

Măsurarea permeabilității la aer a unei clădiri individuale cu arhitectură modernă

Airtightness measurement for a modern architecture individual house

Răzvan Mihai VIZITEU, Vlad IORDACHE

Research Center CAMBI, Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania

Rezumat

De-a lungul timpului au fost realizate foarte multe studii experimentale de permeabilitate la aer a cladirilor peste tot in lume (Statele Unite ale Americii, Franta, Grecia, Finlanda, Spania, Italia, Australia, Canada) in scopul pe de o parte al determinarii valorii permeabilitatii la aer a cladirilor respective si pe de alta parte al ierarhizarii cladirilor la infiltratiile de aer exterior. In contextul actual general, observam dezvoltarea de noi tipologi de cladiri (eficiente energetic, pasive energetic, active energetic, ecologice, verzi, AAA, Bream, LEAD, cu terase verzi, cu fatade verzi sau cu sere incluse in cladire). Aceste tipuri de cladiri au caracteristici specifice (instalatii de ventilare cu recirculare a aerului, schimb de aer intre sera si interior, si altele) iar metoda clasica de determinare a permeabilitatii la aer s-ar putea sa nu fie aplicabila pentru orice tipologie de cladire. In acest studiu vom analiza experimental aplicabilitatea unor masurari experimentale clasice de permeabilitate al aer (metoda suprapresiunii) pentru o cladire cu spatiu solar interior cladirii.

Cuvinte cheie: permeabilitate la aer a clădirii ; măsurări experimentale ; casă din structură lemn

Abstract

Building air permeability is a very important parameter due to its high influence on both the HVAC design and studies on indoor acoustic comfort or indoor environment quality. Many experimental studies were performed worldwide (USA, France, Greece, Finland, Spain, Italy, Australia, Canada) in order on one hand to determine the building air permeability and on the other hand to classify buildings with respect to their façade air infiltration. Nowadays, many new typologies of buildings are developed (energy-efficient buildings, passive and active energy buildings, ecological buildings, green buildings, AAA, BREEAM, LEAD buildings, with green terraces, green facades or with greenhouses included). These types of buildings have specific characteristics (ventilation installations with air recirculation, air exchange between greenhouse and indoor, and others) and consequently, the classical method of determining air permeability might not be applicable for these new building typologies. In this experimental study we will analyze the applicability of the classic air permeability experimental measurements (pressurization method) for a building with greenhouse included inside the building.

Keywords: Building air permeability; experimental measurements; wood structure house

1. Introducere

Determinarea infiltrațiilor de aer la fațada clădirii este o componentă a evaluării calitative energetice a clădirilor influențând semnificativ clasa energetică a clădirilor, calitatea mediului interior.

În prezent, determinarea permeabilității la aer a fațadelor se realizează, în mod uzual, prin metoda gazului trasor sau prin metoda suprapresiunii (metoda ușii false) [1]. Aceste metode sunt însă costisitoare și necesită pentru a putea fi puse în operă o serie de condiții climatice și de operare. În literatura de specialitate au fost și tentative de a estima permeabilitatea la aer a clădirilor, însă se observă diferențe notabile între aceste estimări, de unde rezultă și gradul de nesiguranță al acestor cercetări [2].

S-au evidențiat aspecte de localizare a infiltrațiilor sau de reabilitare a acestora. Van Den Bossche și alții (2012) au studiat, pentru structurile din cărămidă, diferite variante de montaj pentru interfața fereastră-fațadă astfel încât infiltrațiile de aer prin fațadă să fie minime [3]. Park și Kim (2015) au studiat reabilitarea din punct de vedere acustic și al permeabilității la aer a ferestrelor vechi, cu ajutorul unor structuri rezistente la infiltrații de aer, montate pe structura ferestrei; se prezintă o modalitate de reabilitare a ferestrelor [4]. Relander și alții (2012) au descoperit, pentru clădirile norvegiene, o corelație între rata orară de schimburi de aer înainte de finalizarea construcției (după montarea barierei anti-vânt) și rata orară de schimburi de aer după definitivarea construcției și montarea barierei de vapori [2]. Okuyama și Onishi (2012) propun o îmbunătățire a măsurărilor de permeabilitate prin intermediul unei mai bune estimări a parametrilor și a unei evaluări corecte a nivelului de încredere, utilizând elemente de statistică matematică [5].

Campanii laborioase de măsurări de permeabilitate la aer a clădirilor au fost realizate în mai multe țări: Statele Unite ale Americii [6], Grecia [7], Finlanda [8], Spania [9], Franța [10], Italia [11], Australia [12], Canada [13]. În general aceste măsurări au fost realizate preponderent pentru clădiri individuale [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. În Canada, măsurările de permeabilitate au fost făcute și pentru clădiri de birouri [13].

În contextul actual de dezvoltare, apar clădiri cu arhitectură modernă. Aceste clădiri moderne, cu arhitectură inovantă, reprezintă o provocare în contextul măsurărilor de permeabilitate, iar gradul de aplicabilitate sau modul de adaptare a măsurărilor de permeabilitate la aer pentru o astfel de clădire modernă nu a fost estimat. În acest studiu analizăm aplicabilitatea măsurărilor de permeabilitate pentru o astfel de clădire cu arhitectură modernă, cu spațiu solar integrat în clădire.

În plus, datorită faptului că în România domeniul „permeabilitatea la aer a clădirilor” se află pentru moment la început de explorare, dorim în primul rând să punem în evidență elementele esențiale de realizare a protocolului experimental și de adaptare a acestuia pentru acest tip de clădiri. În al doilea rând, dorim să realizăm o ierarhizare a clădirii în raport cu alte tipuri de clădiri cunoscute, din punct de vedere al permeabilității fațadelor.

În acest articol vom prezenta clădirea analizată, împreună cu instalația de ventilare, studiul experimental, rezultatele și analiza acestora.

2. Măsurări experimentale de permeabilitate la aer a clădirilor

2.1. Clădirea analizată

Clădirea studiată face parte din zona eoliană 2 și zona climatică 2, fiind amplasată în București și având un regim de înălțime P+1E [14]. Este o clădire individuală de locuințe, construită în anul 2015, cu o arhitectură modernă, cu spațiu de seră interior clădirii, având sistem modern de instalații, ce permite recuperare de energie (Fig. 1).

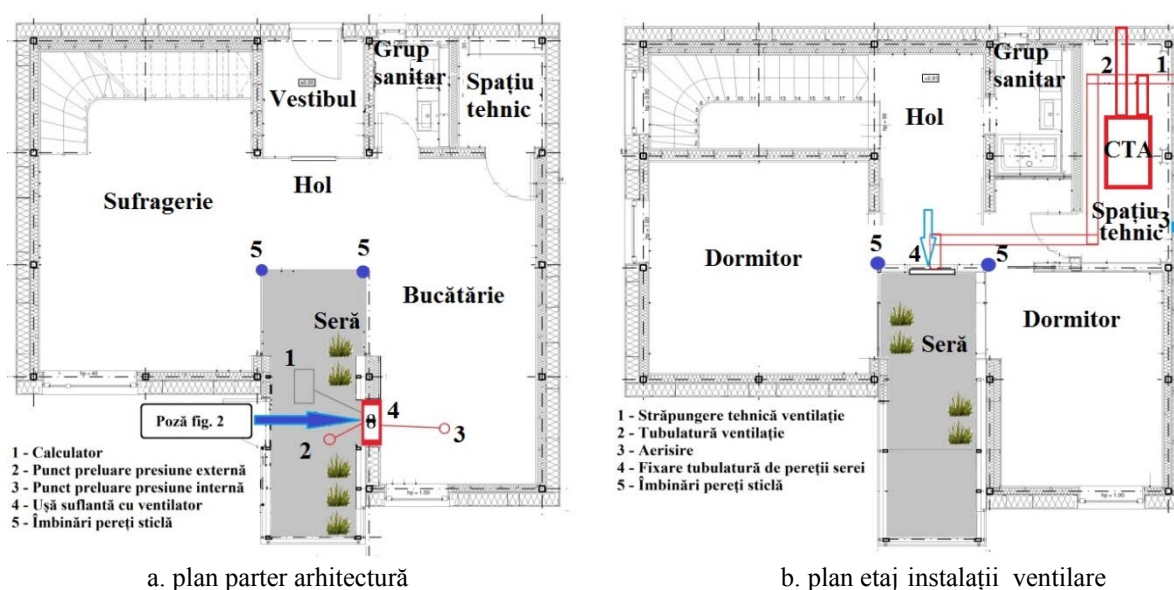


Fig. 1 Plan clădire studiată

Din punct de vedere dimensional, clădirea este caracterizată de o lungime de 10,7 m, lățimea de 10,31 m și de un volum de 290 m³. Structura clădirii este metalică, iar pereții sunt din lemn, având strat de izolație din vată minerală și fiind placați cu rigips la interior. Tâmplăria este nouă, rama fiind din material PVC, iar partea transparentă fiind de tip triplu vitraj. Încălzirea și răcirea se face prin panouri radiante (tuburi cu agent termic, plasate în pereții interiori). Recuperarea căldurii se realizează prin sistemul de ventilație plasat în bucătărie. Prepararea apei calde menajere se realizează în principal prin sistemul de panouri solare sau alternativ se poate folosi o pompa de căldură aer-apă.

Clădirea dispune de o seră (marcată cu culoare gri în Fig. 1), care se întinde pe toată înălțimea clădirii și are efect atât estetic, cât și în climatizarea locuinței. Clădirea dispune de două spații tehnice montate suprapus la parter și la etaj (Fig. 1). În spațiul tehnic de la etaj există o aerisire specială, iar spațiul aferent serei este împrejmuit de

pereti de sticlă. Clădirea se găsește într-un stadiu nefinalizat; întrucât mai sunt necesare lucrări de finisare pentru anvelopa clădirii.

Pentru această clădire s-au efectuat măsurări de permeabilitate la aer, folosind sistemul *Ușă Suflantă*.

2.2. Stand măsurări permeabilitate

Sistemul *Ușă Suflantă* se compune din: cadrul de aluminiu reglabil, panoul de nylon al ușii suflante, ventilatorul ușii suflante, dublu micromanometru diferențial (pentru măsurarea diferenței de presiune interior-exterior și debitului de aer introdus de ventilator), variator de tensiune pentru varierea debitului ventilatorului, precum și alte accesorii (tuburi de silicon, inele de obturare a secțiunii ventilatorului, cabluri transmisie date, software Tectite) (Fig. 2). Software-ul TECTITE (sub sistemul de operare Windows) este destinat conducerii campaniei experimentale și prelucrării inițiale rezultatelor experimentale. De obicei, pentru măsurarea permeabilității la aer a unei clădiri, acest sistem *Ușă Suflantă* se montează în cadrul fix al ușii de intrare în clădire, iar prin intermediul ventilatorului clădirea este pusă forțat în suprapresiune sau în depresiune față de exterior. În mod uzual, măsurările de permeabilitate la aer se realizează la diferența de presiune de 50 Pa și se admite o deviație standard a presiunii de maxim 2 Pa [1].



Fig. 2 Stand experimental ușă suflantă

2.3. Protocol experimental

În vederea determinărilor experimentale de permeabilitate a fost necesară pregătirea clădirii [1]: au fost închise toate ferestrele, ușile exterioare, au fost sigilate toate

orificiile tehnice ale sistemului de ventilare, au fost închise toate aparatele de combustie (mașina de gătit), centrala termică, precum și toate ventilatoarele de aspirație și exhaustoarele de aer.

Măsurările de permeabilitate au fost realizate pentru spațiul interior încălzit (zona albă din Fig 1), fără spațiul solar (zona gri din Fig. 1). Măsurările au fost realizate în luna februarie, an 2016. În timpul campaniei experimentale, temperatura exterioară a fost de 14° C, iar cea interioară de 24°C. La momentul măsurărilor, clădirea era deja dată în exploatare.

Sistemul *Ușă Suflantă* a fost instalat în cadrul ușii de acces din seră către bucătărie (reprezentat cu roșu în Fig. 1). Punctele de măsură pentru presiune au fost fixate, atât la interior, cât și la exterior, la înălțimea de 0.85 m. La interior, punctul de măsură a fost fixat pe masa din bucătărie, iar la exterior, în vederea protejării față de acțiunea vântului, a fost în seră, fixat pe mânerul ușii reale care era deschisă la momentul când standul experimental era instalat în cadrul ușii.

Pentru a realiza varierea debitului de aer ce traversează ventilatorul pe un domeniu larg (1000 m³/h ÷ 7000 m³/h), a fost necesară schimbarea inelelor de obturare a secțiunii de trecere a aerului prin ventilator.

Orientarea ventilatorului a fost de asemenea schimbată, pentru a realiza cazurile de:

a) Suprapresiune :

Măsurarea în suprapresiune se face cu fața ventilatorului orientată spre exterior, crescându-se presiunea în interiorul clădirii. Având în vedere că procesul este dinamic, se desfășoară în timp, este necesar ca rezultatele să fie corectate, ajustate, ținându-se seama de faptul că, de exemplu, temperatura exterioară poate avea mici variații de-a lungul experimentului. Astfel, soft-ul TECTITE face acest lucru, afișând mesaje prin care sugerează să acoperim și apoi să descoperim ventilatorul, pentru calibrarea rezultatelor.

b) Depresiune

Măsurarea în depresiune se face cu fața ventilatorului orientată spre interior, scăzând presiunea în interiorul clădirii. Și în acest caz se face calibrarea rezultatelor de către software-ul TECTITE.

3. Rezultate

În urma măsurărilor, soft-ul TECTITE a generat un raport de permeabilitate la aer a clădirii (Fig. 3). În acest raport sunt indicate : valorile debitului de aer infiltrat și exfiltrat datorită unei diferențe de presiune de 50Pa, V50 (m³/h), precum și ale numărului de schimburi orare de aer la 50Pa, n50 (1/h), pentru situația de suprapresiune interioară, depresiune interioară și medie între cele două situații

| Rezultatele testelor la 50 Pa | Depresiune | Suprapresiune | Media |
|------------------------------------|------------------|------------------|-------|
| V50: Debit (mc/h) | 5375 (+/- 0.6 %) | 4895 (+/- 0.5 %) | 5135 |
| n50: Rata de schimburi orare (1/h) | 18.53 | 16.88 | 17.71 |

Legea permeabilitatii

| | | |
|----------------------------|-------------------|-------------------|
| Coefficient de curgere (C) | 477.8 (+/- 7.8 %) | 486.6 (+/- 6.8 %) |
| Exponent (n) | 0.619 (+/- 0.020) | 0.590 (+/- 0.017) |
| Coefficient de corelatie | 0.99585 | 0.99663 |

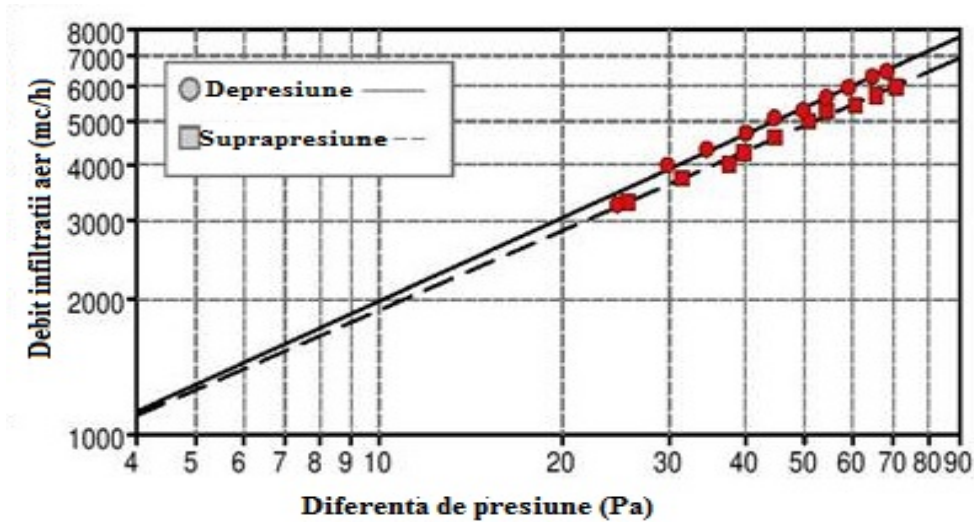


Fig. 3 Extras din raport de permeabilitate la aer

Măsurările de permeabilitate au ca și finalitate determinarea debitului de aer infiltrat și a ratei de infiltrații datorită unei diferențe de presiune exterior-interior medie anuală. Această diferență de presiune medie anuală este de 4 Pa. Pentru a calcula aceste valori, au fost determinate legile de permeabilitate în cele două situații (depresiune interioară și suprapresiune interioară). Legea de permeabilitate reprezintă formula matematică de tip lege putere de dependență dintre debit și diferență de presiune (Ecuatie 1) :

$$Q = C \times \Delta P^n, \quad (1)$$

unde Q (m^3/h) este debitul de aer infiltrat sau exfiltrat, Δp (Pa) este diferența de presiune exterior-interior datorită căreia au loc infiltrații sau exfiltrații de aer, C și n sunt coeficienții matematici ai acestei relații.

Experimentele realizate au condus la următoarele legi de permeabilitate :

$$\text{Pentru depresiune : } Q=477,8 \times \Delta P^{0,619} \quad (2)$$

$$\text{Pentru suprapresiune : } Q=486,6 \times \Delta P^{0,590} . \quad (3)$$

Se observă că coeficienții « C » ai celor două legi sunt aproximativ egali ; coeficientul este puțin mai mare pentru situația de suprapresiune. Diferența între cei doi coeficienți « C » arată faptul că debitele pentru situația clădirii în depresiune sunt mai mari decât în situația suprapresiunii. Și coeficienții « n » sunt la rândul lor aproximativ egali ; coeficientul este un pic mai mare în situația de depresiune. În ambele situații exponentul « n » este cuprins între 0.5 și 1, deci măsurările au fost corect realizate. Valorile exponentului mai apropiate de 0.5 arată faptul că curgerea aerului prin rosturile fațadei clădirii este mai degrabă turbulentă. Diferența între cei doi exponenți « n » atestă faptul că tipul curgerii este puțin diferit între cele două situații.

Valoarea finală a legii de permeabilitate a clădirii reprezintă media dintre cele două legi de permeabilitate (Ecuțiile 2 și 3). Folosind cele două legi de permeabilitate se generează câte un set de valori pentru fiecare dintre legile de permeabilitate (Tabel 1). Prin medierea valorilor de debit corespunzătoare aceleiași diferențe de presiune se determină legea de permeabilitate medie, caracteristică situației reale de exploatare a clădirii (Fig. 4). În cele din urmă legea de permeabilitate medie se determină prin regresie de tip lege putere pentru valorile medii de debit (Ecuția 4).

Tabel 1

Debite la depresiune, suprapresiune și debite medii, la diferite diferențe de presiune

| ΔP (Pa) | Q_{dp} (m ³ /h) | Q_{sp} (m ³ /h) | Q (m ³ /h) |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 10 | 1987,221 | 1893,094 | 1940,157 |
| 20 | 3051,994 | 2849,573 | 2950,784 |
| 30 | 3922,692 | 3619,709 | 3771,2 |
| 40 | 4687,284 | 4289,311 | 4488,297 |
| 50 | 5381,565 | 4892,878 | 5137,222 |
| 60 | 6024,511 | 5448,555 | 5736,533 |
| 70 | 6627,685 | 5967,329 | 6297,507 |
| 80 | 7198,779 | 6456,471 | 6827,625 |
| 90 | 7743,232 | 6921,101 | 7332,166 |

$$\text{Lege permeabilitate medie : } Q = 481,63 \times \Delta P^{0,6051}. \quad (4)$$

Această formulă a legii de permeabilitate a fost folosită pentru a determina prin extrapolare debitul de aer la o diferență de presiune exterior-interior medie anuală la care este expusă o clădire, adică 4 Pa (Ecuția 5). S-a determinat apoi numărul de

schimburi de aer pe oră la 4 Pa prin împărțirea debitului la 4 Pa la volumul clădirii (Ecuția 6).

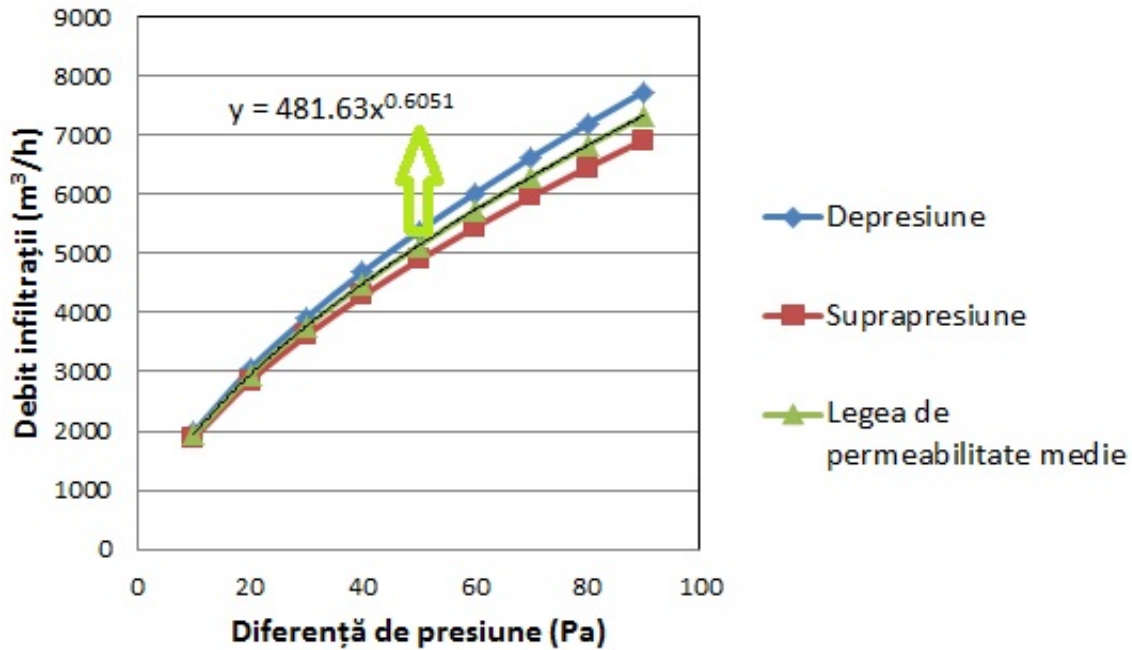


Fig. 4 Legi de permeabilitate la aer a clădirii analizate

$$Q_{4Pa} = 481,63 \times 4^{0,6051} = 1114,34 \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad (5)$$

$$n_{4Pa} = \frac{Q_{4Pa}}{V} = 3,84 \left(\frac{1}{h} \right) \quad (6)$$

În cele ce urmează vom compara această valoare a ratei de infiltrații, n_{4Pa} , cu alte valori întâlnite în literatura de cercetare sau în normativele și metodologiile de calcul din România (Fig. 5) [15] [16] [17]. În general, domeniul de variație al ratei de infiltrații pentru clădiri de locuit, caracteristic ferestrelor închise, este între 0 și 2 (1/h). Valori minime, de 0,1 (1/h), sunt de obicei întâlnite pentru clădirile pasive energetic, iar maxime de aproximativ 1,9 (1/h) sunt întâlnite la clădirile cu fațade deteriorate. Ca situații extreme, putem aminti cazul depozitelor frigorifice (-25°C sau -75°C), unde rata de infiltrații poate coborî sub 0,03 (1/h) și valori maxime de 2,5 ÷ 3 (1/h), caracteristice camerelor cu tîmplărie metalică ruginită, cu multe canaturi. Pentru această ultimă situație camera respectivă intră practic în domeniul fațadelor parțial deschise

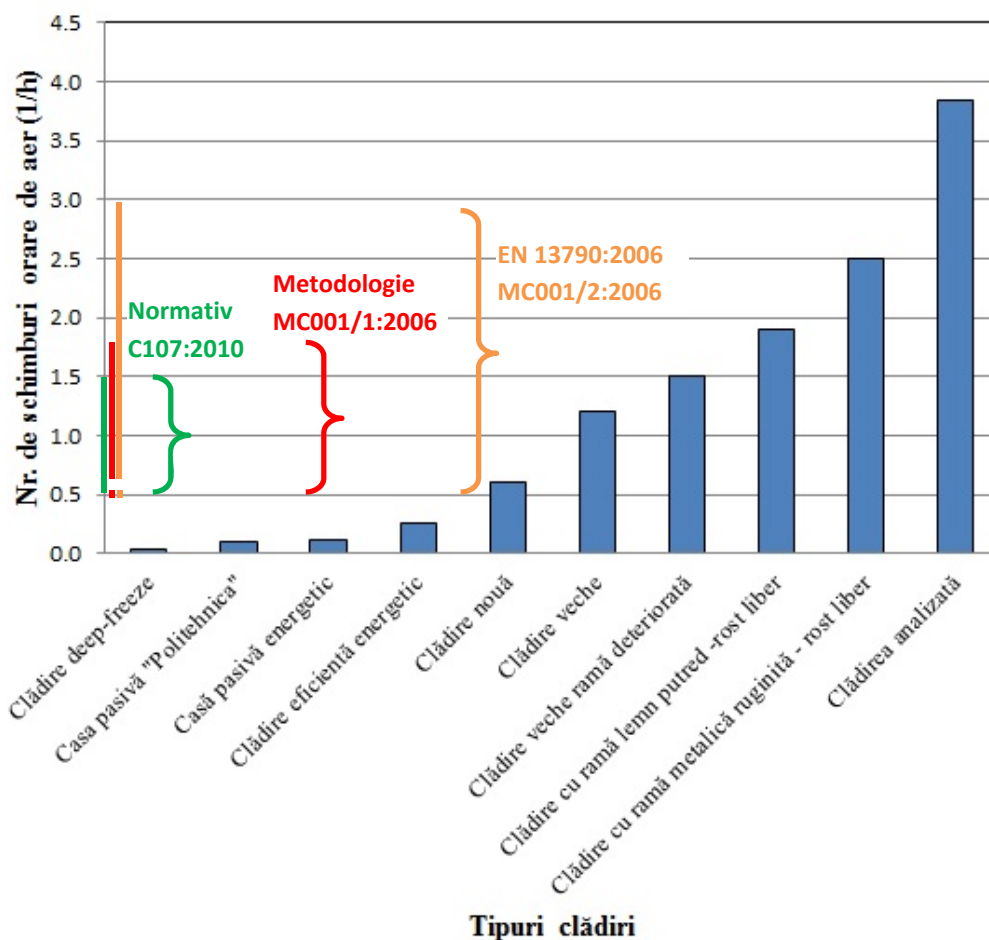


Fig. 5 Compararea rezultatelor obținute cu alte referințe

După cum se observă și din comparația grafică din Fig. 5, numărul orar de schimburi de aer la diferența de presiune de 4 Pa, pentru clădirea analizată, este mai mare decât în cazul altor referințe. O primă zonă de infiltrații o reprezintă rosturile de la ferestrele și ușile de pe fațada clădirii. Dar, dat fiind că vorbim despre o clădire nouă, pentru care tâmplăria se găsește într-un stadiu finalizat de montaj, nu putem considera ipoteza unei degradări a tâmplăriei clădirii și, în concluzie, astfel de debite ridicate nu sunt justificabile prin imperfecțiunile de etanșare ale tâmplăriei. Presupunem că stadiul de nefinalizare al clădirii reprezintă factorul major care influențează rata de infiltrații obținută. Vom prezenta mai jos câteva din posibilele zone de infiltrații :

- Pereții exteriori ai celor două spații tehnice sunt caracterizați de două tipuri de neetanșeități : (1) străpungeri necesare cablurilor electrice și conductelor de instalații (de exemplu pentru elementele exterioare ale pompelor de căldură) și (2) aerisiri ale spațiilor tehnice ;
- Structura din lemn, neetanșă, a pereților clădirii, poate ar putea să contribuie la amplificarea infiltrațiilor de aer. Spațiul interior clădirii poate comunica cu spațiul de la interiorul structurii pereților clădirii și apoi cu exteriorul prin

intermediul circuitelor electrice, prin zonele plintei și alte zone de îmbinări pereți-pardoseală sau pereți tavan ;

- Este de luat în considerare și sistemul de ventilație, între interiorul casei și seră (marcat cu tubulatură roșie în Fig.1b.), mai exact etanșarea prinderii tubulaturii de ventilație de pereții serei. Această problemă delicată relativ la sensibilitatea măsurărilor de permeabilitate la clădiri ventilate, cu recuperare de energie, dotate cu sistem de circulare și recirculare a aerului, a fost pusă în evidență și în alte studii anterioare [15];
- De asemenea, având în vedere că pereții serei sunt din sticlă, zonele de îmbinare ale acestor pereți pot reprezenta surse de infiltrații de aer între interiorul clădirii și spațiul solar (zone marcate cu puncte albastre în Fig.1).
- Comunicarea între mediul interior și cel exterior prin intermediul tubulaturii hotei din zona de bucătărie de la parter ;
- Străpungerile de conducte de canalizare și alimentare cu apă ale clădirii.

Acest tip de clădiri implică o dificultate sporită din punct de vedere al măsurării de permeabilitate, din cauza particularităților pe care le prezintă această arhitectură comparativ cu clădirile de arhitectură clasică. Ca urmare, pregătirea clădirii în vederea măsurărilor de permeabilitate, precum și măsurarea efectivă, reprezintă operațiuni minuțioase și depind de instalațiile de ventilare, de străpungerile din pereți, pardoseli, de structura pereților, precum și de zonele de îmbinare pentru pereții de sticlă ai spațiilor de tip seră.

Clădirea se află acum în stadiul de finisare și toate neetanșeitățile sunt amănunțit tratate în speranța că această clădire va deveni o clădire eficientă energetic.

4. Concluzii

S-au efectuat măsurări de permeabilitate pentru o clădire individuală de tip arhitectural modern, cu spațiu solar inclus parțial la interiorul clădirii, folosind metoda suprapresiunii și sistemul ușă suflantă. La momentul măsurărilor, clădirea era în exploatare, deși se afla încă într-un stadiu nefinalizat din punct de vedere al finisajelor.

În urma campaniei experimentale a rezultat o rată de infiltrații de 3,84 (1/h), deci mai mare decât domeniul de valori caracteristic clădirilor cu fațade închise, plasând clădirea în zona clădirilor neperformante energetic.

În urma investigării căilor pe unde au loc infiltrațiile de aer, s-a determinat că, pe lângă zonele clasice de neetanșeități întâlnite la majoritatea clădirilor (rostrurile tâmplăriei, hotă, canalizare, alimentare cu apă) , există trei noi tipuri de neetanșeități specifice acestei clădiri: (1) rosturi datorate echipamentelor de instalații speciale (străpungeri ale pereților de către conductele spre pompa de căldură, cabluri electrice, neetanșeități ale instalațiilor de ventilare și altele), (2) neetanșeități între mediul locuit interior clădirii și mediul interior serei (la ventilarea serei, lipsește etanșarea pereților vitrați între interior și seră) și (3) neetanșeități specifice unei construcții pe structură de lemn (la

îmbinările pereților între ei, cu pardoseala, circuitele electrice care fac legătura cu mediul interior).

Pentru astfel de clădiri apare necesitatea adaptării sistemului clasic de determinare experimentală a permeabilității și inclusiv a protocolului experimental prezentat în EN13829. Ne întrebăm, de asemenea, care este spațiul analizat al clădirii și care este anvelopa pe care o măsurăm (spațiul solar face sau nu parte din spațiul interior clădirii, din punct de vedere al permeabilității). În studiile care vizează aspecte energetice ale clădirii, anvelopa clădirii ar putea fi anvelopa termică, iar în alte studii (de exemplu de confort acustic interior) anvelopa ar putea să includă și spațiul solar.

Datorită acestor aspecte specifice clădirii (destinație, instalații aferente, spațiu solar), considerăm că măsurările de permeabilitate trebuie pregătite cu atenție în prealabil, realizând etanșeizarea tuturor golurilor tehnice.

Mulțumiri

Acest studiu a fost susținut de Autoritatea Națională Română pentru Cercetare Științifică și Inovare, CNCS/CCCDI - UEFISCDI, prin proiectul numărul PN-III-P2-2.1-PED-2016-1951, în cadrul PNCDI III. Mulțumim contribuției domnilor conf. dr. ing. Tiberiu Catalina, ing. Claudiu Butacu, ing. Andrei Stelian Bejan și dnei. ing. Ana Maria Pascal.

Bibliografie

- [1] EN 13829 : 2002 Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method (ISO 9972:1996, modified), 2002.
- [2] T. Relander, S. Holøs and J. Thue, "Airtightness estimation—A state of the art review and an en route upper limit evaluation principle to increase the chances that wood-frame houses with a vapour- and wind-barrier comply with the airtightness requirements," *Energy and Buildings*, pp. 444-452, 2012.
- [3] N. Van Den Bossche, W. Huyghe, J. Moens, A. Janssens and M. Depaepe, "Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls," *Energy and Buildings*, pp. 32-42, 2012.
- [4] H. Park and H. Kim, "Acoustic insulation performance of improved airtight windows," *Construction and building materials*, vol. 93, pp. 542-550, 2015.
- [5] H. Okuyama and Y. Onishi, "Reconsideration of parameter estimation and reliability evaluation methods for building airtightness measurement using fan pressurization," *Building and environment*, vol. 47, pp. 373-384, 2012.
- [6] W. R. Chan, W. W. Nazaroff, P. N. Price, M. D. Sohn and A. J. Gadgil, "Analyzing a database of residential air leakage in the United States," *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 19, pp. 3445-3455, 2005.

- [7] A. Sfakianaki, K. Pavlou, M. Santamouris, I. Livada, M.-N. Assimakopoulos, P. Mantas and A. Christakopoulos, "Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece," *Building and Environment*, vol. 43, no. 4, pp. 398-405, 2008.
- [8] J. Jokisalo, J. Kurnitski, M. Korpi, T. Kalamees and J. Vinha, "Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses," *Building and Environment*, vol. 44, no. 2, pp. 377-387, 2009.
- [9] M. Montoya, E. Pastor, F. Carrié, G. Guyot and E. Planas, "Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions," *Building and Environment*, vol. 45, no. 6, pp. 1458-1469, 2010.
- [10] P. Blondeau, M. Spérandio and F. Allard, "Multicriteria analysis of ventilation in summer period.," *Building and Environment*, vol. 37, no. 2, pp. 165-176, 2002.
- [11] G. Gantioler, "Building air tightness and dwelling ventilation -experiences in Italy," in *Gantioler, G. Building air tightness and dwelling ventilation -experiences in Italy. in Proceedings of the first Blower Door European Symposium*, Fulda, 23, 24 June 2006.
- [12] L. Biggs, I. Benni and D. Michell, "Air permeability in some Australian houses.," *Building and Environment*, vol. 21, no. 2, pp. 89-96, 1986.
- [13] C. Shaw, J. Reardon and M. Cheung, "Changes in air leakage levels of six Canadian office buildings.," *ASHRAE Journal*, 1993.
- [14] ASRO, SR 4839:2014: Instalații de încălzire-Numărul anual de grade-zile, 2014.
- [15] V. Iordache, C. Teodosiu, R. Teodosiu and T. Catalina, "Permeability measurements of a passive house during two construction stages," *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 279-287, 2016.
- [16] C107 - Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, 2010.
- [17] MC 001: Metodologie de calcul a performanței energetice a clădirilor, 2006.
- [18] A. Litvak, M. Fournier and F. Carrie, "Envelope and ductwork air tightness data in France: field practice, regulatory approach, energy implications and progress needed. in," in *Proceedings of the first Blower Door European Symposium*, , Fulda, 23, 24 June 2006.
- [19] V. Iordache and T. Catalina, "Acoustic approach for building air permeability estimation," *Building and Environment*, pp. 18-27, 2012.
- [20] INCERC, GT-032-01 - Ghid privind proceduri de efectuare a măsurilor necesare expertizării termoenergetice a construcțiilor și instalațiilor aferente, Bucureșt, 2001.