate se pot face observații calitative și cantitative interesante, referitoare la influența diferitelor strategii de ventilare precum și comparații între diferitele variante analizate:

- Din punct de vedere energetic varianta V1 prezintă consumurile cele mai mari.
- Variantele V2 și V3 prezintă consumuri energetice globale relativ apropiate dar cu ponderea încălzire/răcire diferită.
- Consumurile specifice se încadrează între 32,11 și 11,76 kWh/m² suprafață încălzită/răcită, an, cu valori relativ scăzute la ultimile două variante;
- Varianta cu cele mai bune rezultate în exploatare, în condițiile simulate este varianta V3, cu ventilare a incintei și canalului FDV cu aer climatizat;
- Fațada cu sticlă electrocromă prezintă un comportament mult îmbunătățit în raport cu o fațadă clasică similară (varianta V1), dar necesită ameliorări în scopul îmbunătățirii confortului, respectiv evitarea supraîncălzirii pe timp de vară.
- Bilanțul emisiilor de noxe pe variantele analizate a pus în evidență faptul că la varianta V3 degajările de noxe sunt minime deoarece sticla electrocromă activată își modifică caracteristicile în raport cu radiația solară, realizând și funcția de protecție solară vara, cu consumuri de energie pentru controlul proprietăților mult mai mic decât la sistemele de protecție solară controlată asociate. Găsirea raportului optim între perioada de funcționare în stare activată și cea în stare ne-activată, respectiv stabilirea cât mai corectă a pragurilor de activare/dezactivare poate conduce la o funcționare optimă din punct de vedere energetic, cu consumuri de energie și degajări de noxe minime în raport cu celelalte variante.

Tabelul 8

Bilanțul de energie											
PROCES	Mărime	U.M.	VARIANTA V1			VARIANTA V2			VARIANTA V3		
			Ventilare			Ventilare			Ventilare		
			naturală	Cu aer condiționat		naturală	Cu aer condiționat		naturală	Cu aer condiționat	
				continuu	ziua și răcire naturală noaptea		continuu	ziua și răcire naturală noaptea		continuu	ziua și răcire naturală noaptea
Răcire	Putere maximă	W	4304	3305	3281	1976	851	674	2650	1528	1416
	Putere maximă necesară la funcționarea fără SP*	W				4304	3281	3305	2859	1738	1737
	Necesar energie maximă	kWh	2409	2533	2305	189	48	23	557	347	276
	Energie maximă la funcționarea fără SP	kWh				2409	2305	2533	655	440	401
	Diferența energie răcire pornire-oprire	kWh	0	0	0	-2220	-2258	-2510	-99	-93	-125
Încălzire	Putere maximă	W	1655	1424	1177	1607	1414	1207	1721	1531	1909
	Putere maximă necesară la funcționarea fără SP	W				1655	1424	1177	1716	1524	1898
	Necesar energie maximă	kWh	802	609	518	1536	1128	991	1422	1061	1435
	Energie maximă necesară la funcționarea fără SP	kWh				82	518	609	1266	910	1358
	Diferența energie răcire pornire-oprire	kWh	0	0	0	734	611	1382	156	151	76
*SP-sistem de protecție solară pentru varianta V2 și sticlă inactivă, varianta V3.											
Observații:											
✓ Din punct de vedere energetic:											
▪ varianta V1 prezintă: necesarul anual de energie pentru răcire cel mai mare, și cel mai mic necesar de energie de încălzire; sarcina termică a instalațiilor de răcire cea mai mare în timp ce pentru instalațiile de încălzire sarcina termică este apropiată de cea a variantei V2 și relativ mai mică decât cea pentru V3.											
▪ variantele V2 și V3 prezintă consumuri energetice globale relativ apropiate dar cu ponderea încălzire/răcire diferită.											
✓ Consumurile specifice pentru varianta V3 este de 14,08 kWh/m ² și an.											
✓ Varianta cu cele mai bune rezultate în exploatare, în condițiile simulate este varianta V3, cu ventilare mecanică cu aer climatizat.											

Tabelul 9

Necesarul de energie preîncalzire (P. Î.)/prerăcire(P. R.)														
VARIANTA V1					VARIANTA V2					VARIANTA V3				
Ventilare naturală	Sistem climatizare				Ventilare naturală	Sistem climatizare				Ventilare naturală	Sistem climatizare			
	Numai ziua		Continuu			Numai ziua		Continuu			Numai ziua		Continuu	
	P. I.	P. R.	P. I.	P. R.		P. I.	P. R.	P. I.	P. R.		P. I.	P. R.	P. I.	P. R.
-	4	248	12	387	Nu e cazul	3	267	10	409	Nu e cazul	5	311	15	462

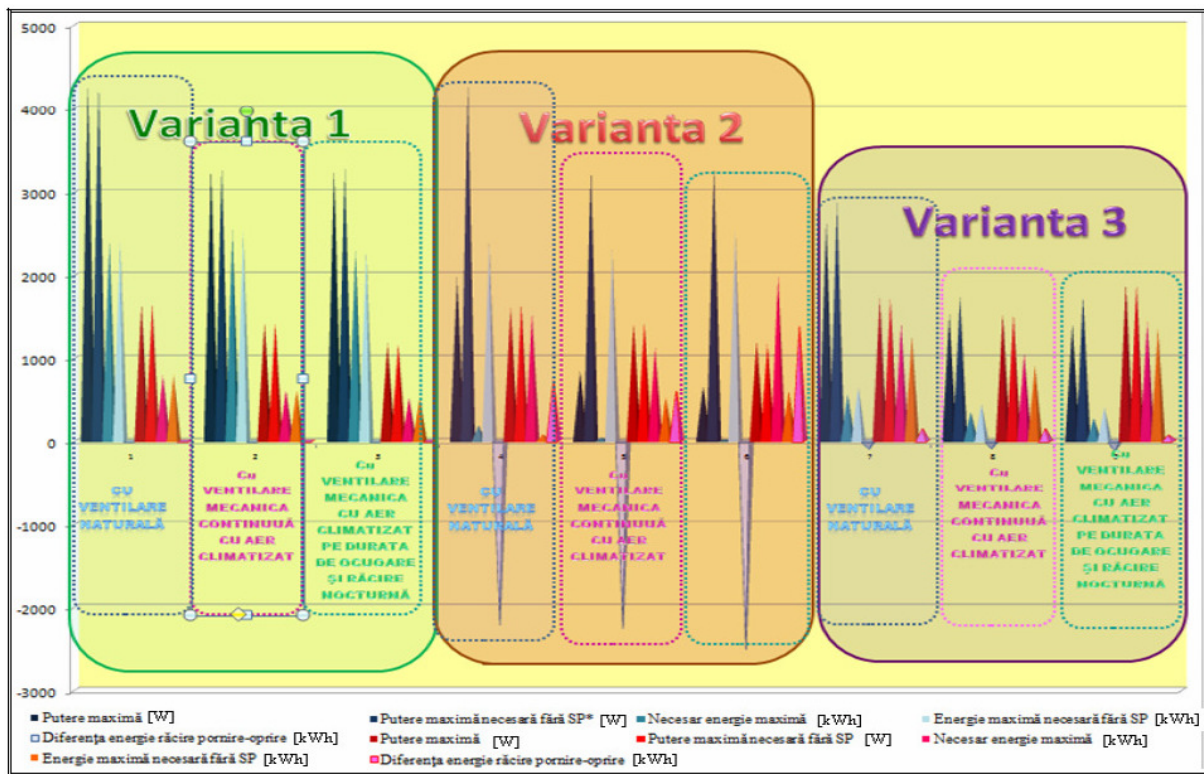


Figura 14. Graficul cu bilanșurile energetice, pe variante analizate.

C. Referitoare la influența diferitelor modalități de structurare a FDV asupra indicatorilor de confort (Figura 15.).

• Valorile indicatorului PMV variază în timp, în spațiu și în raport cu variantele analizate. Se constată că desi au fost respectate ipotezele de dimensionare recomandate, evoluția în timp și spațiu conduce la apariția unor zone și momente în care apar condiții de disconfort accentuat:

✓ zonele de disconfort sunt dependente de caracteristicile structurale și geometrice ale FDV și momentul din zi și din an; se regăsesc frecvent în planul pardoselii, pe peretele opus fațadei și în vecinătatea fațadei;

✓ valoarea indicatorului diferă în raport cu momentul din zi și din an la care a fost evaluat și respectiv soluția de alcătuire structurală și de exploatare.

✓ Varianta V2 se comportă cel mai bine sub acest aspect.

✓ Varianta V1 generează cele mai multe probleme legate de disconfort;

✓ Varianta V3, este deficitară din punct de vedere al indicatorilor de confort, în special pentru perioada de vară.

• Valorile obținute pentru indicatorul PPD, în planul de lucru, sunt corespunzătoare pentru clădiri de categoria a IIIa de ambianță termică, inferioară condițiilor pentru care s-au ales sistemele de instalații, pentru toate momentele din an analizate (dimineață și amiază, iarnă și vară);

Valorile obținute pentru temperatura operativă T_o , pun în evidență prezența unor zone cu temperaturi ușor mai scăzute în perioada de iarnă, în partea inferioară a incintei, pe peretele opus FDV și pe pereții laterali și relativ mai ridicate în raport cu limitele stabilite pe perioada de vară, în special la variantele V1 și V3.

O observație desprinsă din analiza indicatorilor de confort, constă în faptul că prevederile SR EN 15251 ar trebui revizuite, astfel încât să țină cont de comportamentul dinamic și de asemenea, să poată prevedea un interval mai larg de variație a parametrilor de temperatură pentru perioadele caniculare. Acest aspect este corelat și cu limitele de adaptabilitate ale organismului.

Pentru a analiza această propunere s-a simulat comportamentul clădirii în varianta V3 cu ventilare mecanică, cu aer climatizat pe perioada de ocupare și răcire naturală nocturnă și s-a constatat reducerea substanțială a duratei necesare de răcire (figura 16.).

6. Concluzii.

În urma analizei rezultatelor obținute prin simularea comportamentului clădirii de birouri, în ipotezele de alcătuire și exploatare precizate la punctul 5.1. se pot desprinde următoarele concluzii:

A. Referitoare la proprietățile de transmitanță energetică și solară, în regim dinamic:

- **Coefficientul de transmitanță U prin FDV** este influențat de:
 - √ structura FDV (număr geamuri, mod cuplare, gaze utilizate),
 - √ modalitățile de ventilare ale canalului;
- **Coefficientul global de de transmitanță „g” al FDV** este dependent de:

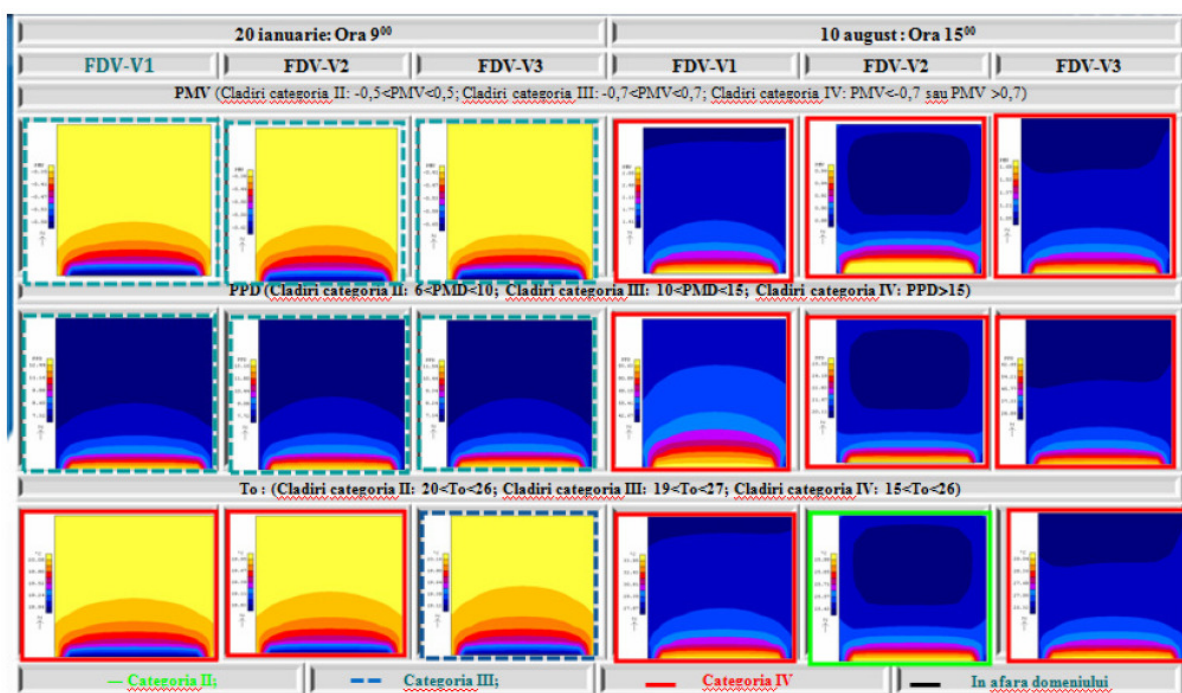


Figura 15. Valorile comparative ale indicatorilor de confort.

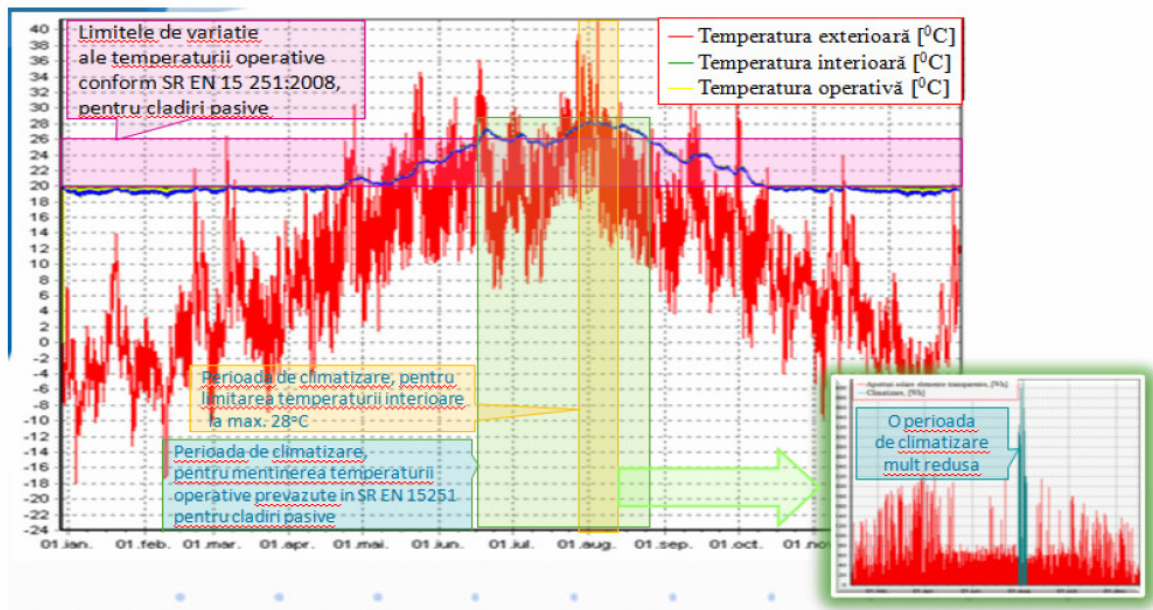


Figura 16.

- ✓ structura FDV (număr geamuri, mod cuplare, gaze utilizate);
- ✓ de caracteristicile vitrajului;

• **Caracteristicile/Proprietățile optice (de transmitanță energetică și luminoasă) ale ansamblului FDV**, respectiv transmitanța directă „T” și cea totală „g” a vitrajului și a sistemului sunt influențate de:

✓ *caracteristicile optice ale sticlelor utilizate la realizarea vitrajelor și modul de cuplaj: influența majoră asupra performanțelor de transmitanță o are caracteristicile vitrajelor și numărul de vitraje;*

✓ **variațiile parametrilor climatici pentru sticlele speciale** (termocromatice, fotocromatice, termotrope, electrocrome);

✓ strategiile de ventilare adoptate.

• **Soluțiile de protecție solară influențează în mod substanțial performanțele sistemului FDV, după cum urmează:**

✓ *Sistemele de protecție asociate au ca efect o modificare a factorului de transmitanță globală, cu mărimi diferite în raport cu poziția protecției, tipul și materialul acesteia.*

✓ *Sistemele de protecție structurală au ca efect o modificare a factorului de transmitanță globală, cu mărimi diferite în raport cu caracteristicile sticlei.*

✓ *Cuplajul sistemelor de protecție solară asociate cu cele cu protecție solară structurală se realizează numai pentru poziția de montaj exterioară.*

B. Referitoare la influența diferitelor modalități de structurare a FDV asupra bilanșurilor energetice ale incintei.

• *Bilanșurile energetice ale FDV sunt influențate substanțial de modalitățile de structurare a FDV.*

• *Introducerea protecțiilor solare controlate au ca efect diminuarea necesarului anual de energie;*

• *Modalitățile de structurare trebuie corelate cu mărimea și caracteristicile structurii opace și regimul de funcționare: pentru FDV cu protecție solară (în variantele de analiză și*

ipotezele considerate) se poate afirma faptul că aporturile solare prin suprafețele vitrate evoluează în timp în raport cu cerințele (sunt mai mari iarna și mai mici vara), în timp ce aporturile solare prin suprafețele opace sunt relativ mari vara, conducând la supraîncălzire; pentru clădirile cu un regim de funcționare diurn bilanțurile energetice sunt favorabile, comparativ cu clădirile cu regim de funcționare continuu;

- *Necesarul anual de energie pentru variantele analizate variază între 32,11 și 11,76 kWh/m² suprafață încălzită/răcită, an, cu valori relativ scăzute la ultimele două variante: deci clădirile cu FDV, cu regim de funcționare diurn, se pot încadra în categoria clădirilor pasive.*

- *Pentru FDV cu sticle speciale, active, pentru funcționare optimă din punct de vedere energetic, cu consumuri de energie și degajări de noxe minime în raport cu celelalte variante este importantă strategia de control a activării sticlei (găsirea raportului optim între perioada de funcționare în stare activată și cea în stare ne-activată, respectiv stabilirea cât mai corectă a pragurilor de activare/dezactivare.*

C. Referitoare la influența diferitelor variante de configurare și exploatare a FDV analizate asupra indicatorilor de confort.

Valorile indicatorilor de confort PMV, PPD T_o variază în timp, în spațiu și în raport cu variantele analizate și pun în evidență faptul că:

√ *zonele de disconfort sunt dependente de caracteristicile structurale și geometrice ale FDV și momentul din zi și din an la care a fost evaluat; se regăsesc frecvent în planul pardoselii și pe peretele opus fațadei;*

- **Valorile indicatorilor PMV și PPD, în planul de lucru,** sunt corespunzătoare pentru clădiri de categoria a III^a și a IV^a de ambianță termică, inferioară condițiilor pentru care s-au ales sistemele de instalații, pentru toate momentele din an analizate (dimineață și amiază, iarnă și vară);

- **Indicatori de disconfort** legați de temperatura operativă se înregistrează pentru durate de timp limitate și urmăresc perioadele caniculare în general, motiv pentru care, la clădirile cu FDV termo-active ar trebui revizuite valorile recomandate pentru indicatorii de confort, introducându-se cel puțin valori specifice pentru perioadele caniculare care să evite supradimensionarea echipamentelor de încălzire/ răcire/ climatizare și respectiv a funcționării la randamente scăzute în majoritatea perioadelor de exploatare.

Referințe

- [1] Baldinelli G., (2008) „Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system”, *Building and Environment* Vol. 1–12.
- [2] BBRI (Belgian Building Research Institute) (2002), *Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades*, Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgium
- [3] Gavan V. (2009) *Full-scale experimental evaluation and modelling of a double-skin facade. Optimal control of thermal and visual comfort*, teza de doctorat - INSA Lyon
- [4] Poirazis H. (2006), “Double skin facades - A Literature Review”. *Lund Institute of Technology*, Lund, Sweden, pp. 25-28.
- [5] *** http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Bok-EBD- R3-G5_alt_2_Harris.pdf;
- [6]*** www.Trnsys.com
- [7]*** www.empa.ch
- [7]*** www.Transolar.de
- [8]*** http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Publikationer/Bok-EBD- R3-G5_alt_2_Harris.pdf;