

SISTEME VITRATE DINAMICE PENTRU CLĂDIRILE NZEB

Partea a I-a. Analiză comparativă al celor mai uzuale tipuri de ferestre în raport cu ferestrele dinamice, integrate în clădiri din România

*Victoria COTOROBAI**,
*Iulia NEGARĂ***,
*Ioan-Cristian COTOROBAI****,
I.C. BRANCA

**Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi;*
***Universitatea Tehnică a Moldovei,*
****S.C. DAS Instalații, Iași*

Pentru a reliefa potențialul de reducere al consumurilor de energie, pe seama utilizării geamurilor dinamice, autorii au efectuat un studiu referitor la comportamentul dinamic al diferitelor sisteme vitrate (statice și dinamice). Studiul a fost realizat cu ajutorul software, METEONORM (pentru datele climatice, respectiv radiația solară spectrală), Window 7 (pentru utilizarea celor mai recente și complete modele de comportament), TRNSYS, pentru studiul comportamentului dinamic al impactului sistemelor dinamice, asupra mediului interior.

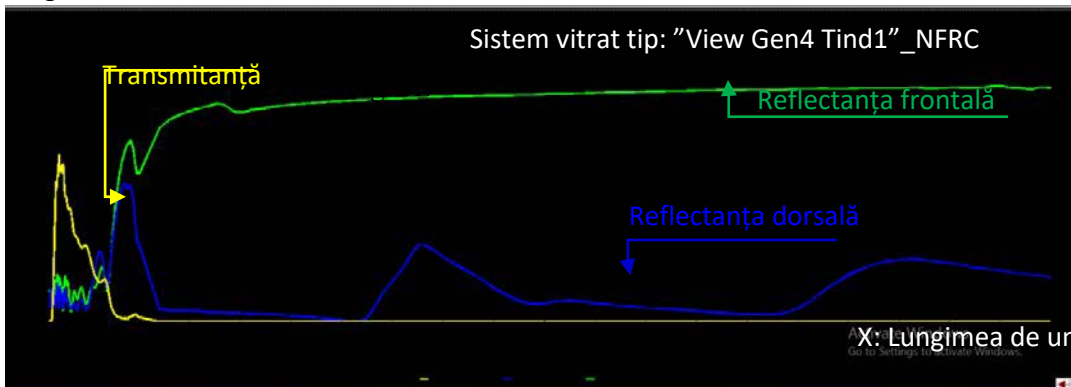


Fig. 18. Comportamentul sistemului electrocromic "View Gen4 Tind1) cu codul NFRC ID:4603", pe întreg domeniul spectral al radiației solare (transmitanță - galben; reflectanță verde; refractanță: albastru)

Tabelul 1. Variante de sisteme vitrate (statice & dinamice)

Var.	Denumirea	Structura (descrișă în Window 7.7)				U _g [W/m ² K]	SC	SHGC (g)	RHG	T _{viz}
		Strat	Nr. ID în BD*	Denumire	Gros. [mm]					
V1s	Geam dublu clar cu lamă de aer	Geam 1	102	Geam clar 3	3.0	2,73	0,877	0,763	576	0,814
		Cavitate 1	1	Aer 1	12.7					
		Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
V2s	Geam dublu clar cu lamă de gaz (5%)	Geam 1	102	Geam clar 3	3.0	2,735	0,878	0,764	575	0,814
		Cavitate 1	6	Aer	12.7					

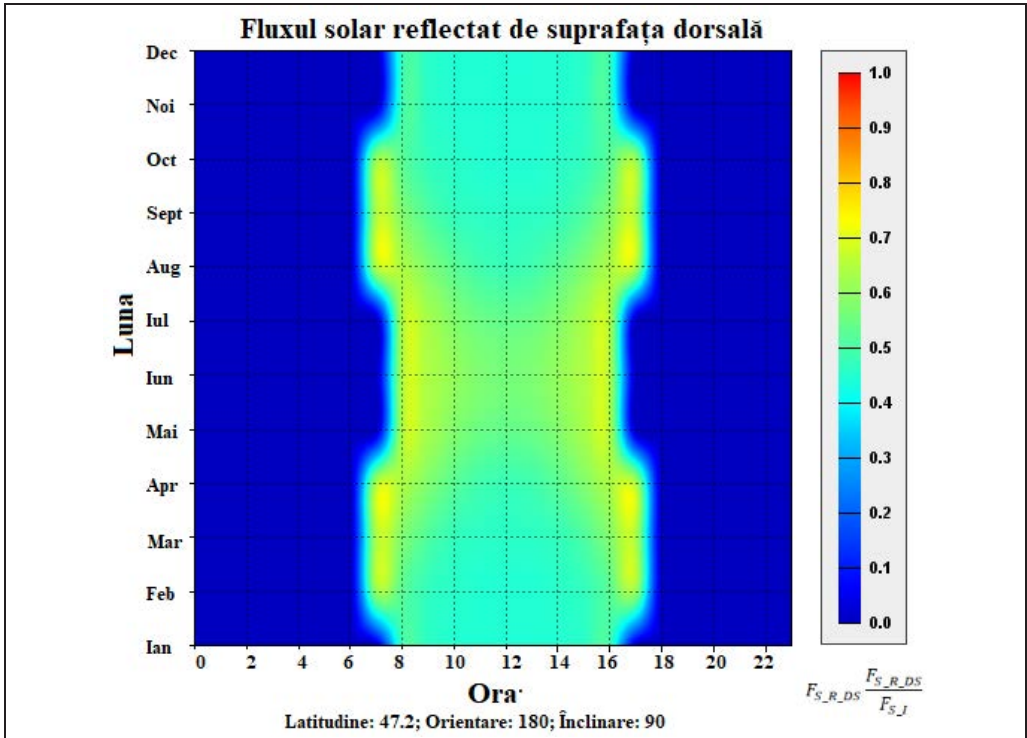
	aer + 95% argon)	Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
V3s	Geam triplu clar cu lame de aer	Geam 1	102	Geam clar 3	3.0	1,969	0,787	0,685	512	0,742
		Cavitate 1	1	Aer 1	12.7					
		Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer 1	12.7					
		Geam 3	102	Geam clar 3	3.0					
V4s	Geam triplu cu strat low-e exterior, 2 geamuri clare și lame de aer	Geam 1	2011	LoE272-3,CIG	3.0	1,264	0,439	0,382	287	0,650
		Cavitate 1	1	Aer 1	12.7					
		Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer 1	12.7					
		Geam 3	102	Geam clar 3	3.0					
V5s	Geam triplu cu 2 geamuri clare lame de aer și cu strat low-e interior	Geam 1	102	Geam clar 3	3.0	1,272	0,541	0,471	351	0,651
		Cavitate 1	1	Aer 1	12.7					
		Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
		Cavitate 2	1	Aer 1	12.7					
		Geam 3	2011	LoE272-3,CIG	3.0					
V6D	Geam triplu cu un strat thermocromic exterior, 1-24, două geamuri clare și 2 lame de aer	Geam 1	30010	Thermocromic1-	7.0	1,0509	0,196	0,171	136	0,016
		Cavitate 1	9	Aer	12.7					
		Geam 2	102	Geam clar 3	3.0					
		Cavitate 2	9	Aer	12.7					
		Geam 3	102	Geam clar 3	3.0					
V7D	Geam triplu cu 1 geamelctrocrom, 2 geamuri clare și lame de aer strat	Geam 1	102	Geam clar 3	3.0	1.889	0.640	0.557	419	0.632
		Cavitate 1	1	Aer 1	12.7					
		Geam 2	4603	Geam "View	5.8					
		Cavitate 2	1	Aer 1	12.7					
		Geam 3	102	Geam clar 3	3.0					

Fiecărui sistem vitrat i s-au asociat funcțiile de comportament al sistemului vitrat respectiv la impactul cu radiația incidentă (respectiv s-au determinat transmițanță, absorbantă, reflectanță), pe întreg spectrul radiației solare (Fig. 18), obținute din Baza de date realizată de LBLN, exploatată cu ajutorul software WINDOW 7, Optics și THERM.

S-au studiat mai multe variante de structurare/configurare a sistemelor vitrate, dintre care, pentru prezenta lucrare am reținut variante clasice statice de sisteme vitrate și sisteme dinamice pasive/active (Tabelul 1). Analiza s-a realizat în următoarele ipoteze: localitate: Iași; Orientare Sud; simularea comportamentului s-a realizat pentru un sistem vitrat similar dimensional.

Grafurile sunt reprezentate în sistemul de coordonate: a. ordonată: variația anuală (cu pas de timp luna) a fluxului luminos/solar *normat* (în raport cu fluxul incident) transmis/reflectat, prin fața frontală/dorsală; b. abscisă: timpul (Fig. 19.).

Pentru fiecare sistem vitrat se obțin opt grafuri: 1. Flux luminos *normat* transmis prin fața frontală; 2. Flux luminos *normat* reflectat de fața frontală; 3. Flux solar *normat* transmis prin fața frontală; 4. Flux solar *normat* reflectat de fața frontală; 5. Flux luminos *normat* transmis prin fața dorsală; 6. Flux luminos *normat* reflectat de fața dorsală; 7. Flux solar *normat* transmis prin fața dorsală; 8. Flux solar *normat* reflectat de fața dorsală. Fluxurile transmise/reflectate variază pe parcursul zilei, și a anului. Reprezentarea din figură este pentru sistemul vitrat "Geam triplu cu lame de aer în cavitați, cu un strat thermocromic 2-24 la exterior, un geam clar la mijloc și un geam low-e spre interiorul clădirii".



1. Axa verticală: luni; Axa orizontală: ore

Se obțin 8 grafuri independente pentru fluxurile luminoase/solare, transmise/reflectate, pe suprafața frontală/dorsală

2. Variația zilnică & lunară a fluxului luminos transmis prin suprafața frontală (normat)/ $FL_{t^{FS}}$

3. Variația zilnică& lunară a fluxului luminos reflectat de suprafața frontală (normat)/ $FL_{r^{FS}}$

4. Variația zilnică& lunară a fluxului solar transmis prin suprafața frontală (normat)/ $FS_{t^{FS}}$

5. Variația zilnică& lunară a fluxului solar t reflectat de suprafața frontală (normat) / $FS_{r^{FS}}$

6. Variația zilnică & lunară a fluxului luminos transmis prin suprafața dorsală (normat)/ $FL_{t^{DS}}$

7. Variația zilnică& lunară a fluxului luminos reflectat de suprafața dorsală (normat)/ $FL_{r^{DS}}$

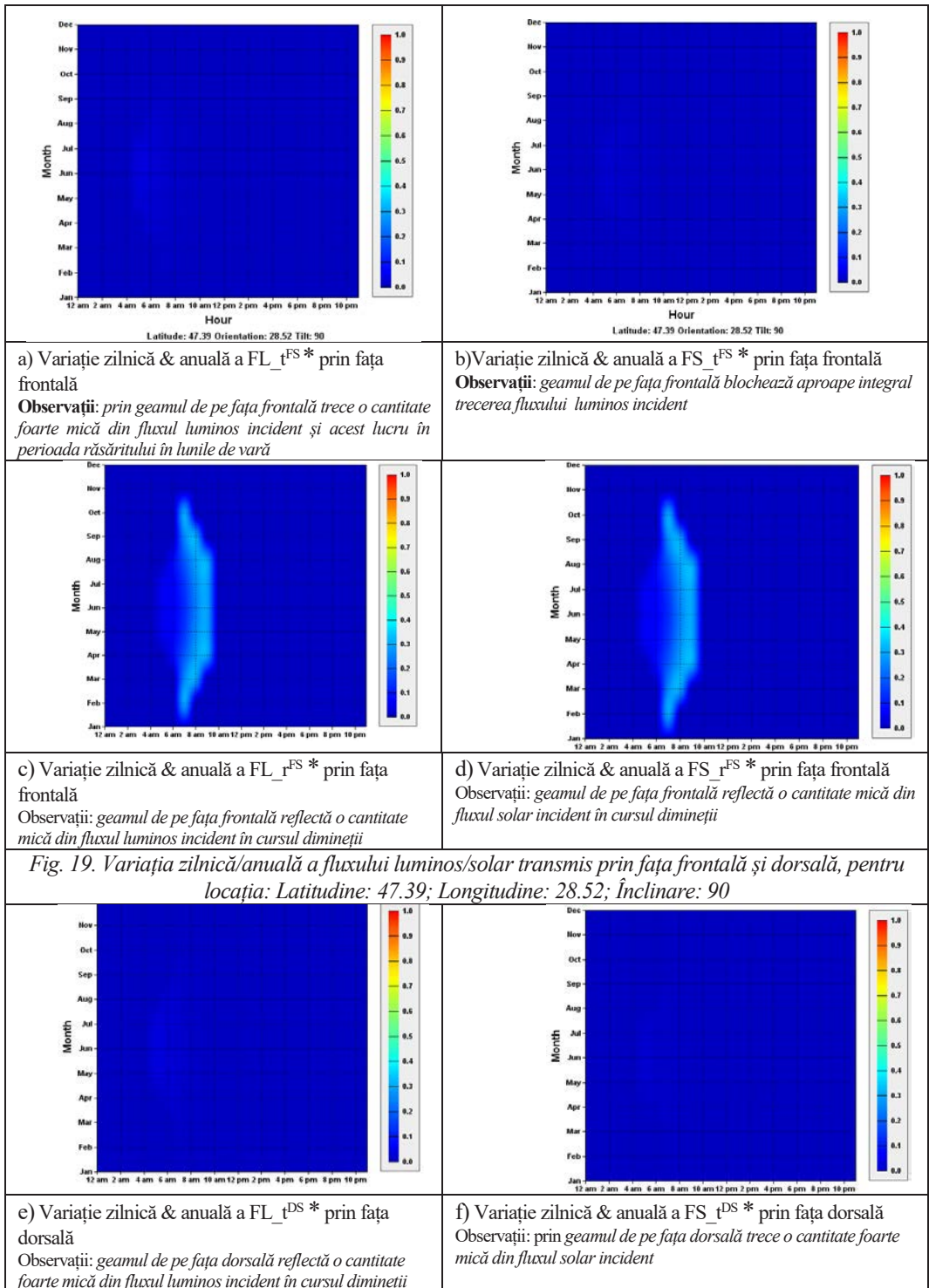
8. Variația zilnică& lunară a fluxului solar transmis prin suprafața dorsală (normat)/ $FS_{t^{DS}}$

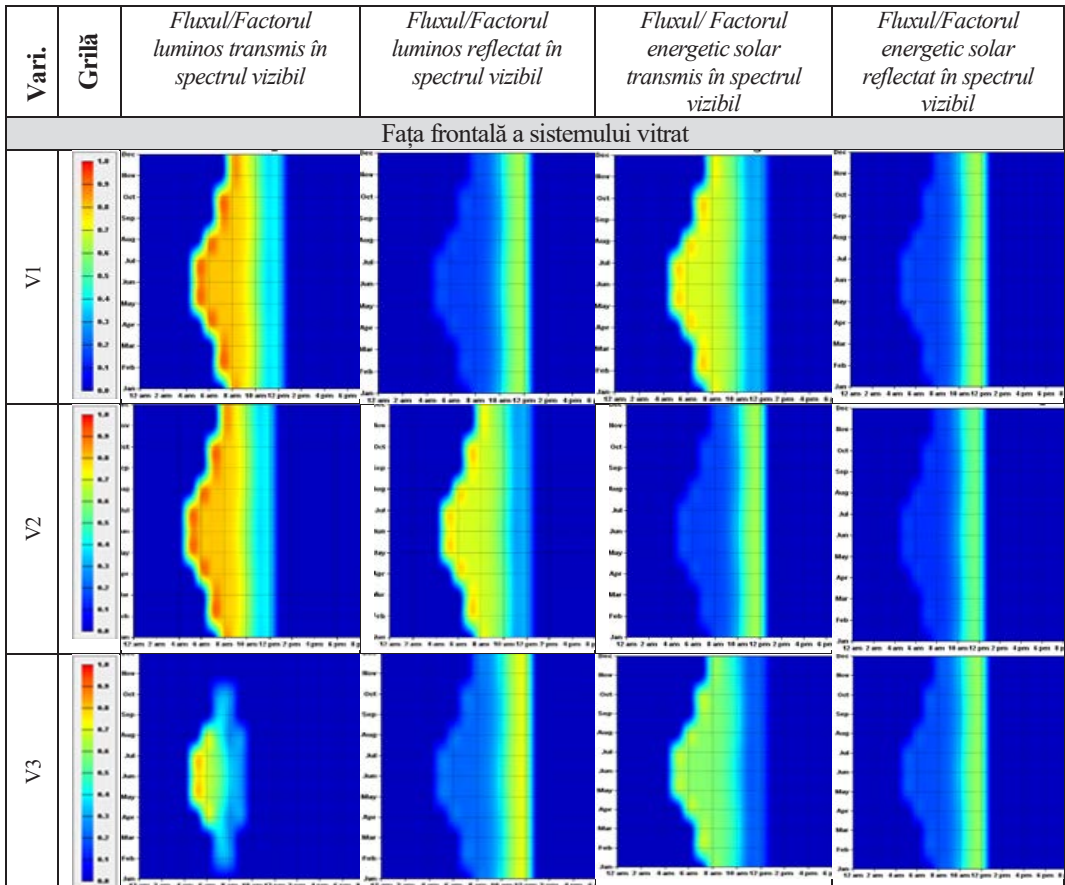
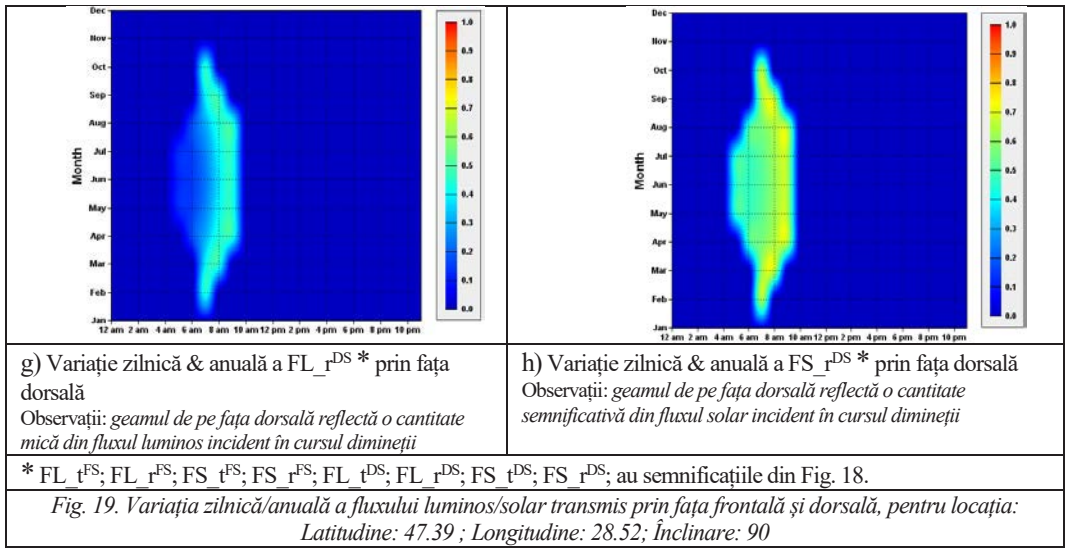
9. **Variația zilnică& lunară a fluxului solar t reflectat de suprafața dorsală (normat)/ $F_{S_R_DS}$**

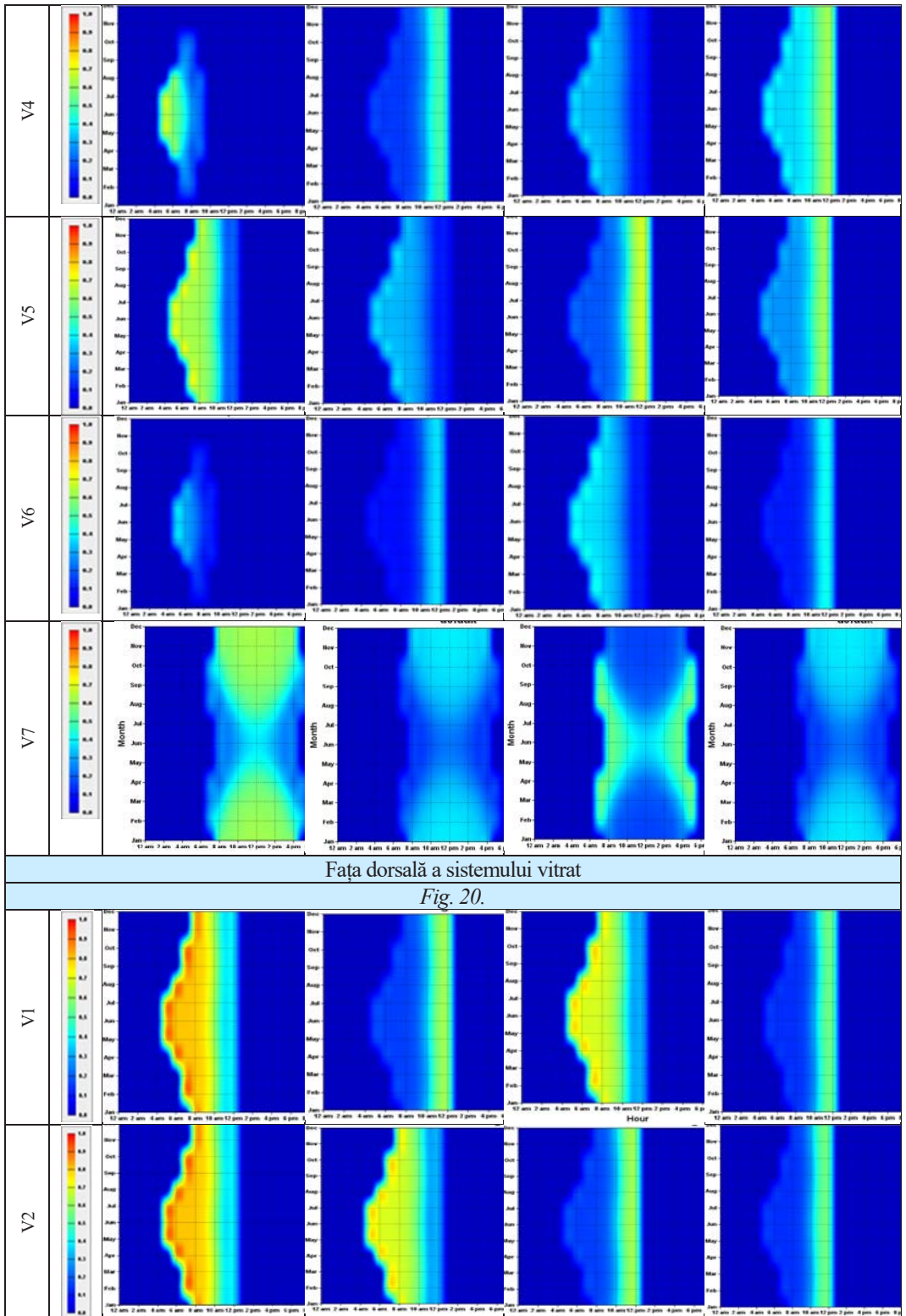
Normarea se obține prin raportarea la fluxul solar incident cu relația: $F_{S_R_DS}/F_{S_I}$, unde, F_{S_I} , Fux solar incident

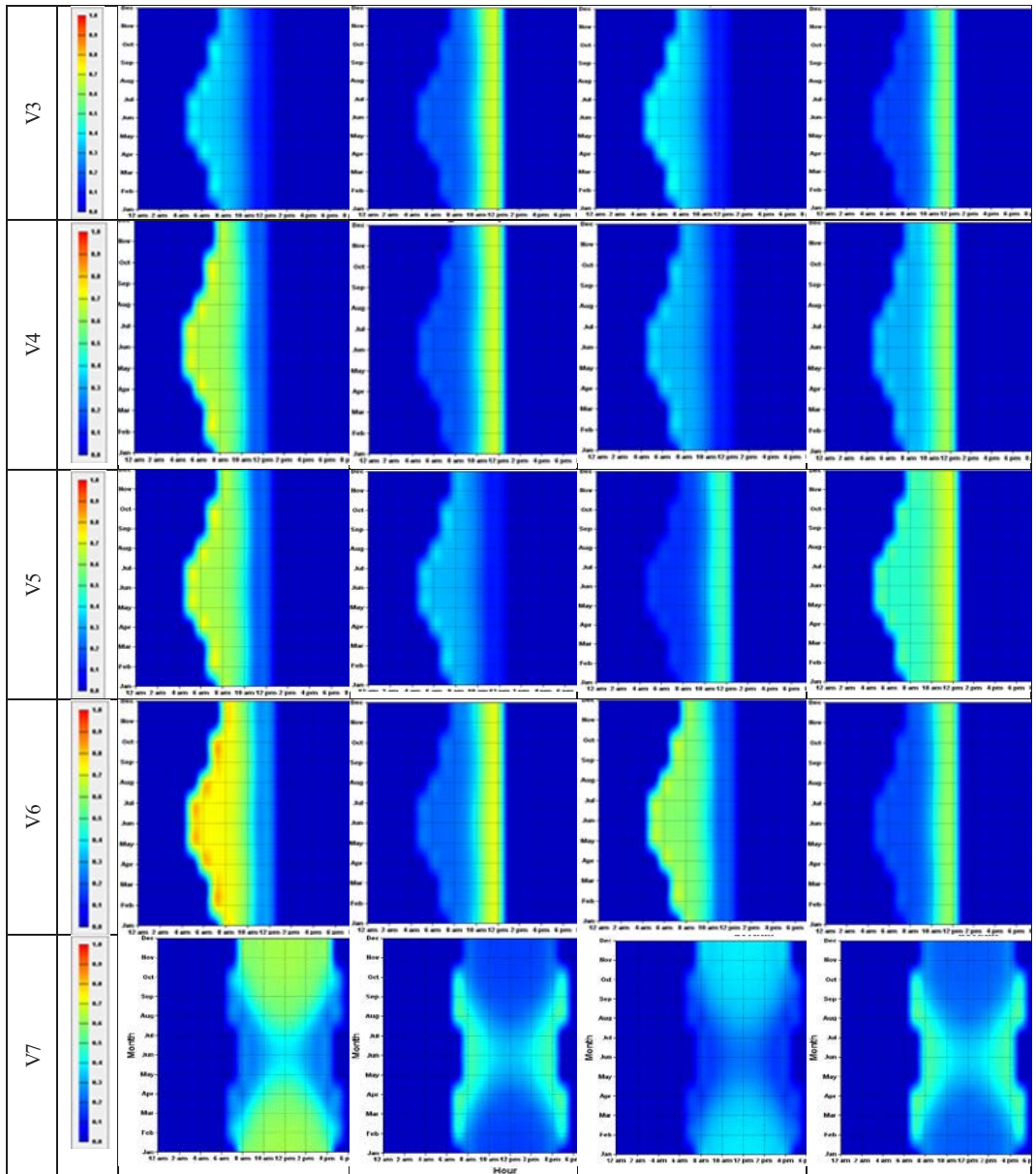
Fig. 20. Variația zilnică/lunară a fluxului luminos/solar transmis/reflectat prin suprafața frontală/dorsală (normat)

Rezultatele simulărilor comportamentului sistemului vitrat la impactul cu radiația solară sunt prezentate în Tab. 2. Grafurile reprezentate în tabel permit, o analiză calitativă, similară cu cea realizată anterior (Fig. 20).









Notă. Pentru legendă și axe vă rugăm să revedeți Fig. 18.

Fig. 20.Reprezentarea grafică a factorilor de transmisie și reflecție luminoasă și energetică în spectrul vizibil

Se pot observa următoarele:

- Introducerea unor amestecuri de gaze (aer plus gaze — argon, cripton, xenon) în cavitatea dintre geamuri determină o creștere a radiației reflectate în spectrul vizibil ($V1_s$, $V2_s$) și o reducere a Fluxului energetic solar transmis în spectrul vizibil și Fluxul energetic solar reflectat în spectrul vizibil pe fața frontală;
- Comportamentul diferit al sistemului vitrat cu un geam low-e amplasat la interior sau

- la exterior de-a lungul anului (V_4 , V_5): sistemul vitrat cu geam low-e exterior devine o capcană solară pe perioada estivală; fluxul luminos reflectat în spectrul vizibil este redus prin fața frontală (V_4) și cel energetic transmis/reflectat este mai mare (V_5);*
- *Un comportament relativ favorabil se constată în cazul utilizării sistemului cu geam termocrom;*
 - *La sistemul vitrat cu geam termocromic se observă reducerea fluxului luminos și energetic transmis în perioada prânzului (orele 10-14) și perioadei estivale (mai- iulie) când radiația incidentă este maximă;*
 - *Sistemele dinamice (electrocromice, termocromice), ale căror caracteristici variază în raport cu parametrii climatici ai mediului înconjurător (radiația solară directă/difuză, unghiul de incidență solară, temperatura mediului exterior/interior) nu alterează climatul vizual interior de-a lungul anului, comparativ cu sistemele clasice, statice;*
 - *Un studiu al autorilor, nereprodus în lucrare a evidențiat un comportament optim al sistemelor vitrate care includ un geam heliotrope (gem care îmbină performanțele geamurilor electrocrome cu cele ale geamurilor termocrome) la exterior. Acest sistem va fi probabil unul din sistemele viitorului.*

Pentru analiza calitativă se poate utiliza software THERM sau TRNSYS care oferă valorile numerice pentru grafurile prezentate în Fig. 20 și pot oferi și bilanțurile energetice pe încăperea deservită. În TRNSYS se obțin și indicatorii de confort (termic și vizual) care pot reliefa performanțele în regim dinamic.

Concluzii.

Sistemele dinamice permit:

- *Menținerea confortului vizual în interiorul clădirii;*
- *Reducerea consumurilor de energie ale clădirilor nZEB echipate cu astfel de sisteme amplasate pe fațadele sud cu peste 40% în raport cu sistemele statice.*
- *Alegerea convenabilă a mărimii, structurii și orientării sistemelor vitrate poate conduce la reducerea consumului de energie anual al clădirii cu un procent de cca. 20-50% din consumul clădirii nZEB.*
- *Intrarea în regim de fabricație de serie a sistemelor vitrate heliotrope crește procentul de reducere al consumurilor cu până la 60%, la costuri inferioare sistemelor vitrate clasice și mențin și confortul vizual.*
- *În lucrare s-a analizat numai impactul radiației solare asupra sistemului vitrat urmând ca într-o lucrare viitoare să se prezinte și impactul sistemelor de umbrire asociate/integrate și impactul tâmplăriei asupra performanțelor energetice globale ale clădiri. Pentru ultima problemă s-a utilizat software TRNSYS.*

Abrevieri	
nZBE	Clădire cu bilanț energetic anual "aproape de zero"
SHGC	Coeficient de creștere a căldurii solare
VLT	transmitanța luminii vizibile
low-e	Geam/Strat cu emisivitate redusă
VT_g	Transmitanța vizibilă
U	Coeficientul de transmitanță termică
U_g	Transmitanța termică a sistemului de geamuri
T_{solg}	Transmitanța solară

$SHGC_g=VT_g$	Coeficientului de aporturi solare (câștig al căldurii solare)/ factorul de transmisie totală a
CR	Rezistența la condensare
UV	Transmitanța
SC	Coeficienții de umbrire a ferestrei
TE	Factorii energetici de transmisie
AE	Factorii energetici de absorbție
RE	Factorii energetici de refracție
LBLN	Lawrence Berkeley National Laboratory, Laboratorul Departamentului de Energiei (DOE) al
PVC	Policlorură De Vinil
FDV	Ferestre Dublu Vitrate
TCW	Ferestre termocrome
PVB	Polivinil butiral
IGU	Sticlă izolantă
IGDB	Baza de date internațională pentru geamuri
EC/ECW	Fereastra electrocromică/ Electrochromic window
GC	Ferestre gasocromice
Faza nematică	Una dintre cele mai comune faze a cristalelor lichide
Dispozitiv LC	Dispozitiv cu cristale lichide
PDLC	Dispozitiv cu polimer dispersat cu cristale lichide
UV	Radiație ultravioletă
sf	Picior pătrat; 1 square foot = 0.09290304 m ²

Referințe bibliografice

- 1 Alessandro, Ubaldo A. , F. Fiorito, and F. Martellotta, *Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort*, Energy, mars, 2020
- 2 ALDAWOU, A. *Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing. Energy and Buildings*, 59, pp. 104-110.
- 3 ATANASIU B., *Implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB) în România – Definiție și foaie de parcurs; Institutul European pentru Performanța Energetică a Clădirilor (BPIE),2012*
- 4 Cannavale, A., Ayra, U., & Martellotta, F. (2018). *Innovative electrochromic devices: Energy savings and visual comfort effects*, Energy Procedia, 148, pp. 900-907.
- 5 Casini, M., *Active dynamic windows for buildings: A review. Renewable Energy*, 2018, 119, pp. 923-934.
- 6 Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L., *Thermal and visual performance of real and theoretical thermochromic glazing solutions for office buildings. Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp. 110-120.
- 7 COTOROBAI Victoria și colaboratorii ”Sisteme de valorificare a resurselor energetice regenerabile și recuperabile”, Vol I și II, Editura MATRIX-ROM, București, 2019
- 8 Favoino, F., Loonen, R., Doya, M., Goia, F., Bedon, C., & Babich, F., *Building Performance Simulation and Characterization of Adaptive Facades - Adaptive Facade Network*, 2018, Delft: TU Delft
- 9 Feng, W., Zou, L., Gao, G., Wu, G., Shen, J., & Li, W., *Gasochromic smart window: optical and thermal properties, energy simulation and feasibility analysis. Solar Energy Materials and Solar Cells*, 144, 2016,
- 10 Fries, K., Fink-Straube, C., Menning, M., & Schmidt, H. (2011). *Photochromic coatings. In Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users* (pp. 251-259). Springer, Boston, MA.
- 11 G.Z. Brown, *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies*, Available from LBNL
- 12 Gardiner, D., Morris, S., & Coles, H., *High efficiency multistable switchable glazing using smectic A liquid crystals. Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, 2009, pp. 301-306.
- 13 Gehbauer, Christoph, David Blum, Taoning Wang, and Eleanor S Lee. "An assessment of the load modifying potential of model predictive controlled dynamic facades within the California context." *Energy and Buildings* 210 (2020) 109762.
- 14 Lee, Eleanor S, L. L Fernandes, T. Wang, S., E Selkowitz, S. Mesh, Y. Frank, și R.. *Demonstration of Energy Efficient Retrofits for Lighting and Daylighting in New York City Office Buildings*. 2017.
- 15 J. Carmody, S. Selkowitz, E. Lee, D. Arasteh, and T. Willmert, *Window Systems for High-performance Buildings*, 2004

- 16 Oltean, M., *Switchable Glass: A possible medium for Evolvable Hardware*. (pp. 1-8). Cluj-Napoca: Babe-Bolyai University, 2006
- 17 S., Iavarone, R., Mastantuano, S., Mantova, M., & D'Ausilio, L. (2018). *Adaptive and dynamic façade: a new challenge for the built environment*.
- 18 Seung-Won, O., Sang-Hyeok, K., Jong-Min, B., & Tae-Hoon, Y. (2018). *Optical and Thermal Switching of Liquid Crystals for Self-Shading Windows*. *Advanced Sustainable Systems*, pp. 1-6.
- 19 Sibilio, S., Iavarone, R., Mastantuano, S., Mantova, M., & D'Ausilio, L., *Adaptive and dynamic façade: a new challenge for the built environment*. World Heritage and Knowledge. XVI International forum Vie dei Mercanti, (pp. 1-13). Capri, 2018
- 20 Tällberg, R., Petter Jelle, B., Loonen, R., Gao, T., & Handy, M., *Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state-of-art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic technologies*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (200), 2019
- 21 Wittwer, V., Datz, M., Ell, J., Georg, A., Graf, W., & Walze, G. (2004). Gasochromic windows. *Solar Energy Materials & Solar Cells* (84), pp. 305-314.
- 22 Worldwide Energy Efficiency Technology Roadmap project
- 23 Schenk, O., Gärtner, K., Fichtner, W., Stricker, A., PARDISO: un rezolvator liniar rar și paralel de înaltă performanță în simularea dispozitivelor semiconductoare

STANDARDE

- 24 ASHRAE standard 140-2017 - standard method of test for evaluation of building energy analysis programs
- 25 EN 410
- 26 EN 673
- 27 EN 12898
- 28 ISO / EN 10077
- 29 ISO 15099
- 30 BS EN 410, 'Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing'
- 31 BS EN 673, 'Glass in building. Determination of thermal transmittance (U value). Calculation method'
- 32 BS EN 12898, 'Glass in building. Determination of the emissivity';
- 33 ISO 9050:2003, 'Glass in building. Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors'.
- 34 BS ISO 13837:2008, 'Road vehicles. Safety glazing materials. Method for the determination of solar transmittance.'
- 35 BS EN 1279-3:2002, 'Glass in building. Insulating glass units. Long term test method and requirements for gas leakage rate and for gas concentration tolerances'.

SOFTWARE

- 36 Software: METEONORM
- 37 Software: TRNSYS
- 38 Software: WINDOW
- 39 Software: COMSOL
- 40 Software: OPTICS
- 41 Software: DOE
- 42 IGDB- International Glazing Database
- 43 CGDB - "Complex glazing systems" Database
- 44 Software: RADIANCE

Site-uri WEB

- 46 <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/refr.html#c1>
- 47 <https://www.google.com/search?q=suntuitive+interlayer&safe=active&sxsrf=ALeKk01N-3G-xciP>
- 48 <https://suntuitiveglass.com/about-pleotint/>
- 49 <https://windows.lbl.gov/electrochromic-and-thermochromic>
- 50 www.sageglase.com