

# **CONTRIBUȚII LA REABILITAREA HIGROTERMICĂ A CLĂDIRILOR DE LOCUIT**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE CIVILĂ  
de către

**Ing. Luiza Berevoescu**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. VALERIU STOIAN  
Referenți științifici: prof.univ.dr. DAN TUDOR  
prof.univ.dr.ing. IOAN MOGA  
conf.univ.dr.ing. TRAIAN BERAR

Ziua susținerii tezei: 25 septembrie 2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 8. Inginerie Industrială                   |
| 2. Chimie                                   | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 3. Energetică                               | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 4. Ingineria Chimică                        | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 5. Inginerie Civilă                         | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 13. Inginerie energetică                   |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 14. Calculatoare și tehnologia informației |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2011

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Construcții Civile, Industriale și Agricole al Universității „Politehnica” din Timișoara, în perioada 2006-2011. Ea tratează probleme actuale de fizica construcțiilor, materializate, cu precădere, în aspecte legate de reabilitarea higrotermică a clădirilor civile, folosind ca material de bază aerogelul sau produse cu aerogel încorporat. Considerăm că prin multitudinea, complexitatea și ineditul informațiilor prezentate, acest demers științific prezintă la ora actuală, caracter unic pe plan național.

Doresc să exprim respectul și întreaga mea recunoștință domnului **prof.dr.ing. Valeriu Stoian**, conducătorul științific al tezei mele de doctorat și cel care mi-a sugerat tema tezei. Pentru acceptarea mea ca doctorand, pentru tot sprijinul și îndrumarea sa de înalt nivel științific, pentru sugestiile și indicațiile metodologice prețioase, atât în stagiile de pregătire și cercetare, cât și în faza finală de elaborare și redactare a tezei de doctorat, îmi exprim, pe această cale, cele mai sincere mulțumiri. Cele mai alese sentimente pentru generozitatea și răbdarea sa în coordonarea celor mai importanți pași ai carierei mele profesionale, cel mai special gând pentru rigurozitatea și exigența deosebită manifestate față de activitatea mea!

Mulțumiri deosebite se cuvin și domnului **conf.dr. Doru Păunescu**, din cadrul Departamentului de Matematică al Universității Politehnica Timișoara, pentru coordonarea la partea de algebră a prezentei lucrări, pentru profesionalismul domniei sale, materialul bibliografic, informațiile tehnice, sugestiile și ideile oferite, cu multă amabilitate, în problemele de modelare matematică, idei care mi-au fost de un real folos în elaborarea acestei teze.

În egală măsură țin să mulțumesc domnului **conf.dr.ing. Daniel Dan**, pentru exactitatea sugestiilor și puterea de sinteză manifestate pe parcursul articolelor scrise împreună, pentru promptitudinea, generozitatea și profesionalismul răspunsurilor sale, în toată perioada în care i-am fost colaborator în calitate de doctorand sau cadru didactic asociat.

Îmi exprim întreaga considerație și grațitudine față de membrii Comisiei, domnii prof. dr. ing. **Dan Tudor**, din cadrul Universității Politehnica Timișoara, prof. dr. ing. **Ioan Moga**, din cadrul Universității Tehnice Cluj-Napoca și **conf.dr.ing. Traian Berar** din cadrul Universității de Științe Agricole a Banatului, pentru disponibilitatea și amabilitatea cu care au acceptat să analizeze conținutul tezei.

Un mare mulțumesc adresez pe această cale agenților economici cu care am colaborat în stagiul de documentare desfășurat în Germania - Cabot Corporation, IGETEC GmbH, Innovative Materials UG, Brück KG -pentru informațiile și baza materială deosebite puse la dispoziție cu generozitate, altruism și dorință de favorizarea cunoașterii.

De asemenea, doresc să adresez mulțumirile convenite colegilor de departament, tuturor celor care, direct sau indirect, prin sugestiile oferite au contribuit la șlefuirea acestui demers științific și m-au susținut în finalizarea lui.

Aș vrea să mulțumesc și soțului meu pentru înțelegerea, răbdarea și sprijinul său constant, dar și pentru sfaturile tehnice deosebit de valoroase din tot acest timp.

În cel mai special mod cu putință, însă, aș dori să exprim recunoștință și mulțumire fiului meu, Cătălin, pentru susținerea și liniștea pe care mi le-a acordat pe parcursul acestor ani de studiu, cu speranța că mi-a înțeles și acceptat orele de absență din jocurile copilăriei lui.

Timișoara, septembrie 2011

Luiza Berevoescu

Dedic cu drag această lucrare fiului meu Cătălin și soțului meu,  
dar și tuturor celor care, direct sau indirect, prin sugestii sau atitudini,  
au contribuit la șlefuirea acestui demers științific și m-au susținut în  
finalizarea lui.

Berevoescu, Luiza

### **Contribuții la reabilitarea higrotermică a clădirilor de locuit**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 82, , Editura Politehnica, 2011, 230 pagini, 204 figuri, 65 tabele.

ISSN:1842-581X,

ISBN:978-606-554-345-4

Cuvinte cheie: aerogel, reabilitare higrotermică, eficiență energetică.

#### Rezumat:

Prezenta lucrare abordează un domeniu important al fizicii construcțiilor, *reabilitarea higrotermică a clădirilor*, domeniu pe cât de acut și actual , pe atât de complex dezbătut de specialiștii în higrotermică, în contextul general al *creșterii eficienței energetice a construcțiilor*. Reabilitarea termică constă în implementarea de măsuri de eficiență energetică în toate activitățile de renovare și reparații ale clădirii, dar și în utilizarea unor materiale cu potențial ridicat în izolarea termică. Tendințele actuale în domeniu, atât pe plan internațional, cât și național, sunt cele ale dezvoltării unor sisteme performante de închidere și izolare care să folosească soluții moderne de reabilitare termoenergetică, bazate pe nanotehnologii și nanomateriale cu performanțe termice și energetice deosebit de ridicate. Un astfel de material, ales spre studiu complex în acest demers științific, este *aerogelul*.

Deși un nanomaterial superperformant în multe privințe, din păcate, în România, principalele informații despre aerogel sunt cele legate de nominalizările în Cartea Recordurilor pentru unele dintre performanțele sale, pentru utilizarea de către NASA în câteva proiecte în Cosmos ori alte curiozități comerciale sau jurnalistice. Potențialul ca material de construcție este prea puțin cunoscut și deloc exploatat în țara noastră, fapt pentru care principalul nostru obiectiv a fost acela al realizării unei sinteze complexe de date, informații și argumente, menită să fie de folos celor interesați și să aducă plus valoare în industria construcțiilor din România, în general, și în domeniul reabilitării termoenergetice a clădirilor în special.

Principalele contribuții personale constau în:

- Studii experimentale pentru confirmarea performanțelor de izolare termică ale diferitelor tipuri de aerogel. Determinarea conductivității termice  $\lambda$ .
- Realizarea unui program experimental pe un cub din policarbonat celular cu aerogel granulat încorporat în pereți (dimensionat și fabricat de autoare) care a condus la punerea în evidență a nivelului ridicat de izolare termică a aerogelului, a inerției sale termice substanțiale chiar în grosimi mici ale stratului, precum și a aspectelor favorabile determinate de decalajul oscilațiilor de temperatură.
- Studii de caz în domeniul suprafețelor vitrate pentru acoperișuri și aplicații de calcul pentru evidențierea economiilor de energie și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>,
- Studii de caz în evaluarea bazată pe performanță și reabilitarea energetică a unor clădiri.
- Identificarea unor posibilități de utilizarea aerogelului și produselor din aerogel în reabilitarea termoenergetică a suprafețelor vitrate sau pline ale clădirilor.

## CUPRINS

Cuvânt înainte .....	3
Cuprins. ....	5
<b>1. INTRODUCERE.....</b>	<b>9</b>
1.1. Justificarea tezei în contextul actual al necesității eficientizării energetice a clădirilor. ....	9
1.2. Beneficiile utilizării nanomaterialelor și nanotehnologiilor în industria construcțiilor. ....	11
<b>2.AEROGELUL –NANOMATERIAL CU PERFORMANȚĂ TERMICĂ, ACUSTICĂ ȘI OPTICĂ RIDICATĂ.....</b>	<b>13</b>
2.1. Noțiuni generale.....	13
2.2. Metode utilizate pentru obținerea aerogelurilor. ....	13
2.2.1. Metoda Kistler. ....	13
2.2.2. Procedeeul lui Teichner-procesul Sol-Gel.....	14
2.2.3. Procedeeul Hunt.....	15
2.2.4. Procedeeul Ludwigshafen.....	15
2.2.5. Procedeeul Lund.....	15
2.3. Fabricația aerogelurilor.....	16
2.4. Însușiri și structură.....	17
2.5. Domenii de utilizare a aerogelului. ....	21
<b>3. PRODUSE DIN AEROGEL SAU CU AEROGEL ÎNCORPORAT.....</b>	<b>23</b>
3.1. Noțiuni generale de higrotermică. ....	23
3.2 Justificarea utilizării produselor cu aerogel încorporat în contextul transferului de căldură, zgomot și lumină naturală. ....	36
3.3. Produse cu aerogel încorporat pentru construcții. ....	39
3.3.1. Clasificarea produselor din aerogel. ....	39
3.3.2. Clasificarea produselor cu aerogel încorporat. ....	40
3.3.3. Avantajele elementelor de construcție cu aerogel încorporat. ....	42
3.4. Sinteza realizărilor internaționale în domeniu. Construcții cu produse Cu aerogel încorporat. ....	43
3.4.1. Clădiri cu fațade vitrate din panouri din poliester armat cu fibră de sticlă. ....	44
3.4.2 Clădiri cu fațade vitrate din policarbonat celular cu nanogel granulat încorporat.....	52
3.4.3. Clădiri cu fațade vitrate din panouri de sticlă profil U cu nanogel încorporat. ....	67
3.4.4. Clădiri cu fațade vitrate din panouri din sticlă termoizolatoare. ....	72
3.4.5. Posibilități de utilizare a aerogelului în izolarea suprafețelor pline ale clădirilor .....	77
<b>4. MODELE ȘI METODE PENTRU ANALIZA BAZATĂ PE PERFORMANȚĂ ENERGETICĂ ...</b>	<b>79</b>
4.1. Noțiuni generale .....	79
4.2. Auditul energetic-parte a procesului de dezvoltare durabilă .....	79
4.3. Metode de analiză energetică. ....	80
4.3.1. Metode bazate pe indicatori.....	81

## 6 Cuprins

4.3.2. Metode de modelare inversă.....	82
4.3.3. Metode de modelare directă. ....	85
4.3.4. Concluzii. ....	86
4.4. Metoda costurilor globale (CG) .....	87
4.4.1. Prezentare generală. ....	87
4.4.2. Elementele componente ale costului global. ....	88
4.4.3. Domeniul de aplicație al costului global. ....	91
4.4.4. Aplicații de calcul: Analiza comparativă a costurilor globale. ....	92
4.4.5. Concluzii. ....	97
4.5. Aplicații de calcul: analiza comparativă a costurilor globale în cazul unor clădiri izolate cu polistiren vs. izolație aerogel. ....	98
4.5.1. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E .....	98
4.5.2. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E .....	100
4.5.3. Două variante de sistem de încălzire pentru o casă P+1E,S=200mp .....	102
4.6. Life Cycle Assessment. ....	103
4.6.1. Prezentare generală. ....	103
4.6.2. Aplicație de calcul: Reabilitare Ambulatoriu de specialitate al Spitalului de urgență Satu Mare, str. Ravensburg nr.2.....	104
4.6.3. Concluzii. ....	109
5. STUDII DE EFICIENȚĂ ENERGETICĂ A UNOR SOLUȚII DE REABILITARE HIGROTHERMICĂ A CLĂDIRILOR, BAZATE PE MODELE MATEMATICE. ....	111
5.1. Noțiuni generale. ....	111
5.2. Rezolvarea problemelor de fizica construcțiilor bazate pe PDE cu FemLab.....	112
5.2.1. Introducere.....	112
5.2.2. Utilizarea FEMLAB. ....	113
5.2.3. Comparare simulare FEMLAB cu măsurători. ....	115
5.2.4. Transport combinat de căldură și umezeală. ....	119
5.2.5. Exportarea modelului FEMLAB către legătura de simulare. ....	122
5.2.6. Concluzii. ....	122
5.3. Pierderea căldurii prin pereți. Analiza bazată pe teoria rețelelor cu dinamică termică. ....	123
5.3.1. Introducere.....	123
5.3.2. Analize folosindu-se rețele cu dinamică termică. ....	123
5.3.3. Studiul funcțiilor greutate pentru pereți în trei variante. ....	128
5.3.4. Analiza termică a zidurilor din material compozit. ....	130
5.3.5. Concluzii. ....	131
5.4. Comparație între diferitele tehnici pentru determinarea extinderii umidității la profilele de umiditate. ....	132
5.4.1. Metode pentru determinarea extinderii umidității.....	132
5.4.2. Experiment. ....	134
5.4.3. Rezultate și discuții. ....	135
5.4.4. Concluzii. ....	139
5.5. Modelarea sistemelor hibride cu rețelele optimizate R-C. ....	140
5.5.1. Introducere.....	140
5.5.2. Metoda modelării macroelementelor (MEM) .....	140
5.5.3. Studii de caz pentru abordarea MEM. ....	142
5.5.4. Concluzii. ....	148
5.5.5. Lista simbolurilor. ....	148

---

6. CONTRIBUȚII PERSONALE.....	151
6.1. Aprecieri generale. ....	151
6.2. Analizarea și confirmarea performanțelor aerogelului compact.....	152
6.3. Analizarea și confirmarea performanțelor aerogelului granulat opac. ....	154
6.4. Analizarea și confirmarea performanțelor saltelelor din aerogel. ....	157
6.4.1. Saltea flexibilă de aerogel bej.....	157
6.4.2. Saltea flexibilă de aerogel albă. ....	160
6.4.3. Saltea flexibilă de aerogel gri.....	162
6.5. Concluzii. ....	165
6.6. Studiu de caz: cub.....	166
6.6.1. Pregătirea experimentului ....	168
6.6.2. Desfășurare experiment.....	170
6.6.3 Concluzii experiment: Studierea pierderilor de căldură pe termografie. ....	179
6.7. Confirmarea performanțelor aerogelului granulat, economiile de energie și reducerea emisiilor de CO <sub>2</sub> ....	181
6.8. Studii experimentale în domeniul suprafețelor vitrate pentru acoperișuri. ....	185
6.8.1. Noțiuni generale. ....	185
6.8.2. Clădiri private reabilitate cu elemente de construcție cu aerogel încorporat. ....	
6.9. Evaluarea bazată pe performanță și reabilitarea energetică a unei clădiri : studii de caz privind analiza comparativă a costurilor globale.....	196
6.9.1. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală. ....	197
6.9.2. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E.....	199
6.9.3. Application: comparative analysis of global costs house P. ....	201
6.9.4. Concluzii. ....	204
7. CONCLUZII GENERALE.....	207
7.1. Concluzii tehnice. ....	207
7.2. Aprecieri de sinteză. ....	209
7.3. Noi oportunități pentru viitoare teme de cercetare ....	212
8. ANEXE.....	215
8.1. Anexa 1: Dicționar de termeni. ....	215
8.2. Anexa 2: Pregătirea și efectuarea experimentelor.....	218
8.3. Anexa 3: Rapoarte de stabilirea conductivității termice a materialelor ....	221
8.4. Anexa 3: Formule pentru calculul factorilor de actualizare la aplicarea MCG (metoda costului global). ....	225
9. BIBLIOGRAFIE. ....	227





# 1. INTRODUCERE

## 1.1. Justificarea tezei în contextul actual al necesității eficientizării energetice a clădirilor

Calitatea socială a locuirii reprezintă o dimensiune importantă a calității vieții individuale și sociale, datorită relației ce se stabilește între om și mediul construit. O componentă importantă a acestei relații o constituie *confortul termic*- componentă importantă și, în prezent, costisitoare.

Noul concept al dezvoltării durabile determină o abordare diferită de cea clasică, cu care suntem obișnuiți, atunci când este vorba de o clădire. În prezent clădirea este considerată un organism aflat într-o evoluție continuă care în timp trebuie tratat, reabilitat și modernizat pentru a corespunde exigențelor stabilite de utilizator, într-o anumită etapă. Conceptul de dezvoltare durabilă presupune minimizarea costurilor de mediu și maximizarea profitului economic, astfel încât să fie posibilă "satisfacerea nevoilor prezentului fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi."

De mare actualitate sunt analizele și intervențiile legate de economia de energie în condițiile asigurării unor condiții de confort corespunzătoare. Acest aspect se numește [57] *eficientizare energetică* a clădirii. Măsurile de eficiență energetică în clădiri urmăresc asigurarea confortului termic și reducerea consumului de energie. Sporirea eficienței energetice se poate realiza pe mai multe căi, începând de la educarea utilizatorului în spiritul economiei de energie și ajungând până la efectuarea unor expertize și audituri energetice în urma cărora experții recomandă o serie de soluții tehnice de reabilitare/modernizare energetică a clădirilor și instalațiilor aferente acestora, pe baza caracteristicilor reale ale sistemului de construcție, de utilizare a energiei termice, precum și optimizarea soluțiilor tehnice prin analiza eficienței economice acestora. Acestea depind de tipul, vechimea și destinația clădirii. În literatura de specialitate procedeul este denumit *reabilitare și/sau modernizarea termo-energetică a clădirilor*. Mai concret reabilitarea și/sau modernizarea termică a unei clădiri constă în îmbunătățirea ei în scopul menținerii căldurii la interior prin diverse procedee: utilizarea unor sisteme și materiale moderne de închidere a construcțiilor, identificarea și investigarea defectelor de izolare termică a anvelopei clădirilor, urmate de refacerea sau adăugarea de izolație termică, etanșare, eliminarea condensului în clădiri prin diverse procedee adoptate în funcție de condițiile concrete, înlocuire uși și ferestre, îmbunătățirea echipamentelor și instalațiilor cu care e dotată clădirea. Reabilitarea termică constă și în implementarea de măsuri de eficiență energetică în toate activitățile de renovare și reparații ale clădirii.

*Eficientizarea energetică a clădirilor* reprezintă o prioritate de prim rang a societății românești, o problemă acută și foarte actuală, având în vedere slaba calitate a majorității construcțiilor existente, fie vechi, fie ieftine. Pe de altă parte costurile legate de reabilitarea unei clădiri sunt mult mai mici decât costurile legate de instalarea unei capacități suplimentare de energie termică pentru încălzire. În România, consumurile energetice pentru sectorul populației sunt la nivelul a 40% din consumul total de energie al țării.

Înțelegerea modului în care funcționează o clădire, atât din punctul de vedere al construcției cât și din punctul de vedere al echipamentelor și instalațiilor care o deservesc, este esențială pentru identificarea strategiilor ce trebuie adoptate pentru reabilitarea sa energetică. Fiecare parte a clădirii este legată de toate celelalte părți, iar orice schimbare produsă într-un loc are efecte în alt loc. În orice intervenție de reabilitare, forțele care se manifestă într-o clădire trebuie menținute în echilibru: sarcina structurală, efectele vântului și vremii, fluxurile de umiditate, căldură și aer. De exemplu, adăugarea de izolație termică sau bariere de vapori și aer afectează condițiile de umiditate, ventilare și aerul necesar arderii în instalațiile de încălzire. Strategiile de reabilitare energetică a unei clădiri trebuie să țină seama de asigurarea la interior a condițiilor de confort, sănătate și siguranță pentru toți utilizatorii clădirii.

În ultimii ani, țări cu o cercetare avansată în domeniul higrtermic, precum SUA, Germania, Franța, Elveția sau Belgia au dezvoltat sisteme performante de închidere și izolare termică a clădirilor, precum și diverse soluții moderne de reabilitare termoenergetică. Printre acestea se remarcă câteva ce au la bază nanotehnologii și nanomateriale cu performanțe termice și energetice deosebit de ridicate, precum cele din familia aerogelurilor.

Prin acest demers științific ne-am propus, în primul rând, aducerea în atenția specialiștilor români, a câtorva asemenea soluții, ce utilizează nanomateriale sau nanotehnologii, utilizând aerogelul ca principal obiect de analiză, după știința noastră extrem de puțin cunoscut în România, reunirea unor eficiente sisteme și concepte folosite cu succes pe plan internațional, metode, asemănări și deosebiri între soluții tehnice sau măsuri de eficientizare energetică pentru anvelopa clădirii. În al doilea rând s-a urmărit analizarea și confirmarea beneficiilor pe care materialele de construcții ce au în componență aerogeluri le aduc clădirilor civile, preponderent la cele ce au în alcătuire suprafețe vitrate foarte mari, în condițiile concrete de climă din România, eficiența majoră a acestora datorită performanțelor termice ridicate, în ciuda prețului de achiziție destul de ridicat la ora actuală. Un alt deziderat al lucrării a fost analizarea unor construcții și mecanisme frecvente de degradare termică prin metode și modele matematice. Pe baza evaluării acestor mecanisme se pot determina analitic principalele cauze care duc la apariția acestor probleme. De asemenea, o privire de ansamblu asupra tuturor acestor mecanisme poate sugera căi de abordare ale unor soluții complete.

Studiile teoretice și experimentale au vizat, în principal, următoarele aspecte:

- crearea unei baze de date aerogel-industria construcțiilor reprezentativă, care să poată constitui o pârghie importantă de informare pentru cei interesați a valorifica potențialul acestui material deosebit de performant sau ca punct de plecare pentru dezvoltarea altor teme de cercetare și teze de doctorat (alcătuire, proprietăți, realizări în domeniu, posibilități de utilizare, soluții viabile etc),
- confirmarea performanțelor termice, fonice și optice ale aerogelului, în diverse condiții de aplicare,
- analizarea performanțelor aerogelului ca material de construcție,
- identificarea stadiului cunoașterii în domeniul construcțiilor cu aerogel încorporat, ca urmare a documentării efectuate. Prezentarea unor soluții tehnice ce utilizează aerogelul ca material de construcție existente la ora actuală pe plan mondial; descrierea și analiza comportării unor clădiri ce au fost reabilitate higrtermic prin încorporare de aerogel în elementele anvelopei,

## 1.2 - Beneficiile utilizării nanomaterialelor și nanotehnologiilor în industria construcțiilor 11

-realizarea unor experimente pentru identificarea beneficiilor de utilizare a aerogelului și analizarea unor soluții constructive existente pe plan mondial pentru identificarea performanțelor tehnice, energetice, ecologice, dar și economice ale soluțiilor respective, având în vedere prețul actual ridicat al aerogelului,  
-analizarea unor construcții și mecanisme frecvente de degradare termică prin metode și modele matematice. Pe baza evaluării acestor mecanisme se pot determina analitic principalele cauze care duc la apariția acestor probleme,  
-dezvoltarea cunoașterii științifice în domeniul ales prin elaborarea și publicarea unor articole științifice și rapoarte de cercetare în domeniul reabilitării higrotermice a clădirilor de locuit.

Tema de cercetare aleasă prezintă un caracter de mare noutate în România, în care pot să apară direcții și tematici noi, depășește barierele disciplinare tradiționale, punând accent pe o abordare interdisciplinară, precum și pe apropierea dintre cercetarea fundamentală, aplicativă și de transfer tehnologic. Pentru înlesnirea drumului de la cunoaștere la inovația industrială, se identifică necesitatea rezolvării unor probleme legate, în primul rând, de dezvoltarea cunoștințelor fundamentale, înțelegerea fenomenelor fizico-chimice fundamentale în procesarea aerogelului, aspecte precum sinteza, caracterizarea, stabilizarea, modificarea, încercările experimentale, utilizarea, găsirea de noi aplicații, îmbunătățiri ale unor soluții legate de reglementările specifice nanotehnologiilor, eficiența ecologică și nivelul de reciclare, reutilizare și distrugere a deșeurilor. Au fost, astfel, implicate aspecte din chimie, tehnologie chimică, fizică, științe tehnice, matematică, informatică, rezistența și higrotermica construcțiilor, precum și ecologie, menite să conducă la rezultate superioare celor realizate de cercetători într-un singur domeniu. Nanoaerogelurile pot deveni, astfel, obiectul unor interesante aplicații multidisciplinare cu aplicare în domeniul construcțiilor, prin care să se valorifice potențialul uman autohton și să se dezvolte cooperări internaționale.

### **1.2. Beneficiile utilizării nanomaterialelor și nanotehnologiilor în industria construcțiilor**

În contextul actual de extinderea limitelor dezvoltării sustenabile, aplicarea nanotehnologiei în industria construcțiilor este o nouă miză pe plan mondial. Important este ca sectorul construcțiilor să aibă informații tot mai multe referitoare la aceste realizări. Nanotehnologia ar putea fi definită, în domeniul construcțiilor, ca manipularea atomilor și a moleculelor pentru a conferi noi proprietăți materialelor de construcții și îndrăzneală tehnologiilor. Granițele ingineriei construcțiilor la scară nanometrică se pot extinde prin producerea unor materiale noi, avansate și nanomateriale pe bază de compozite și ceramice, materiale pentru acoperiri și straturi cu proprietăți controlate, învelișuri mai rezistente la diverse acțiuni exterioare care pot mări apreciabil durata de viață a unei clădiri, sisteme mai mici, mai ușoare, mai rezistente, mai eficiente și, în ultimă instanță, mai puțin costisitoare, care să fie folosite în interesul și spre binele omului. Nanomaterialele pot fi folosite la izolarea planșelor, pereților, acoperișurilor, la filtrarea apei și aerului, precum și la iluminat. Nanoacoperișurile pot asigura o izolare eficientă, protecție UV, sunt anticorozive și rezistente la apă. O parte din aceste acoperișuri sunt considerate "vindecătoare" prin faptul că îndepărtează factorii poluanți din atmosferă din imediata apropiere a clădirii. Grație calităților lor neobișnuite, electrice, optice și de altă natură, nanomaterialele folosite în construcții și-ar putea

schimba culoarea prin simpla acționare a unei telecomenzi electronice. Materialele cu nanotuburi devin alternative ecologice în domeniul construcțiilor, mulți cercetători americani propun nanomaterialele ca alternative eco-friendly la cele clasice, față de care au avantajul că sunt mult mai rezistente și prezintă un surplus de siguranță la cutremure.

Direcțiile Inițiativei Internaționale pentru Nanotehnologii preconizează ca până în 2015 jumătate din materialele avansate nou-proiectate și din procesele de fabricare vor fi realizate prin utilizarea controlului la nanoscară. În acest moment, în lume, există peste 130 de companii care dezvoltă nanomateriale pentru construcții și numeroase proiecte de cercetare în această direcție se desfășoară în diverse centre universitare. Deși prețul acestor materiale este acum destul de ridicat, se estimează că, în scurt timp, pe măsură ce vor invada piața, ele vor deveni mai accesibile.

În acest demers științific, dorim să aducem în atenția specialiștilor, aerogelul, nanomaterial ale cărui principale proprietăți sunt cunoscute doar în mare și pentru care, în România, nu există o materializare a posibilităților de utilizare în domeniul construcțiilor. Aerogelurile aparțin familiei materialelor solide nanoporoase - mărimea porilor unui aerogel se situează în domeniul aproximativ 10 nm-, porozitatea depășind 95%,  $\lambda \approx 0.004 - 0.020$  W/mK. Nu sunt toxice și nu sunt inflamabile. Rezistă la temperaturi foarte înalte. Punctul de topire se situează la cca 1200 °C. Aerogelurile sunt translucide, arată precum sticla, dar sunt de o mie de ori mai ușoare, fapt ce poate conduce la dezvoltarea unor posibilități arhitecturale îndrăznețe. Aceste date de referință le demonstrează a fi materiale cu potențial în industria construcțiilor. Ne-am propus să realizăm un studiu cât mai complet asupra avantajelor utilizării aerogelului în industria construcțiilor, în principal, prin identificarea unor posibilități de utilizare a aerogelului în construcții și stabilirea performanțelor soluțiilor respective, în diverse condiții de aplicare, alcătuirea unei baze de date semnificative pentru cei interesați.

## 2. AEROGELUL-NANOMATERIAL CU PERFORMANȚĂ TERMICĂ, ACUSTICĂ ȘI OPTICĂ RIDICATĂ

### 2.1. Noțiuni generale

La sfârșitul secolului XX, reluând o idee din anul 1930, a fost dezvoltat un material deosebit, considerat de specialiști, revoluționar, tot așa cum s-a întâmplat cu fibra de carbon în anii '80 și cu siliciul în anii '90. Este vorba de **aerogel**, un fel de fum înghețat, definit ca fiind cea mai ușoară substanță solidă din lume, are compoziția chimică similară cu a sticlei, dar e de peste o mie de ori mai puțin dens ( $2,2 \text{ g/cm}^3$ -sticla de siliciu), fiind compus din peste 95% aer. Aerogelul se obține extrăgând componenta lichidă dintr-un gel prin uscare supercritică. Aceasta permite lichidului să se retragă încet fără a cauza matricii solide a gelului o contracție prin acțiune capilară, cum s-ar produce la o evaporare convențională. Apoi, spațiul se înlocuiește cu un anumit gaz. Astfel, în masa sa apar milioane de pori minusculi.

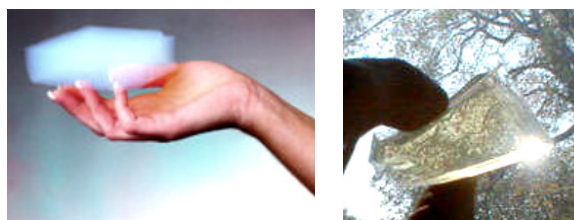
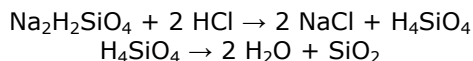
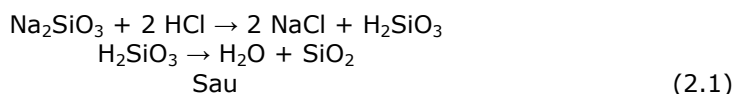


Fig. 2.1. Aerogel compact

### 2.2. Metode utilizate pentru obținerea aerogelurilor

#### 2.2.1. Metoda Kistler

Primele aerogeluri s-au produs prin extragerea apei din silica-geluri și apoi înlocuirea sa cu un anumit gaz, precum dioxidul de carbon. Prima sinteză îi aparține lui Steven Kistler în anii 1931/32. El a dezvoltat, primul, o metodă de uscare a unui gel, fără ca acesta să sufere o contracție. Munca ulterioară a lui Kistler a implicat aerogeluri bazate pe oxid de aluminiu, crom și tin-oxid. Aerogelurile se pot obține, practic, din oxizi metalici sau amestecuri ai oxizilor metalici, din polimeri, carbon, sau diverse alte materiale. Kistler utilizează silicatul de natriu pentru că el se amestecă cu apa și formează o soluție (silicat de sodiu, sticlă solubilă). După adăugarea acidului clorhidric ca aditiv de precipitație (reacție de precipitație), cu timpul, particulele de acid silicic, care datorită mișcării browniene a moleculelor s-au împrăștiat în soluție și s-au ciocnit, au fost, de asemenea, suprimate:

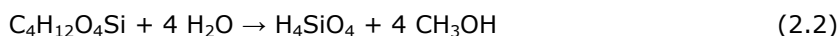


Prin responsabilizare progresivă , cu timpul, aceste particule au fost aglomerate și, în decursul unei zile, a rezultat un gel cu o structură sub formă de rețea. După aceea clorura de sodiu și acidul clorhidric în exces au fost clătite cu apă (aquagel) și a urmat un transfer cu alcool (alcogel). Acest pas este necesar deoarece, altfel, apa ar distruge structura gelului în următoarele procese. Dacă alcoolul se evaporă încet , pe baza forțelor de suprafață ce acționează, meniscurile (semilunele) ce se provoacă se „ascund” în gel și îi determină această structură filoniană. De aceea nu a fost posibilă o contracție a gelului și s-a obținut o structură cu aproximativ 50% porozitate.

Kistler a utilizat pentru uscare autoclavizarea și a ridicat temperatura și presiunea deasupra punctului critic, obținând astfel un fluid supercritic. Acest procedeu a fost denumit *uscare supercritică*. Granița de fază între gaz și lichid a fost, astfel, anulată. Forțele de suprafață care în celălalt caz conduseseră la formarea de meniscuri, nu au mai existat. *Fluidul supercritic* a fost, deci, prin autoclavizare, „suflat” la uscarea produsului și, în final, a devenit aerogel. Aerogelul a păstrat mărimea și forma gelului inițial, Kistler aducând silicat-aerogelurilor fabricate o densitate de 30-300 kg/ m<sup>3</sup> și o porozitate 86-98%. Metoda de fabricație a lui Kistler a avut dezavantajul să fie lungă și complexă, referindu-ne, în special, la schimbarea solvenților înainte de evaporarea alcoolului.

### 2.2.2. Procedeu lui Teichner-procesul Sol-Gel

Stanislas Teichner a încercat în 1960 să reproducă la Universitatea din Lyon procedeele Kistler. El avut, însă, nevoie de săptămâni ca să producă o probă mică de aerogel. Ca alternativă, a dezvoltat în 1968 , procesul sol-gel utilizat astăzi ca procedură standard, care, după 1986, a fost îmbunătățit. Materia primă este aici otrăvitorul tetramethylorthosilikat (TMOS), care după ecuația reacției descrise mai jos , cu o cantitate definită de apă, în prezența unui catalizator, hidrolizează încet cu acidul silicic și metanolul.



Acidul silicic se descompune în apă și SiO<sub>2</sub>-Tetraeder. Acestea se amestecă, în continuare, într-un gel. Uscarea alcogelului format are loc asemănător procedeelelor Kistler, când se prezintă o valoare critică a metanolului la 239,4 °C și 80,9 bar. Însușirile aerogelului , în special structura și densitatea, pot fi influențate prin alegerea catalizatorului, valorii pH sau proporției substanțelor conținute, în special a metanolului. Procedeu se utilizează astăzi la DESY și în Lund. În principiu se pot lua în considerație oxizii metalici, polimerii și diverse alte materiale ca bază de pornire pentru sinteza aerogelurilor prin intermediul unui procedeu Sol-Gel.

### 2.2.3. Procedeu Hunt

Printr-un alt procedeu, o echipă de cercetare condusă de Arlon Hunt de la Universitatea Berkeley din California, a produs bucăți de aerogel tot din otrăvitorul tetramethylorthosilikat (TMOS) provenit din Tetraethylorthosilikat (TEOS). În plus, s-a înlocuit etanolul inflamabil cu dioxid de carbon, proces care, în toate cazurile, este prea lung. Un avantaj este temperatura critică a dioxidului de carbon, relativ redusă la 31 °C, grație căreia procesul de uscare este ușurat esențial.

### 2.2.4. Procedeu Ludwigshafen



Fig. 2.2. Aerogel granulat

Un alt procedeu s-a aplicat la Ludwigshafen pentru BASF, unde s-a produs, în special, granulat de aerogel, granulele având diametrul de cca 1-6 mm și densitatea de aproximativ 200 kg/m<sup>3</sup>. În reacție s-au introdus acidul sulfuric și silicatul de sodiu, într-o anumită doză de amestec. Apoi s-a venit pentru prepararea sărurilor care s-au spălat. Avantajul acestui procedeu sunt costurile reduse, dezavantajul sunt

proprietățile, în special, cele optice, proaste ale granulatului.

### 2.2.5. Procedeu Lund

Aerogelul este un produs al proiectelor de cercetare în fizica particulelor elementare de la CERN, Centrul european de cercetare nucleară de la Geneva (Elveția). Într-un experiment propus în 1977 a rezultat un material cu proprietăți foarte speciale. Acest material cunoscut azi și sub numele de „*airglass*” a fost dezvoltat la Universitatea din Lund (Suedia). Dezvoltarea a continuat la universitate până în anul 1982. Atunci, potențialul materialului a fost considerat atât de bun, încât s-a construit o fabrică specială cu sprijinul financiar al Comitetului de Dezvoltare Tehnică, Consiliului de cercetare a clădirilor, Fundația Knut și Alice Wallenberg, Universitatea din Lund, Consiliul de cercetare științifică al CERN. Această activitate de cercetare a atras atenția întregii lumi, rezultând numeroase alte cercetări pentru informații mai detaliate în laboratoare, precum: Los Alamos National Lab, Fermi National Lab-Chicago, Florida State University, Brookhaven New York, Danish Space Flight Institute-Lyngby, Lapp, Annecy and Nikhef-Amsterdam. Numeroasele cercetări au indicat că aplicațiile *airglass*-ului se pot extinde în multe domenii. Echipele de proiect s-au concentrat pe sticla rezistentă la foc (ex. ușile de furnal, cuptoare), colectoarele solare, sticla izolatoare și echipamentele de aer condiționat.

Posibilitățile comerciale oferite de acest material au fost rapid identificate și metodele de producție utilizate în aplicație au fost brevetate în mai multe țări: SUA, Suedia, Elveția, Germania, Olanda.

### 2.3. Fabricația aerogelurilor

Primele aerogeluri s-au produs prin extragerea apei din silica-geluri și apoi înlocuirea sa cu un anumit gaz, precum dioxidul de carbon. Prima sinteză îi aparține lui Steven Kistler în anii 1931/32. El a dezvoltat, primul, o metodă de uscare a unui gel, fără ca acesta să sufere o contracție. Munca ulterioară a lui Kistler a implicat aerogeluri bazate pe oxid de aluminiu, crom și tin-oxid. Aerogelurile se pot obține, practic, din oxizi metalici sau amestecuri ai oxizilor metalici, din polimeri, carbon, sau diverse alte materiale. În funcție de substanța inițială aerogelurile poartă denumiri diferite, precum:

*Silico-aerogel.* Este cel mai frecvent tip de aerogel și cel mai intens studiat și utilizat. Este o silico-bază ce derivă din silico-gel. Solidul cu cea mai redusă densitate din lume este silico nanospuma la  $1 \text{ mg/cm}^3$  care este versiunea evacuată a aerogelului record de  $1.9 \text{ mg/cm}^3$ . Densitatea aerului este  $1.2 \text{ mg/cm}^3$ .

Silico-aerogelul absoarbe puternic radiațiile infraroșii. El permite construirea de materiale ce lasă lumina în clădire, dar închid căldura pentru încălzirea solară. Are o conductivitate termică extrem de redusă ( $0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  scăzând la  $0,004 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ), care îi conferă proprietăți remarcabile în izolare. Punctul de topire este  $1,473 \text{ K}$  ( $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$  sau  $2,192 \text{ }^\circ\text{F}$ ). Silico-aerogelul deține 15 intrări în Cartea Recordurilor, incluzând cel mai bun izolator și solidul cu cea mai redusă densitate.

*Carbon-aerogel.* Carbon-aerogelurile sunt compuse din particule cu dimensiuni situate în gama nanometrilor, covalent legate între ele. Ele au o porozitate ridicată (mai mare de 50%, cu diametrul porilor mai mic de 100nm) și suprafața specifică între 400–1000  $\text{m}^2/\text{g}$ . Ele sunt fabricate adesea ca hârtie compozită: hârtie ne-țesută fabricată din fibre de carbon, impregnată cu resorcinol-formaldehide-aerogel și pirolizată. Dependent de densitate, carbon-aerogelurile pot fi conductive electric, făcând aerogel-hârtia compozită utilizabilă pentru electrozi în capacitatori sau electrozi deionizatori. Din cauza suprafețelor lor extrem de mari, carbon aerogelurile sunt utilizate pentru crearea supercapacitorilor, cu valori în gama miilor de farazi, cu o capacitate de  $104 \text{ F/g}$  și  $77 \text{ F/cm}^3$ . Carbon aerogelurile sunt, de asemenea, extrem de „negre” în spectrul infraroșu, reflectând doar 0,3% din radiațiile cu lungimea de undă între 250 nm și  $14.3 \mu\text{m}$ , fapt ce le face eficiente pentru colectarea de energie solară. Termenul „aerogel” a fost incorect utilizat pentru a descrie masa bine aerată a nanotuburilor de carbon produse printr-o depunere pe care vaporii de material o țin cu o forță Kevlar mai mare și proprietăți electrice unice. În orice caz, aceste materiale nu sunt aerogeluri, pentru că ele nu au o structură internă monolită și o structură regulată a porilor, caracteristice aerogelurilor. Carbon aerogelurile au fost dezvoltate prima dată la începutul anilor 90.

*Alumina-aerogel.* Aerogelurile fabricate cu oxid de aluminiu sunt cunoscute ca Alumina-aerogeluri. Aceste aerogeluri folosesc ca și catalizatori, în special atunci când metalul este « dopat » cu alt metal. Nichel-alumina-aerogelul este cea mai frecventă combinație. Alumina-aerogelul este examinată de NASA pentru blocarea particulelor ;

*SEAgelul* este un material asemănător aerogelului organic, produs din agar.

*Chalcogelurile* sunt aerogeluri produse din chalcogeni (coloana elementelor din tabelul periodic începând cu oxigenul), precum seleniul, platina și alte elemente. Cercetarea continuă urmărește înlocuirea platinei cu metale mai ieftine în producerea chalcogelurilor.



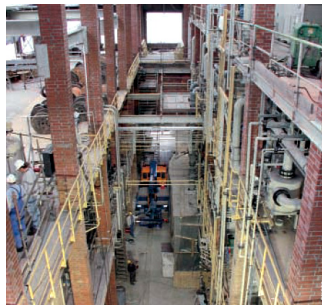


Fig. 2.3. Instalație pentru producerea aerogelului la Cabot Corporation

*Nanogelul.* În anul 1998 Cabot Corporation din Frankfurt am Main, printr-un proiect îndrăzneț, a demarat punerea în aplicare a unei idei a anilor 90, și anume, producerea la scară industrială a aerogelului. Astfel, la Siemens Axiva în Frankfurt pe Main, a început construirea primei instalații din lume, de producere industrială a aerogelului, având o capacitate inițială de producție de 1000 tone/an cu tendințe de extindere la 10000 tone/an. În septembrie 2002 s-a produs prima bucată de aerogel « autentic » la Siemens Axiva, în condiții de producție industrială.

Aerogelurile se pot obține, practic, din oxizi metalici sau amestecuri ai oxizilor metalici, din polimeri, carbon, sau diverse alte materiale. La Cabot, s-a folosit ca « schelet » dioxidul de siliciu. Chiar dacă aerogelul este menționat încă din 1935, procesul de fabricație nu a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă până la Siemens Axiva. Înainte de toate, procesul de uscare al aerogelului trebuia să aibă loc în condiții "supercritice". Dezvoltarea noilor procedee făcea posibilă producerea aerogelurilor prin aceste binevenite procedee de uscare și a deschis calea producției industriale. Cu ajutorul instrumentelor de simulare computerizate s-a dezvoltat o doză de amestec specială, brevetată la Siemens Axiva, cu particule de siliciu, cu extrem de bune proprietăți de curgere și rezistență foarte ridicată la uzură.

## 2.4. Însușiri și structură

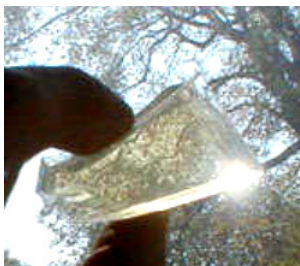


Fig. 2.4. Airglass- aerogel compact

La prima vedere *airglass*-ul arată ca un geam normal de fereastră. Marea diferență este că e mult mai strălucitor. Airglass este compus majoritar din silicați; este poros, transparent, cu proprietăți foarte bune de izolare. Airglass este foarte fragil, dar ameliorarea elasticității este în progres. În anumite situații, poate fi întărit cu fibră de sticlă. La atingere aerogelul se simte ca o spumă rigidă, ceva între polistirenul expandat și spuma polimerică. Contrar a ceea ce poate sugera numele, aerogelurile sunt materiale uscate și nu se aseamănă gelurilor în proprietățile fizice, ci unor nanospume (numele provine de la faptul că ele derivă din geluri). O apăsare ușoară nu lasă urmă în aerogel. O presiune mai fermă, însă, lasă o amprentă permanentă. O astfel de presiune poate cauza o cedare a structurii seci, determinând zdrobirea materialului ca la sticlă, proprietate cunoscută sub denumirea de *friabilitate*. În ciuda tendințelor sale casante, aerogelul are o structură foarte puternică. Capacitățile sale sub sarcină sunt impresionante.

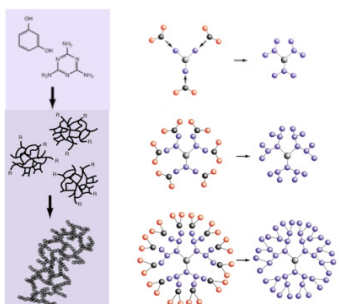


Fig. 2.5. Mănunchiuri (tufe) de particule spongioase(buretoase) .

Ele sunt determinate de microstructura dendritică, în care particulele sferice cu secțiunea de 2-5 nm formează împreună, mănunchiuri(tufe). Aceste mănunchiuri tridimensionale au o structură foarte poroasă datorită lanțurilor fractale cu pori mai mici de 10nm. Mărimea și densitatea porilor poate fi controlată în timpul procesului de fabricație. Aerogelul prezintă o structură puternic dendritică , o așezare a lanțurilor de particule cu foarte multe interspații sub formă de pori deschiși. În fig. 2.6 se poate observa că aceste lanțuri se caracterizează prin numeroase puncte de contact, astfel încât finalmente se obține tabloul unei rețele stabile,

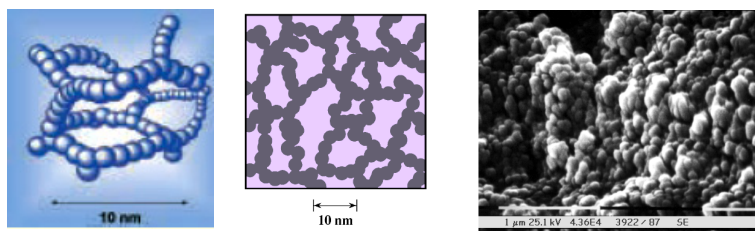


Fig. 2.6. Așezarea lanțurilor de particule în structura spongioasă a aerogelului

Datorită porozității sale ridicate (mărimea porilor se află în domeniul nanometrului și suprafața specifică poate fi mărită, în mod excepțional, până la 1000m<sup>2</sup>/gram), aerogelul poate fi utilizat ca izolator sau material filtru.

În mod deosebit, silicat-aerogel-ul, bine cercetat în mod comparativ, furnizează informații precise asupra spectrului său. Transparența optică ridicată, împreună cu un indice de refracție de cca 1,007 până la 1,24 și o valoare tipică de 1,02, fac interesant aerogelul și în privința optică. Un silicat-aerogel pare pe un fundal întunecat albastru-lăptos, pentru că dioxidul de siliciu pentru lungimile de undă scurte (aceasta înseamnă , partea albastră a luminii albe) răspândește mai mult decât radiațiile lungi. Acest efect poate fi observat și sub forma radiațiilor Rayleigh cu lumina zilei în atmosfera terestră. În ciuda apariției sale transparente, aerogelul are consistența unei spume plastice dure.

Din cauza acestei proprietăți aerogelul apare de la mat până la transparent și poartă « porecle » precum « fum înghețat » sau « fum albastru ». Denumirea silico-aerogel se referă mai mult la structura sa și mai puțin la compoziția chimică a materialului. De ex. SiO(OH)<sub>y</sub>(OR)<sub>z</sub> , cu y și z –parametrii dependenți de procesul de fabricație. Particulele individuale de silicat-aerogel au mărimea de 1 până la 10 nanometri și distanța între lanțuri între 10-100 nm. Porii cilindrici sunt așezați accesibil și posedă, conform definiției, un diametru de 2nm-50 nm, porozitatea situându-se între limitele 80-99,8 %. Densitatea brută este cuprinsă între 0,003-0,5 g/cm<sup>3</sup>, cu o valoare tipică de 0,1 g/cm<sup>3</sup> , în timp ce densitatea netă se ridică la 1,7-2,1 g/cm<sup>3</sup>.

Corespunzător, *silicat-aerogelul* prezintă o suprafață specifică mare : 100-1600 m<sup>2</sup>/g și o valoare tipică de 600 m<sup>2</sup>/g. Conductivitatea termică în aer la 300 Kelvin este 0,017 – 0,021 W/(mK) și o valoare tipică de 0,02 W/(mK), ceea ce conferă aerogelului stabilitate la temperaturi înalte, precum și la condiții extreme, și face din el cel mai bun material izolator termic. De asemenea, prezintă o foarte ridicată

densitate de stare, legată puternic de capacitatea termică specifică la temperaturi ridicate.

Datorită suprafeței sale specifice enorme, aerogelul adsoarbe o cantitate considerabilă de gaz. O mare parte din acest efect este cauzat de polaritatea apei sale. Aeroblocurile, care sunt lăsate în atmosferă, intră, într-un timp scurt, într-o stare de echilibru cu presiunea parțială a vaporilor de apă din mediul înconjurător. Această apă poate fi eliminată prin uscare la temperaturi ridicate. De aceea s-au făcut măsurători termogravimetrice și s-a elaborat un model teoretic pentru uscare și/sau difuzie în aerogel.

Transferul căldurii prin aerogel are loc prin conducție și radiație. Convecția rămâne, din cauza porilor foarte mici, neglijabilă. Descrierea transferului de căldură prin aerogel se face cu dificultate deoarece radiația și conducția sunt cuplate. În aerogel o parte importantă din radiație este adsorbită și, în mod corespunzător, temperaturile locale sunt remise. Astfel, fiecare strat comunică în funcție de distanța liberă între fotoni, mai mult sau mai puțin, cu alte straturi ale sistemului. În același timp, o parte a căldurii este transmisă prin conducție de la strat la strat, conform gradientului de temperatură local. Radiația și conducția sunt interdependente în fiecare loc, ele sunt cuplate permanent.

Grosimea optică finală a aerogelului în domeniul infraroșii conduce la o diminuare a părții radiațiilor. Un astfel de strat selectiv vine înainte de toate în detrimentul transparenței.

Conținând 95% aer el este semitransparent. Culoarea este dată de dispersia Rayleigh a lungimilor de undă scurte a luminii vizibile prin structura dendritică nanodimensională. Transparența aerogelului în domeniu vizibil merită îmbunătățiri: radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală, lipsește doar o parte la sfârșitul albastru al spectrului. Materialul transmite aproximativ 88% din spectrul solar (grosimea 10 mm); o mică parte din lumina transmisă este dispersată.

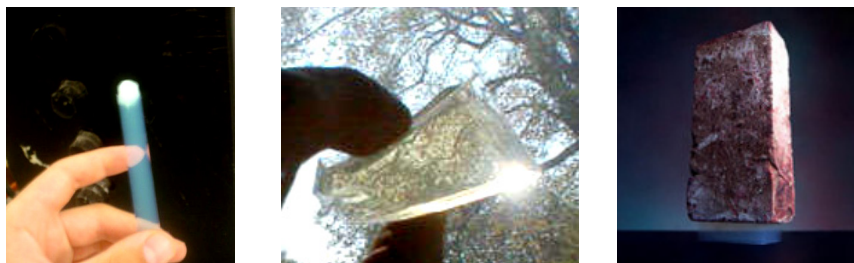


Fig. 2.7. Caracteristici ale aerogelului

O altă însușire este viteza redusă a sunetului 20-100 m/s și o legătură redusă cu impedanța câmpului în aerogel. Modulul de elasticitate variază între 0,002-100 Mpa, cu o valoare tipică de 1Mpa. În mod normal aerogelul poate să reziste la o greutate mai mare de 2000 ori decât greutatea proprie, fără să intre în colaps.

Ex.o bucată de aerogel de 2,5g suportă fără probleme o masă de 2,5kg(de 1000 ori mai mare)(foto dreapta)

Silicat-aerogel-urile nu pot fi amestecate cu metale lichide sau atacate chimic. Dimpotrivă, ele sunt inerte din punct de vedere chimic. Nu sunt toxice și nu sunt inflamabile. Rezistă la temperaturi foarte înalte. Punctul de topire se situează la cca 1200°C.

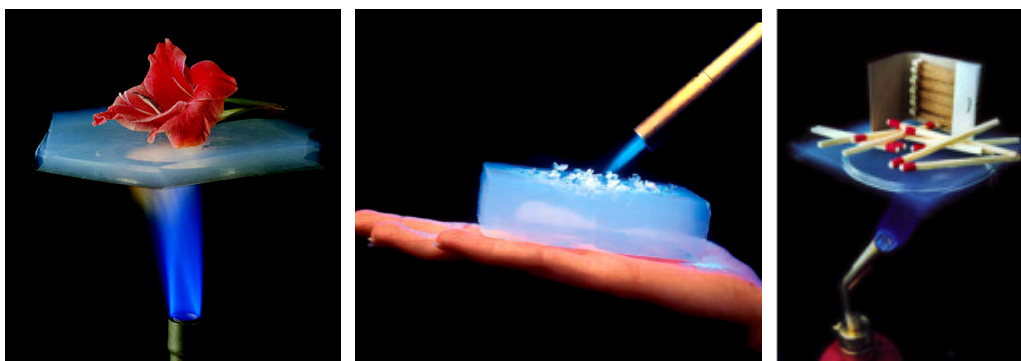


Fig. 2.8. Caracteristici ale aerogelului

Din cauza naturii sale higroscopice, aerogelul se simte uscat și acționează ca un deshidratant puternic. Persoanele care manipulează timp îndelungat aerogelul, trebuie să poarte mănuși de protecție pentru a evita deshidratarea mâinilor. Aerogelurile sunt hidrofile, dar prin tratamente chimice pot deveni hidrofobe. Dacă ele absorb umiditate, în mod normal, suferă o schimbare structurală, precum contracția și deteriorarea, dar degradarea poate fi prevenită prin hidrofobizarea aerogelurilor. Aerogelurile cu interior hidrofob sunt mai puțin predispuse la degradare decât aerogelurile doar cu strat exterior hidrofob, în cazul în care o fisură penetrează suprafața. Tratamentul hidrofob facilitează procedeul deoarece permite tăierea cu jet de apă.

În procesul de fabricație, airglass-ul este modelabil, dând posibilitatea obținerii formelor diferite: cilindrii, cuburi, plăci cu diferite grosimi etc. Din punct de vedere chimic airglass este compus din cuarț și o mare cantitate de aer, ceea ce îl face fragil. Granulele de cuarț sunt mici comparativ cu lungimea de undă a luminii, conferind airglass-ului o transparență bună. La cca 750°C (1380°F), granulele încep să se micșoreze, formând încet o bucată de cuarț obișnuit. Airglass-ul poate fi tăiat cu o bandă ascutită și poate fi găurit cu o bormașină pentru metale.

Densitate	50 - 200 kg/m <sup>3</sup>
Index de refracție	1.02 - 1.05
Coeficient de transfer termic	0.020 W/m°C la 20°C(68°F) crescut la 0.2 la 300°C(570°F)
Nedeformabil	până la 750°C (1380°F)
Compoziție chimică	99.98%SiO <sub>2</sub>
Dimensiunea granulelor	Diametru 10 – 30 nm

Tab. 2.1. Caracteristici ale aerogelului

## 2.5. Domenii de utilizare a aerogelului

Domeniile de utilizare ale aerogelului sunt , datorită proprietăților sale, foarte numeroase. Aerogelul deține 15 intrări în Cartea Recordurilor pentru proprietăți ale materialelor, inclusiv « cel mai bun izolator », « cel mai ușor material », « materialul cu cea mai redusă densitate », etc.

Datorită porozității sale ridicate, aerogelul s-a dezvoltat mai întâi cu intenția găsirii posibilităților de înmagazinare pentru lichide și solide. În anul 1960 aerogelul a fost cercetat pentru capacitatea sa de mediu de înmagazinare pentru combustibili lichizi. Deoarece indicii de refracție al aerogelului se găsește într-un domeniu în care nu este nici gaz , nici solid, aerogelurile s-au dovedit a fi valoroși detectori pentru radiațiile Tscherenkow. În special silicat-aerogelurile care prezentând o conductivitate termică foarte redusă se utilizează ca material izolator cu utilizări speciale.(ex. Izolație transparentă, camerele motoarelor, industria automobilelor.) Carbon-aerogelurile cu conductivitate electrică și stabilitate ridicate, joacă un rol important în cercetarea materialelor pentru electrozi, catalizatori pentru vehicule și supercondensatori.

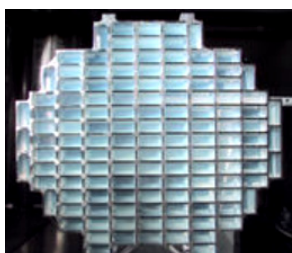


Fig.2.9. STARDUST-colectorul de praf cu blocuri de aerogel

Datorită microstructurii lor, aerogelurile sunt instalate și ca matrici de captare a particulelor de praf. De aceea au fost utilizate și la bordul sondei Stardust, de NASA, pentru strângerea prafului stelar lăsat la trecerea unei comete. Particulele de praf și moleculele adunate au arătat că termic ele nu pot fi distruse. La fel de important este și că pentru prima oară a fost adus, fără prejudiciu, material de pe o cometă.

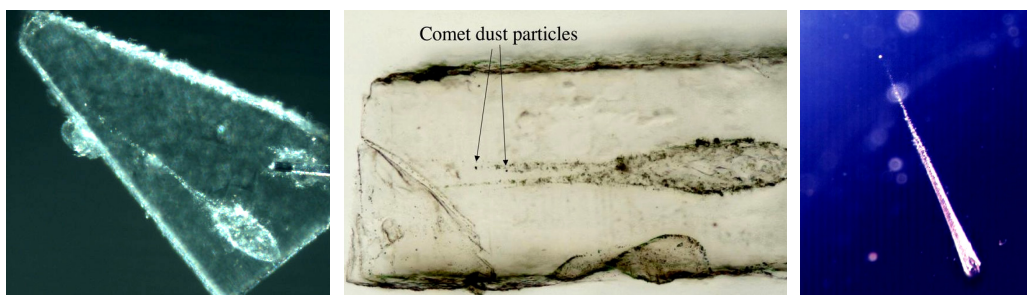


Fig. 2.10. Microstructura aerogelului

Suprafața sa specifică mare conduce la multiple aplicații ca și absorbant chimic în agenții de curățare. Această caracteristică îi conferă un mare potențial ca și catalizator, agent de subțiere în pictură sau în industria cosmeticelor.

Performanța aerogelului poate fi mărită prin aplicații specifice de diversificarea dopanților, întărirea structurilor și hibridizarea componentelor.

Producerea comercială a aerogelului a început în anii 2000. *Blanket aerogel* este un compozit între silico aerogel și fibre de întărire, ceea ce transformă

aerogelul fragil într-un material durabil și flexibil. Proprietățile mecanice și termice ale produsului pot fi modificate pe baza armării cu fibre a matricii aerogelului, precum și prin introducerea diversilor aditivi în compoziția acestuia. În producerea *compositelor de aerogel* s-au utilizat diverse ranforsări continue sau discontinue. Armarea cu fibră de sticlă a produs îmbunătățiri majore ale proprietăților mecanice. Resorcinol –formaldehid-aerogelul (RF aerogel) este fabricat similar silico-aerogelului. Carbon aerogelul este produs din resorcinol –formaldehid-aerogel la piroliza în atmosfera gazoasă inertă și se bazează pe o matrice de carbon. Este disponibilă comercial în forme solide, pudră sau hârtie compozită. Alte tipuri de aerogel, de exemplu cele pe bază de materiale plastice sau carbon, pot avea o însemnătate deosebită pentru utilizări speciale. Aerogel poate proteja incintele de explozii (suportă, fără să pățească nimic, o explozie de 1 kilogram de dinamită), de flăcări (până la temperaturi de 1300 de grade Celsius, poate adsorbi deversările de petrol. Aplicațiile sale sunt practic infinite, cercetătorii descoperind că el poate fi folosit și pentru fabricarea rachetelor de tenis, dar și pentru crearea unor costume extrem de sigure pentru cosmonauți. Iar dacă are la bază platina, aerogelul poate fi utilizat pentru producerea de combustibili pe bază de hidrogen.

*Posibilități de utilizarea aerogelului în construcții*

Aerogelurile aparțin familiei materialelor solide nanoporoase- mărimea porilor unui aerogel se situează în domeniu aproximativ 10 nm, porozitatea depășind 95%. Aceste date de referință îl demonstrează a fi un material cu potențial în industria construcțiilor : izolează termic și fonic mai bine decât vata minerală și styropor-ul (polistirenul expandat) și este mai rezistent termic decât aluminiul. Acest material are multe proprietăți interesante ce conduce la aplicații posibile în izolarea ferestrelor, la colectoarele solare, pereți refractari, componente în echipamente de aer condiționat.

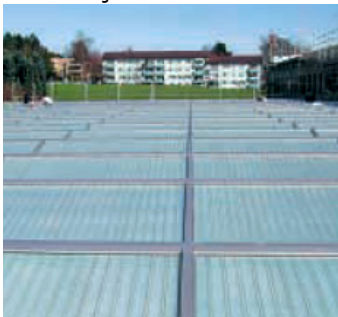


Fig.2.11. Aspectul de sticlă al aerogelului

Aerogelurile sunt translucide, arată precum sticla, lăsând să treacă o parte din lumină, fapt ce poate conduce la dezvoltarea unor posibilități arhitecturale îndrăznețe. După câteva voiaje pe cometa Vomit , o echipă de cercetători a demonstrat că la producerea aerogelului într-un mediu imponderabil se pot produce particule cu dimensiuni mai uniforme și se reduce efectul de dispersie Rayleigh în silico-aerogel, ceea ce face aerogelul mai puțin albastru și mai transparent. Transparența mai mare a silico-aerogelului extinde utilizarea ca material de izolație termică pentru ferestre și luminatoare, pentru pereți de fațadă vitrați, bine izolați termic, limitând semnificativ pierderile de căldură ale clădirilor.

## 3. PRODUSE DIN AEROGEL SAU CU AEROGEL ÎNCORPORAT

### 3.1. Noțiuni generale de higrotermică

Clădirile civile, în care utilizatorul principal este omul, se împart în:

- o clădiri de locuit, cămine, hoteluri
  - individuale – case unifamiliale, cuplate, înșiruite –
  - clădiri cu mai multe apartamente, multietajate de tip bloc cu apartamente
- o clădiri publice sau terțiare (clădiri cu altă destinație decât locuințe)
  - spitale, creșe, policlinici
  - clădiri pentru învățământ (creșe, grădinițe, școli, licee, universități) și sport
  - clădiri social-culturale (teatre, cinematografe, muzee)
  - instituții publice (magazine, spații comerciale, sedii de firme, birouri, bănci) și alte clădiri industriale;

Clădirile cu altă destinație decât cea de locuire se împart după modul de ocupare în clădiri cu ocupare continuă și cu ocupare discontinuă, iar după clasa de inerție termică în clădiri de clasă de inerție mare, medie sau mică. Funcțiunea clădirilor civile este aceea de a crea în interior un climat confortabil, indiferent de sezon. În acest sens, elementele de construcție care alcătuiesc anvelopa unei astfel de clădiri trebuie astfel concepute încât să asigure în interiorul încăperilor condiții corespunzătoare de *confort higrotermic, acustic, vizual-luminos, olfactiv-respirator*. Noțiunea de confort trebuie să sugereze crearea unui mediu corespunzător desfășurării vieții normale.

Confortul higrotermic [57] se traduce în nivele de temperatură și umiditate ușor de suportat. El se realizează cu consum de energie, fie pentru încălzirea spațiului utilizat (iarna), fie pentru răcirea lui (vara). Din acest motiv, confortul higrotermic reprezintă componenta de confort direct legată de noțiunea de eficiență energetică a clădirii în sensul că se urmărește atingerea lui cu consumuri energetice minime. Starea de confort termic dintr-o încăpere se realizează în condițiile în care cel puțin 90% din utilizatori nu pot indica dacă ar prefera o ambianță mai caldă sau mai rece. Identificarea exigențelor de performanță asociate realizării cerințelor de confort termic ale utilizatorilor se face analizând atât aspectul obiectiv legat de necesitatea menținerii temperaturii interne a corpului omenesc în jurul valorii de 37°C, cât și aspectul subiectiv care se referă la metabolismul, sistemul termoregulator și sensibilitățile proprii fiecărui organism.

Confortul termic este definit de totalitatea condițiilor de microclimă dintr-o încăpere care determină o ambianță plăcută în care omul să se simtă bine, nefiind necesară solicitarea sistemului termoregulator al organismului.

Factorii principali ai confortului termic sunt:

- temperatura aerului;
- temperatura medie de radiație;
- viteza aerului;

- umiditatea aerului;
- îmbrăcămintea;
- intensitatea activității fizice.

*Temperatura aerului interior* este cel mai important parametru de confort termic. Totodată, temperatura aerului interior are o importanță deosebită în energetică înțregii clădiri pentru că ea determină consumurile energetice pentru încălzirea, respectiv răcirea, clădirii. Din punct de vedere fiziologic se consideră că temperatura corespunzătoare a aerului interior pentru un individ normal îmbrăcat și fără activitate fizică este de 20 ... 22 °C, iarna și 22 ... 26 °C, vara.

Temperaturile interioare convenționale de calcul ale încăperilor încălzite sunt stabilite de standardul SR 1907-2. Valorile temperaturii interioare, precum și valorile altor parametri de confort, pentru diverse încăperi ale unei clădiri civile sunt prezentate în Tab. 3.1.

Camera	Temp. [°C]	Diferențe de temperatură [°C]	Umiditate relativă [%]	Viteza aerului [m/s]
Camera de zi	20	Pentru pereți < 4,5	35 – 70	0,15 – 0,25
Dormitor	20			
Baie	22			
Bucătărie	18			
Casa scărilor	18			
Birou	20	Pentru terase, planșee sub pod, planșee pe pământ < 3,5		
Săli de clasă	18			
Magazine	18			

Tab. 3.1. Parametri de confort pentru clădiri civile

*Temperatura medie de radiație* este media ponderată cu suprafețele respective a temperaturilor pereților, ferestrelor, plafonului, pardoselii și corpurilor de încălzire din încăpere. Schimbul termic al organismului uman este în funcție de aceste temperaturi. Ideal este ca temperatura medie de radiație să fie cât mai apropiată de temperatura aerului interior. Acest lucru se obține printr-o bună izolare termică a pereților exteriori și ferestrelor și prin dimensionarea corespunzătoare a corpurilor de încălzire (suprafață de radiație cât mai mare, temperatură superficială ridicată).

*Viteza de mișcare a aerului* este un parametru important al confortului termic în încăperile ventilate. Senzația de inconfort, "de curent" este resimțită de ocupanți cu atât mai mult cu cât temperatura aerului în mișcare este mai mică decât temperatura mediului ambiant. La temperaturi uzuale ale aerului interior de 20 ... 22°C viteza aerului trebuie să se situeze între 0,15 și 0,25 m/s. În cazul în care un individ desfășoară o activitate susținută și este bine îmbrăcat se pot admite și viteze mai mari ale aerului.

*Umiditatea aerului* este un parametru important al confortului termic în încăperile climatizate. O parte din pierderile de căldură ale organismului uman este constituită de evaporarea de la suprafața pielii; intensitatea acestui fenomen depinde de diferența tensiunilor de vaporizare între apa de la nivelul pielii și vaporii de apă conținuți în aer. Limitele superioară și inferioară ale nivelului admisibil al umidității relative a aerului din încăperi sunt 70%, respectiv, 35%. Umidități relative ale aerului interior mai mari de 70%, în perioada rece a anului, favorizează formarea condensatului pe suprafața interioară a pereților exteriori, mai ales la izolații termice reduse, ducând la apariția mușgaiului.



*Îmbrăcămintea* are o influență deosebită asupra senzației de confort. Se poate resimți senzația de bine, într-o încăpere mai rece dar îmbrăcat mai gros, precum și într-o încăpere mai caldă, dar îmbrăcat mai lejer. Izolația termică dată de o ținută vestimentară este caracterizată de rezistențele termice ale elementelor îmbrăcăminții.

*Intensitatea activității fizice* determină cantitatea de căldură cedată de corpul uman în mediul ambiant. Cu cât activitatea fizică este mai intensă, cu atât temperatura aerului din încăpere trebuie să fie mai scăzută pentru a se facilita transferul termic și a se resimți senzația de confort. În Tab. 3.2 se dau valorile căldurii cedate de organismul uman, caracteristice diverselor tipuri de activitate.

Activitatea	Căldura cedată [W]
Somn	75
Așezat pe scaun	105
În picioare, relaxat	125
Activitate de secretariat	130
Activitate de laborator	170
Muncă la mașini unelte	190

Tab. 3.2. Căldura degajată de corpul uman funcție de tipul de activitate

#### *Indicatori globali de confort termic*

Pentru a aprecia gradul de confort termic al unei ambianțe se folosesc indicatori globali care însumează efectele separate ale fiecărui factor: temperatură, umiditate, viteza aerului, nivelul activității fizice, îmbrăcămintea etc. Dintre acești indicatori globali se amintesc:

- Indicele de confort termic B (Van Zuilen)
- Indicele de ambianță termică PMV (opțiunea medie previzibilă)

Când acești indicatori au valoarea zero se apreciază că este asigurat confortul termic în încăperea respectivă. Practic, se admite un domeniu de variație al acestor indicatori, -0,5 ... +0,5, pentru zona confortului termic. Determinarea indicelui B se face conform GP 060/2000. Determinarea indicelui PMV se face conform GT 039/2002 și SR ISO 7730.

#### **Confortul vizual și fonic**

##### *Confortul vizual*

Iluminatul dintr-o încăpere trebuie să asigure confortul vizual al persoanelor prin inducerea unor senzații pozitive în timpul activității acestora. Pentru realizarea unui sistem de iluminat care să ofere în încăpere un mediu luminos confortabil este necesar să se acorde atenție următorilor *factori*:

- nivelului de iluminare și uniformității acestuia
- culorii luminii și redării culorilor
- direcționării fluxului luminos
- distribuției luminanțelor
- orbirii
- fenomenului de pâlpâire
- prezenței luminii de zi
- menținerii sistemului de iluminat în timp

Pentru că se fac adesea confuzii legate de mărimile utilizate în analiza luminotehnică, se prezintă pe scurt definițiile acestora.

Fluxul luminos  $\phi$  [lm]- fluxul radiant emis în spectrul vizibil

Intensitatea luminoasă  $I_{\alpha} = d\phi / d\Omega$  [cd]- fluxul luminos pe direcția  $\alpha$ , unde  $d\Omega$  este unghiul solid elementar

Iluminarea  $E = d\phi / dA$  [lx]- densitatea spațială a fluxului luminos pe suprafa. A

*Nivelul de iluminat* trebuie să fie în concordanță cu specificul activității desfășurate în încăperea; el trebuie să fie asigurat pe suprafața de referință - planul util - care poate fi orizontală (masă, birouri), verticală (raft, oglindă) sau înclinată (pupitru, planșetă). În funcție de specificul încăperilor, se recomandă realizarea nivelurilor de iluminare prezentate în Tab.3.3 și Tab.3.4, unde, pentru comparație, sunt incluse și nivelurile de lumină naturală. Valorile corespund standardului DIN 5035.

Destinația încăperii	Nivelul de iluminare [lx]
Suprafață iluminată de soare puternic	10.000
Suprafață iluminată ziua (cer acoperit)	200 - 10.000
Suprafață iluminată de lună plină	0,25
Birouri*	300 - 500
Săli de conferințe	300
Săli de calculatoare sau cu panouri de comandă	500
Săli de desen	750
Hoteluri	200
Magazine: scări interioare	200
zone de prezentare	400
vitrine	1500 - 2500
Spitale: saloane	100 - 150
săli de prim intervenție	500
Școli: săli de curs	300
săli de clasă	400 - 700
laboratoare, biblioteci	100 - 150
săli de desen	750 - 1400
Locuințe : sufragerii	200
dormitoare	150
băi	200
bucătării	150
holuri	100
birouri	300
Saloane de coafură	500
Muzee	300
Biserici, zona publicului	100

Tab. 3.3. Nivelul de iluminare al încăperilor funcție de destinație

*Culoarea luminii* are importanță estetică, funcțională și psihologică. Astfel se recomandă lămpi de culoare: caldă - pentru încăperi amplasate spre nord și puțin vitrate, neutră - pentru încăperi de muncă intelectuală, neutră - pentru încăperi de muncă fizică cu vitrare mare și unde se lucrează numai în timpul zilei, rece - pentru încăperi plasate spre sud și puternic vitrate, precum și pentru încăperile în care activitatea cere atenție și concentrare mărite

Pentru determinarea nivelului de iluminare dintr-un spațiu dat se utilizează luxmetrul.

Descriere	Soare puternic	Cer acoperit	Lumina încăpere	Iluminare culoar	Iluminare minima	Depozite
Nivel de iluminare [lux]	50000	5000	500	50	2	20-75
Descriere	Coridoare si scari	Magazine	Birouri si receptii	Banci si birouri	Linii de asamblare	Scari de evacuare
Nivel de iluminare [lux]	75-200	75-300	300-500	200-1000	300-1000	30-75
Tab. 3.4. Niveluri de iluminare pentru diferite încăperi						

### Confortul fonic

Zgomotul este o suprapunere de sunete, având frecvențe și amplitudini variabile, producând o senzație auditivă considerată jenantă sau dezagreabilă. Arunci când intensitatea sa este importantă, zgomotul are efecte notabile asupra metabolismului și activității intelectuale. Nivelul intensității unui zgomot se măsoară în decibeli, dB. O modificare a nivelului sonor cu 10 dB corespunde aproximativ cu dublarea intensității sonore percepute. Zgomotul resimțit într-o încăpere poate proveni din exterior sau poate fi generat în interiorul încăperii. În Tabelul 3.5 sunt date valorile admisibile ale zgomotelor exterioare.

Locul, zona	Intensitatea zgomotului [dB]	
	ziua	noaptea
In imediata apropiere a locuințelor	55	40
Stațiuni de odihnă și tratament	45	35
Zonă industrială	65	45
Tab. 3.5. Nivelul de zgomot exterior admisibil		

Pentru a avea o ambianță interioară confortabilă din punct de vedere fonic trebuie să nu se depășească în încăperi următoarele niveluri de zgomot:

- camere de locuit : 35 dB
- bucătării: 38 dB
- săli de lectură: 40 dB
- birouri, săli de clasă: 45 dB
- muzică de ambianță: 60 dB
- magazine: 70 dB
- spații tehnice (stații de pompare, centrale termice etc.): 85 dB

Mecanismele de transfer al căldurii [57] sunt: conducția termică, convecția termică și radiația termică. Fluxul de căldură prin anvelopă se poate realiza prin unul, două sau toate cele trei moduri.

*Conducția termică* apare într-un mediu staționar (fie el solid, lichid sau gazos) prin transferul de energie microscopică de la particulele componente (molecule, atomi) cu viteze mari spre cele cu viteze mici, ca urmare a ciocnirilor inerente dintre particule. Ca urmare, conducția termică se realizează mai bine prin solide și lichide decât în gaze, unde densitatea de particule este scăzută. Materialele izolatoare termic au adesea o structură poroasă, cu spații umplute cu aer, reducând astfel fluxul de căldură prin anvelopă. Proprietatea materialelor de a transfera căldura prin

conducție se numește conductivitate termică, iar valorile ei sunt dependente de temperatură.

*Convecția termică* apare între o suprafață și un fluid în mișcare, realizându-se prin acțiunea combinată a conducției termice prin fluid și a mișcării macroscopice de ansamblu a fluidului. Aceasta din urmă este în mare parte responsabilă de transportul de energie microscopică între suprafață și fluid. Într-o încăpere neizolată, de exemplu, aerul adună căldura de la peretele cald, apoi circulă, ajungând la peretele rece prin care ea se pierde. O parte a căldurii se transferă și prin amestecarea aerului cald cu aer rece. Convecția termică este de două feluri: *convecție forțată*, atunci când mișcarea fluidului este impusă cu mijloace mecanice (cu pompe, ventilatoare etc.) sau naturale îndepărtate (vânturile); și *convecție naturală*, atunci când mișcarea fluidului se naște natural din diferențele de densitate generate de diferențele de temperatură locale (fluidul mai cald urcă, iar cel rece coboară, formându-se așa numiții curenți convectivi).

*Radiația termică* reprezintă energia emisă sub forma undelor electromagnetice, ca urmare a modificărilor intervenite în configurația electronică a corpului emitor. Radiația termică se manifestă la orice nivel de temperatură și, spre deosebire de conducție și convecție, nu necesită un mediu transportor. Sunt situații în care radiația termică este mică, chiar neglijabilă, în comparație cu celelalte moduri de transfer (la diferențe mici și medii de temperatură), sau sunt situații în care radiația termică este dominantă (la diferențe mari de temperatură, precum radiația incidentă de la soare, sau pe timp de noapte spre spațiul atmosferic îndepărtat). Dacă o persoană stă în fața unei ferestre reci, ea pierde căldură și simte frig, chiar dacă temperatura aerului la interior este ridicată.

O izolație termică funcționează bine, dacă este montată corespunzător în pod, subsol și pe pereții exteriori. Izolația trebuie să umple spațiul complet și uniform. Orice porțiuni goale sau colțuri vor permite apariția convecției termice, compromițând complet izolația și determinând neplăcuta apariție a punților termice.

Punțile termice trebuie evitate oriunde este posibil. După cum sugerează și numele, puntea termică reprezintă o porțiune de anvelopă cu rezistența termică conductivă mai mică, permițând astfel transferul preferențial al căldurii prin acea porțiune (de exemplu, o grindă în perete). Atunci când izolația se aplică peste una din fețele punții termice, ea acționează ca o barieră, blocând fluxul de căldură.

Izolația trebuie să aibă grosimea permisă de mărimea spațiului și, atunci când este formată din material moale și poros, ea trebuie să aibă densitatea corespunzătoare pentru a forma rezistența termică necesară.

#### *Noțiuni specifice suprafețelor vitrate*

Coeficientul "g" de trecere a energiei. Expunerea pasivă la radiația solară se face pe întregul spectru care compune radiația luminoasă: razele UV, invizibile și radiația termică de infraroșu. Coeficientul care măsoară transmiterea radiației solare este coeficientul "g" de transmitere a energiei. Mărimea acestuia este puternic influențată de calitatea materialelor, grosimea și culoarea materialelor utilizate.

Coeficientul "t" de trecere a luminii. Pentru proiectarea iluminatului de zi, determinant este coeficientul "t", care reprezintă coeficientul de trecere a luminii. Acest factor este influențat de calitatea materialului ales, grosimea acestuia și culoarea suprafeței de trecere a luminii.

Coeficientul "K" de conducție termică. Coeficientul de transfer a căldurii "k" pentru cupole și luminatoare este determinat de grosimea materialelor alese, capacitatea de transfer a căldurii, distanța între membrane precum și de transferul de căldură între partile interioare și exterioare.

Utilizarea anumitor materiale pentru cupole și luminatoare este determinată de influența simultană a celor trei coeficienți menționați anterior. Acești coeficienți se influențează și reciproc. Coeficientul de trecere a luminii permite o iluminare suficient de puternică, dar însoțită și de transfer de energie. Pierderea termică prin transmisie este în schimb mare deci coeficientul "k" devine nefavorabil. Iarna, când soarele strălucește, o cantitate mare de energie solară se poate valorifica, vara în schimb se poate naște o încălzire prea puternică și nedorită. Fata de aceasta o construcție care dispune de o suprafață cu un coeficient de trecere mai redus al luminii poate duce la o transmitere a unei cantități mai reduse de lumină și energie. Teoretic sunt posibile următoarele combinații:

a) Trecere puternică a luminii, izolație termică redusă. O deschidere redusă a luminatorului prezintă un grad redus de izolare termică ce poate fi compensat. Dar din punct de vedere al iluminatului va apărea o iluminare punctiformă, care este insuficientă. Afară de aceasta există pericolul formării condensului și implicit apar pericolele prin umidizarea elementelor luminatorului.

b) Trecere redusă a luminii, izolație termică bună. În acest caz va trebui să se conteze pe suprafețe de deschidere mare. La un element de luminator se consideră ca valoarea  $k=2 \text{ Kcal/m}^2\text{K}$  de izolare termică este adecvată și deasupra valorii uzuale  $k_u=0,2 \text{ kcal/m}^2\text{K}$  care nu permite trecerea luminii. Diferența mare dintre  $k$  și  $k_u$  se compensează pe întreaga construcție prin costuri importante.

c) Trecere medie de lumină, izolare termică medie. Cu suprafețe de deschidere medie, ce permit trecerea luminii, se poate realiza o iluminare satisfăcătoare. Raportul suprafețelor ce permit trecerea luminii și cele ce nu permit, poate influența izolarea termică. Bilanțul termic rezultat, inclusiv câștigul de energie solară se poate evalua doar pozitiv. Totodată permite economisirea luminii artificiale. Desigur soluția corectă este în orice caz un compromis, cu scopul, de-a combina anumite proprietăți astfel încât să se realizeze optimul economic.

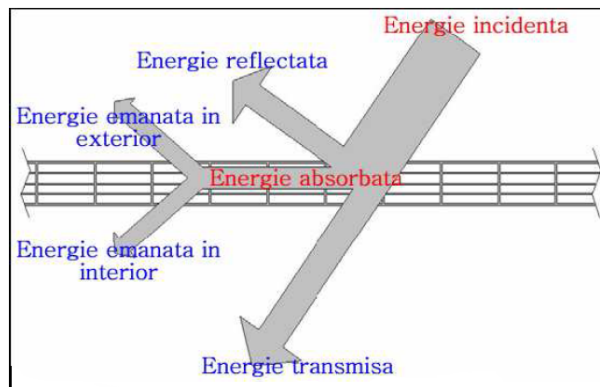


Fig. 3.1. Modalități de transmitere a energiei exprimată prin coeficientul  $g$

		Trecerea luminii (%)	Valoare g (%)	Valoare k (Kcal/m <sup>2</sup> K)
Cupola cu acril	Cu 1 strat	80-95	70-90	4,9-6,0
	Cu 2 straturi	65-80	50-80	2,5-3,5
	Cu 3 straturi	50-70	30-60	1,8-2,4
Fasie luminatoare	Cu 2 straturi	60-80	65-75	2,9-3,3
	Cu 3 straturi	50-70	55-70	2,4-2,7

Tab.3.6. Valori ale diferiților coeficienți pentru elemente vitrate de acoperiș

Element de construcție	GROSIME (cm)	VALOARE U (W/m <sup>2</sup> K)
Perete exterior din beton fara termoizolatie	25	3,3
Perete exterior din zidarie	24	cca 1,5
	36,5	cca 0,8
Perete exterior din (17,5 cm) cu termoizolatie	30	Cca 0,32
Perete exterior din caramida porozitate ridicata	50	0,17-0,23
Perete exterior din lemn (fara termoizolatie)	20,5	0,5
Perete interior caramida	11,5	3,0
Usa exterioara din lemn sau plastic	-	3,49
Acrilglas (plexiglas)	5 mm	5,3
Fereastra simpla	4 mm	5,9
Fereastra dubla		3,0
Fereastra cu sticla termoizolatoare	2,4	1,3
Element transparent din policarbonat	5	0,83
Fereastra in standard de casa pasiva		0,5-0,8

Tab.3.7. Valori ale coeficientului de transfer termic U pentru elemente ale anvelopei clădirii

Policarbonatul celular (alveolar) se realizează în diverse variante:

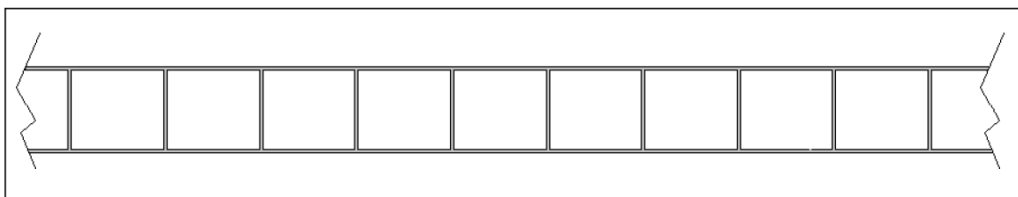


Fig.3.2. Panou policarbonat 2 pereți-1 celulă

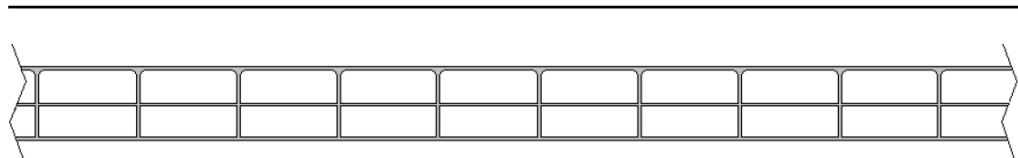


Fig.3.3. Panou policarbonat 3 pereți-2 celule

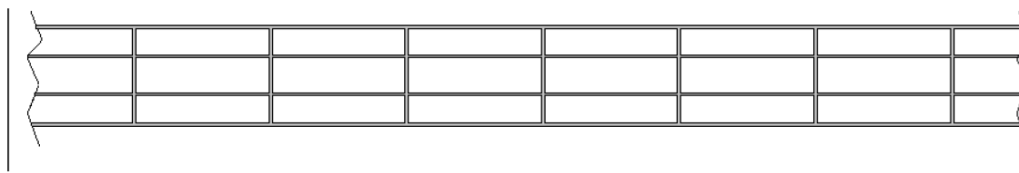


Fig. 3.4. Panou polycarbonat 4 pereți-3 celule

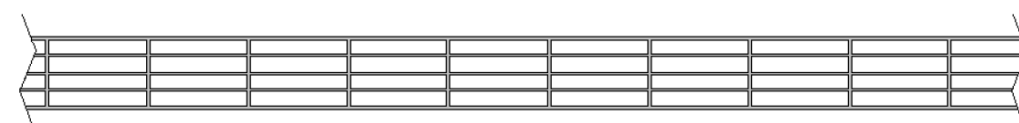


Fig. 3.5. Panou polycarbonat 5 pereți-4 celule

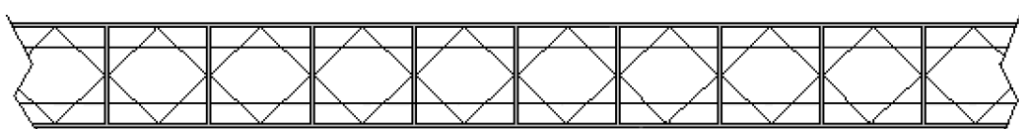


Fig.3.6. Panou polycarbonat cu structură fagure

*Coeficientul de transfer termic U* măsoară pierderile de căldură ale suprafeței vitrate. Cu cât mai mică valoarea  $U$ , cu atât e mai bună izolarea.

Coeficientul de trecere a energiei  $g$  măsoară transmisia energiei totale prin suprafața vitrată. În funcție de scopul vizat, valoarea acestuia poate conduce la diverse interpretări: o valoare  $g$  mai mare înseamnă utilizarea termică suplimentară și gratuită a radiației solare, dar pe timp de vară un confort termic redus; un  $g$  cu valoare mică înseamnă reducerea încălzirii încăperilor din timpul verii din cauza radiației solare. Gradul de transmisie de energie  $g$  este o mărime ce caracterizează elementele transparente de construcții, din punct de vedere al transportului de energie. Valoarea  $g$ , ca transmisia de energie totală, este suma dintre radiația solară directă și căldura transmisă la interior prin radiație și convecție. Ex. Un geam simplu alb cu  $g = 0.85$  sau 85%, înseamnă că 85% din energia radiată poate fi transmisă în camera din spatele sticlei. Sticla cu protecție solară cu  $g = 0,30 - 0,50$ , înseamnă că doar 30% - 50% din energia radiată este transmisă în spațiul din spatele sticlei. Această sticlă este adesea folosită la realizarea fațadelor complet vitrate fără protecție solară pentru a reduce căldura radiată la interior.

Gradul de reflexie a luminii. Proporția de lumina vizibilă (pentru câmpul de radiație 380 nm la 780 nm), ca procent, pe care suprafața superioară a sticlei o reflectă. Un grad ridicat de reflexie a luminii, înseamnă o reducere a efectului de orbire la interior.

Valoarea transmisiei luminii. Indică, în procente, proporția în care lumina vizibilă (pentru gama de radiații de la 380 nm la 780 nm), este lăsată să treacă prin sticlă, și este dependentă de grosimea sticlei și de stratul de acoperire. O mai mare valoare de transmitere a luminii, înseamnă o mai mare utilizare a luminii naturale.

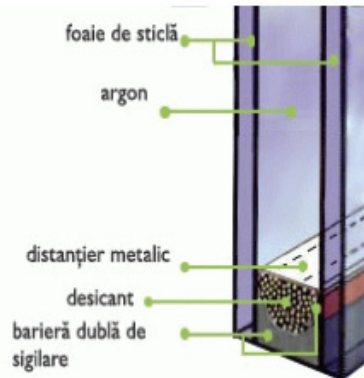


Fig. 3.7. Structura geamului termoizolant

*Geamul termoizolant* este un ansamblu format din două foi de sticlă, între care există un strat termoizolant gazos, care poate fi aer sau un gaz inert; performanțele de calitate se diferențiază în funcție de tipul de sticlă folosit, grosimea stratului gazos, mediul de gaz utilizat, realizarea etansării perfecte a spațiului dintre foile de geam. Geamul termoizolant, separă în general două medii aflate la temperaturi diferite. Are loc deci, un transfer de căldură de la mediul cald la cel rece. Geamul termoizolant are în același timp particularitatea de a fi transparent la radiația solară care generează căldură. Performanțele diferitelor tipuri de geamuri termoizolante se evidențiază prin coeficientul de transfer termic –  $U_g$  – măsurat în  $W/m^2K$ . Valoarea cât mai scăzută a  $U_g$  va asigura sporirea gradului de confort. La geamul simplu de 4 mm grosime  $U_g=5,4 W/m^2K$ ; geamul termoizolator clar cu aer are coeficientul de transfer termic  $U_g=2,8 W/m^2K$ , iar un geam termoizolator cu Low-E (obținut prin depunerea pe sticlă float, a unui strat de metal nobil, argint, de dimensiuni microscopice, imperceptibil pentru ochiul uman, cu rol de a reduce pierderile de căldură) cu aer are  $U_g=1,4 W/m^2K$ . Dacă înlocuim aerul cu un strat de gaz cu coeficient de conductivitate termică scăzut (Argon, Krypton, Xenon etc.), putem obține coeficienți de transfer termic mai mici. Spre exemplu dacă introducem în cavitatea geamului termoizolator cu Low-E argon (incolor, inodor, non-toxic) sau kripton (gaz nobil, incolor, fără miros și fără gust), coeficientul de transfer este de 1,1 respectiv 1,0  $W/m^2K$ . Cu xenon (gaz fără miros și fără culoare; se lichefiază la  $-108^\circ C$ ; lichidul este incolor; în stare solidă se prezintă sub forma unei mase albe) coeficientul de transfer termic al geamului poate fi scăzut sub  $1W/mpK^\circ$ . Sticla transparentă, perfect plană, obținută prin procedeul float (la 2000 grade Celsius sticla topită curge pe o baie de cositor).



Fig. 3.8. Sticla float

*Sticla float* este o sticlă transparentă, de înaltă calitate, obținută prin procedeul de fabricație flotare, procedeu ce garantează fețe perfect paralele și plane ale sticlei. Geamul termopan float clar poate folosi sticla cu grosimi între 3 și 10 mm, în funcție de necesități și acoperă o gamă largă de aplicații care necesită geam neutru transparent.



Geamul cu protecție solară se obține prin folosirea în cadrul pachetului termoizolant a sticlei reflectorizante. În acest fel se asigură reducerea cantității de lumină și căldura provenită din radiația solară. Cele mai importante tipuri de sticlă cu protecție solară sunt: sticle colorate în masă și sticle reflexive. Folia de protecție solară are rolul de a diminua căldura și a micșora strălucirea soarelui, astfel încât vara temperaturile din interiorul camerelor poate să scadă cu (3 - 7) °C;



Fig. 3.9. Geam cu protecție solară termică este mai bună.

Valoarea coeficientului "U" conform EN 673 în cazul geamului termopan exprimă cantitatea de energie (măsurată în unitatea Watt) care se pierde prin suprafața de 1m<sup>2</sup> în fiecare secundă, în condițiile în care în interior sunt 20°C iar afară -10°C. Această valoare diferă de coeficientul "Uf" total al ferestrei (care se calculează separat luând în calcul și valorile k ale profilelor tamplăriei folosite și a baghetei distanțier dintre cele două foi de sticlă ale unui geam termopan). Această valoare cu cât este mai mică cu atât izolația

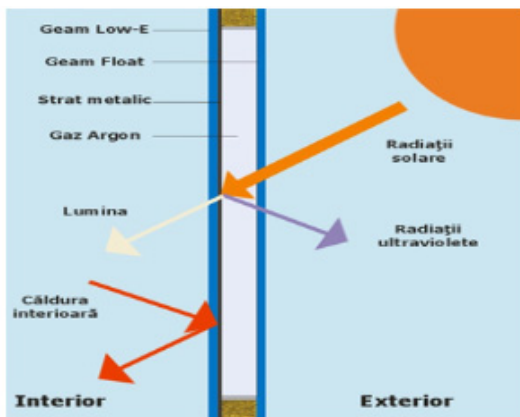


Fig. 3.10. Sticla tip Low-E

Sticla tip Low-E este un caz special al sticlei termoizolante ce se impune din ce în ce mai mult pe piața datorită excelentelor calități de izolare termică.

Denumirea de Low-E, se traduce prin emisivitate redusă, adică un transfer de căldură prin suprafața vitrată mult redus, și este obținută prin tratarea unei foi de geam cu soluție specială de nitrat. Datorită faptului că pelicula depusă este foarte sensibilă la zgărieturi și agenți externi, întotdeauna pelicula va fi poziționată în interiorul geamului termoizolant.

Geamul termoizolant, separă în general două medii aflate la temperaturi diferite. Are loc deci, un transfer de căldură de la mediul cald la cel rece. Geamul termoizolant are în același timp particularitatea de a fi transparent la radiația solară care generează căldura.

Geamul "Low-E" este prescurtarea termenului "low emissivity", termen ce definește caracteristica de transfer termic scăzut. Geamul low-e se obține prin depunerea pe una dintre suprafețele geamului a unui strat de metale nobile, prin pulverizarea catodică sub vid, permițând astfel o îmbunătățire a capacității de izolare termică a suprafețelor vitrate duble prin ameliorarea fenomenului de conducție a căldurii.

Geamul low-e împiedică transferul de căldură din și spre exterior; frigul iernii și canicula verii vor rămâne afară, iar în casă va fi o temperatură plăcută. Geamul low-e nu poate fi deosebit cu ochiul liber, ci numai cu un aparat special de măsurare. Normele europene în vigoare impun folosirea geamului low-e, iar diferența de preț

intre geamul low-e si cel simplu este de cativa euro pe mp, ceea ce face ca geamul low-e sa fie de preferat celui simplu.

Sticla 4 anotimpuri. Datorita faptului ca inglobeaza in ea calitatile unei sticle Low-E si ale unei sticle reflexive: pe timp de iarna are un coeficient de izolare termica tot de 1.1 W/m<sup>2</sup>K, iar vara, spre deosebire de Low-E are un factor solar situat intre cel al unei sticle reflexive si cel al unei sticle colorate in masa. Cu alte cuvinte, avantajul acestei sticle in comparatie cu sticla Low-E consta in faptul ca pe timp de vara ofera o protectie solara ridicata fata de sticla Low-E standard. Un alt avantaj fata de sticla reflexiva standard este ca are un factor de transmisie luminoasa mult mai bun.

Tip geam termopan 24 mm	Configurație	Valoare U EN 673 [W/m <sup>2</sup> K]
Low-E+Float, 24 mm	G4-16(Argon)-G4	1,2
Low-E+Float	G4-16-G4	1,4
Float+Float	G4-16-G4	2,7
Solar 4S+Float	G4-16(Argon)-G4	1,1
4 Anotimpuri+Float	G4-16(Argon)-G4	1,1
Fumuriu+ Low-E	G4-16-G4	1,4
Krizet(Mat)+Float	G4-16-G4	2,7
Ornament(orce model) +Float	G4-16-G4	2,7
Ornament(orce model) +Low E	G4-16(Argon)-G4	1,2
Reflexiv Bronze+Low E	G4-16(Argon)-G4	1,2

Tab.3.8. Valori ale coeficientului de transfer termic U pentru diferite tipuri de geam termopan

Schimburile termice. Peretii vitrati separa in general doua medii aflate la temperaturi diferite. Are loc deci, un transfer de caldura de la mediul cald la cel rece. Peretele vitrat are in acelasi timp particularitatea de a fi transparent la radiatia solara care genereaza caldura. Schimburile termice de-a lungul unui perete se fac in conformitate cu trei modele de propagare: *conducția*– transferul de caldura in interiorul unui corp sau intre doua corpuri aflate in contact direct. Acest transfer se efectueaza fara deplasare de materie. Conductivitatea termica a sticlei este  $\lambda = 1,0$  W/(m.K); *convecția*– transferul de caldura intre suprafata unui solid si a unui fluid lichid sau gazos. Acest transfer este insotit de o deplasare de materie; *radiația* – transferul de caldura rezultat dintr-un schimb prin radiatie intre doua corpuri aflate la temperaturi diferite. La temperatura ambianta, aceasta radiatie se situeaza in gama infrarosu cu lungimi de unda mai mari de 5 microni; *emisivitatea* - este o caracteristica a suprafetelor unui corp. Cu cat emisivitatea este mai mica, cu atat transferul de caldura prin radiatie este mai mic. Emisivitatea normala a sticlei  $\epsilon_n = 0,89$ . Anumite tipuri de sticla, pot fi acoperite cu o depunere numita "de joasa emisivitate" si astfel, emisivitatea sticlei va fi mai mica de 0,1.

Coeficienti de schimb superficial .Cand un perete este in contact cu aerul, el schimba caldura prin conductie si prin convecție cu aerul, si prin radiatie, cu mediul. Ansamblul acestor transferuri termice, este definit intr-o maniera conventionala, pentru o anumita viteza a vantului, de emisivitatile si temperaturile intalnite in jurul cladirii. Ele sunt caracterizate de:  $\alpha_e$  - pentru schimburile exterioare, si  $\alpha_i$  - pentru schimburile interioare. Valorile uzuale ale acestor coeficienti sunt:  $\alpha_i=8$  , si  $\alpha_e=24$ .

Transferurile termice de-a lungul unui element prin conductie, convecție si radiatie, se exprima prin coeficientul "U". Acesta reprezinta fluxul de caldura care traverseaza 1 m<sup>2</sup> de perete, la o diferenta de temperatura de 1°C între exteriorul si interiorul incaperii. Valoarea sa conventionala a fost stabilita pentru coeficientii "  $\alpha_e$  " si "  $\alpha_i$  ", definiti anterior. Exista posibilitatea de a calcula coeficientul "U" specific, utilizand valori diferite pentru "  $\alpha_e$  ", care sunt functie de viteza vantului si de noile conditii de temperatura. Cu cat coeficientul "U" este mai mic, cu atat pierderile termice sunt mai mici.

$$U=1/R, \quad (3.1)$$

$$R= \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{d_l}{\lambda_l}$$

, unde

R= Rezistenta la transfer termic - masura pentru rezistenta pe care o opune transferului termic un material sau un element de constructie cu grosimea sa si conductivitatea termica a straturilor ce îl compun.

$\alpha_e$  Coeficient de transfer termic superficial exterior,  $\alpha_e=8$  conform Normativului C 107/3-97.

$\alpha_i$  Coeficient de transfer termic superficial interior,  $\alpha_i=24$  conform Normativului C 107/3-97.

d - Grosime strat considerat

$\lambda$  - Conductivitatea termica a materialului ce alcătuiește stratul respectiv

Coeficientul U al sticlei . Peretele vitrat poate fi facut cu o sticla simpla sau cu o sticla dubla, in al doilea caz obtinandu-se o mai buna izolatie termica. Principiul sticlei duble este de a inchide între doua foi de sticla un strat de aer imobil si uscat, in scopul de a limita schimburile termice prin convecție si de a profita de slaba conductivitate termica a aerului aflat între cele doua foi de sticla . Pentru ameliorarea coeficientului "U", trebuie eliminate transferurile termice prin conductie, convecție si radiatie. Cum exista posibilitatea sa se actioneze asupra coeficientilor de schimb superficial, ameliorarea acestui coeficient se va face prin diminuarea schimburilor între cele doua componente ale geamului dublu, in felul urmator:

- transferurile prin radiatie - pot fi diminuate utilizand sticla cu o acoperire slab emisiva, ca de exemplu sticla cu acoperire pirolitica sau sticla cu acoperire sub vid.
- transferurile prin conductie si convecție - pot fi diminuate prin inlocuirea aerului dintre cele doua foi de geam printr-un gaz mai greu, cu o conductivitate termica mai mica (argon, in general).

*Factor solar.* Un perete vitrat este în general transparent la radiația solară care transportă energie. Factorul solar al unui perete vitrat este partea de energie intrată într-o încăpere raportată la energia totală incidentă. El va fi egal cu fluxul transmis în interior la care se adună fluxul emis către exterior. Cu cât factorul solar este mai mic, cu atât este mai importantă cantitatea de energie incidentă. Factorul solar al ferestrelor depinde de poziția lor pe fațadă, de cantitatea de lumină din timpul zilei și de materialul tamplăriei.

*Bilant energetic.* O fereastră, este caracterizată pe de o parte de pierderile termice definite de coeficientul "U" și pe de altă parte de aportul solar, definit prin factorul solar. Bilantul energetic, este dat de diferența între pierderile termice și aportul solar recuperabil. Bilantul este negativ când aportul solar este mai mare decât pierderile. În conformitate cu normele europene, bilantul energetic se calculează după cum urmează:

$$BE = U \cdot a \cdot x_g, \quad (3.3)$$

unde:

BE - bilantul energetic în perioada de încălzire ( $W / m^2 \cdot K$ ),

U - coeficient de transmisie termică (pierderi),

g - factor solar,

$a = (42 \times Fr \times Ft \times Fo \times Rs) / Dj$ , unde:

Fr - factor de randament, dependent de inerția termică a construcției și de modul de încălzire,

Ft - factor de turbulență, care depinde de rugozitatea peretelui,

Fo - factor de umbră, care depinde de umbra lăsată de obstacolele existente în mediul

înconjurător,

Rs - radiația solară reprezentând cantitatea de energie solară incidentă în timpul perioadei de

încălzire ( $kWh / mp$ ),

Dj - suma diferențelor de temperatură dintre exterior și interior (temperatura de bază  $18^\circ C$ ), în timpul perioadei de încălzire.

*Confortul termic.* Corpul uman schimbă căldura cu mediul înconjurător prin radiație. Astfel, o senzație de frig poate fi simțită în apropierea unui perete cu temperatura scăzută, chiar și într-o încăpere cu o temperatură confortabilă. Iarna, datorită unui coeficient "U" scăzut, temperatura feței interioare a peretelui vitrat va fi mult mai ridicată și astfel efectul de "perete rece" va fi diminuat. Astfel, se va putea sta în apropierea ferestrelor fără a avea senzație de disconfort, și de asemenea se diminuează riscurile de condens.

### **3.2 Justificarea utilizării produselor cu aerogel încorporat în contextul transferului de căldură, zgomot și lumină naturală**

Aerogelul este un izolator termic remarcabil deoarece aproape anulează cele trei metode de transmitere a căldurii (conducție, convecție și radiație). El este un bun inhibitor convectiv pentru că aerul nu poate circula în rețea. Silico-aerogelurile sunt, în special, bune izolatoare la conducție deoarece siliconul este un slab conducător de căldură. Cel mai izolator aerogel este silico-aerogelul cu adaos de

carbon, deoarece carbonul absoarbe radiațiile infraroșii în transferul de căldură. Se topește la peste 1200°C, are o conductibilitate apropiată de zero și este considerat materialul solid cu cea mai mică densitate posibilă, conținând aer în proporție de peste 95% și cântărind puțin mai mult decât aerul. Deși, la origine, materialul este hidrofil, prin intermediul unui tratament chimic, el poate fi convertit la hidrofobie. Până acum, inginerii i-au găsit acestui material întrebuințări în izolarea conductelor de petrol, iar cizmarii în confecționarea branțurilor pentru încălțăminte. Alpinista britanică Anne Parmenter a escaladat muntele Everest fiind încălțată cu ghete căptușite cu un strat subțire de aerogel. Declarația sa de după expediție a sunat astfel: „Singura problemă a fost că mi-era foarte cald la picioare, ceea ce, de fapt, nu este o problemă atunci când ești alpinist”. De asemenea, compania Hugo Boss a testat și ea calitățile aerogelului pentru o linie de geaci de iarnă, dar acestea au fost rapid retrase din circulație, deoarece cumpărătorii s-au declarat incomodați de faptul că erau mult prea călduroase.

Analizând proprietățile aerogelurilor, alte soluții performante pot deveni utilizabile: izolații cu aerogel pentru suprafețe vitrate ale envelopei clădirilor ( $\lambda \approx 0.004-0,020$  W/mK). Totodată, acoperișurile, planșeele peste ultimul nivel și subsol pot fi și ele foarte bine izolate termic. O deosebită importanță prezintă și analiza posibilităților de confecționare a tâmplăriei cu adaos de aerogel (tocuri, cercevele etc), îndeosebi, cercetarea performanțelor lor comparativ cu variantele de tâmplărie existente în prezent. Aerogelurile în formă granulară pot fi folosite cu succes în acest sens.

Proprietățile aerogelurilor sunt studiate, deja, pe plan internațional de mulți ani, au apărut multe prescripții și recomandări de calcul privind utilizarea acestor materiale, dar preponderent pentru alte domenii, cum ar fi: industria chimică, petrochimică, electronică, cibernetică, industria automobilelor. Posibilitățile de utilizare a acestui material în industria construcțiilor se mențin, însă, preponderent la nivel de recomandări, „ar putea fi folosit”, „ar fi bine dacă”, „ar fi potrivit pentru”, etc. Din fericire, există, însă, în câteva țări europene, unele încercări foarte reușite, câteva reabilitări ale unor construcții, în general, cu suprafețe vitrate mari, ce demonstrează potențialul aerogelului ca material de izolație și beneficiile pe care o astfel de soluție le pune la dispoziția utilizatorilor construcțiilor respective. Pe parcursul « căutărilor » noastre legate de tema de cercetare aleasă, am descoperit aceste încercări de succes și le redăm, pe scurt, în prezentul capitol, ca punct de plecare al demersului nostru științific.

Cea mai importantă dintre tematicile vizate ca direcție de cercetare, *îmbunătățirea performanței termice a clădirii*, este o temă complexă, îndelung dezbătută de specialiști. Ineditul constă în abordarea aerogelului ca soluție de izolare superperformantă a *suprafeței vitrate* a clădirilor, oportunitate creată de transparența deosebit de ridicată și densitatea redusă a materialului. În plus, aerogelul absoarbe radiația infraroșie (ceea ce permite trecerea luminii solare, dar nu și a căldurii), fapt ce îl recomandă și pentru beneficiile aduse în timpul sezonului cald. În acest areal beneficiile înregistrate sunt semnificative și sub raportul *izolare termică și fonică – preț* sunt remarcabile. Desigur, izolarea cu materiale ce au în componență aerogeluri, este deosebit de eficientă nu numai la suprafețe vitrate, ci și la cele opace. Și pereții opaci pot fi îmbrăcați cu un material superizolator transparent, sub rezerva, însă, a unor economii mai puțin marcante, raportat la materialele de izolație tradiționale utilizate în prezent pe scară largă și ale căror costuri de producție sunt mult mai scăzute comparativ cu cele ale aerogelului.

În opinia echipei de doctorat, pe baza informațiilor adunate în urma achiziționării de aerogel și a cercetărilor experimentale, precum și a unor contacte

internaționale cu agenții economici specializați în producerea acestui material performant, potențialul aerogelului ca material de construcție este foarte ridicat. Inserarea unui strat de aerogel în peretii exteriori ai caselor și în compoziția gemurilor ferestrelor, ne poate scapa atât de căldura toridă a verii, cât și de frigul sezonului rece, dar și de aparatura electrocasnică mare consumatoare de energie electrică, așa cum sunt aparatele de aer condiționat. Pentru că absoarbe aproape complet radiațiile infraroșii, el dă posibilitatea construirii unor clădiri sau incinte care să permită accesul luminii naturale în interiorul lor, fără a tolera însă și schimbările termice. Lumina de zi – lumina albă – este de fapt un compus de lumina „colorată” de diferite frecvențe. Lumina naturală (spectrul complet al luminii, stânga) este izvorul vieții și contribuie major la menținerea stării noastre de bine, a sănătății și dezvoltării. Lumina artificială (dreapta) este o „falsificare grosolană” a luminii naturale, căreia îi lipsesc o importantă parte a componentelor spectrale ale luminii naturale.

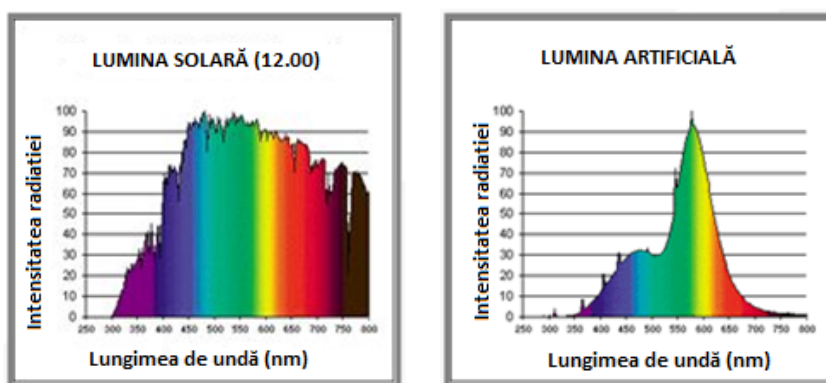


Fig.3.11. Spectrul luminii naturale și artificiale

Este lesne de intuit că montarea unui acoperiș transparent ce permite pătrunderea întregului spectru de lumină fără vreun pic de căldură reprezintă un salt uriaș din punct de vedere al eficienței energetice și a confortului.

Un aspect delicat în acest noian de puncte forte rămâne, totuși, problema costurilor materialului, în prezent deosebit de ridicate, ceea ce face ca aerogelul să fie considerat, încă, un material inaccesibil și exotic: 2000-5000 Euro/m<sup>3</sup> nanogel granulat, 80-100 Euro/mp saltelele flexibile, 250-300 euro/mp panourile din policarbonat cu nanogel încorporat. Pare, însă, inevitabil, prin cunoașterea avantajelor sale, să devină rapid una dintre uneltele de bază ale ecologiștilor și ale omenirii în general, iar prin fabricarea sa la scară industrială, prețul să scadă considerabil, astfel încât materialul să poată fi folosit larg, conform performanțelor sale.

### 3.3. Produse cu aerogel încorporat pentru construcții

#### 3.3.1. Clasificarea produselor din aerogel

Odată cu lansarea proiectelor îndrăznețe ale NASA ce au utilizat aerogelul și care, implicit, au influențat cunoașterea avantajelor utilizării acestui material, ideea chimistului Steven Kistler din 1931- misteriosul "fum înghețat", ultraușor și foarte rezistent în raport cu densitatea sa- a fost reluată la sfârșitul secolului XX. În anii - '30, din pricina costurilor foarte ridicate necesare producerii acestui material, nimeni nu a fost atras de inovatie, iar reușita lui Kistler a fost dată uitării pentru mai multe decenii. În anii 2000, însă, Cabot Corporation construiește la Frankfurt am Main, în Germania, prima și până în prezent unica fabrică din lume care produce aerogel la o capacitate de cca 12000 t /an. Acesta este utilizat de întreprinzători îndrăzneți în diverse domenii , iar în ultimii ani au apărut curajoși care au utilizat materialul inclusiv în domeniul construcțiilor, extrem de restrâns ce-i drept, dar care încep să demonstreze că beneficiile preconizate de specialiști în domeniul construcțiilor, nu sunt o aventură, ci realitate.

Nanogel Cabot este numele de brand pentru grupul de produse al silico-aerogelurilor. Cabot este singurul producător care a dezvoltat producția de aerogel ca și proces comercial. Cabot Nanogel Aerogel este o soluție pentru difuzia superioară a luminii în clădiri, precum și pentru o izolare termică și fonică excelentă. Există și alte produse ce au caracteristici similare, dar numai produsele ce au în componență Nanogel sunt caracterizate de combinația dintre următoarele beneficii: izolare excepțională la suprafețe vitrate ( $\lambda = 0,018 \text{ W/mK}$  la  $25^\circ\text{C}$ ), utilizarea, într-o măsură mult mai mare, a luminii naturale prin acoperiș și fațadă, cu pierderi minime de căldură, o foarte ridicată transmisie a luminii (pana la 80% pe cm), reducerea transmiterii radiațiilor solare (mai puțină căldură în timpul verii), împrăștierea excelentă a luminii (lumina difuzată se împarte în mod egal în clădire. Corespunzător se reduce efectul de orbire și confortul luminos în încăpere este mult îmbunătățit. Lamelele de protecție solară devin inutile, astfel încât se reduc costurile de investiție și întreținere, fără ca estetica clădirii sau fațadele să aibă de suferit), îmbunătățirea izolării fonice (100 m/s în loc de 340 m/s în aer, reducere de 50%, la 100Hz), stabilitate la radiații ultraviolete și rezistență la umezeală (nu favorizează apariția ciupercilor sau mușgaiului, proprietățile fizice sunt permanente), este incombustibil și nu fumează, greutate redusă ( $70\text{-}100 \text{ kg/m}^3$ ), geamul translucid combinat cu izolația Nanogelului oferă o libertate deosebită în arhitectură, precum și asigură respectarea, chiar depășirea , reglementărilor energetice stricte în clădire, respectă cerințele ecologice prin reducerea cererii de energie pentru încălzire, aer condiționat, și iluminat, reducerea emisiilor de  $\text{CO}_2$  și costurilor de întreținere.

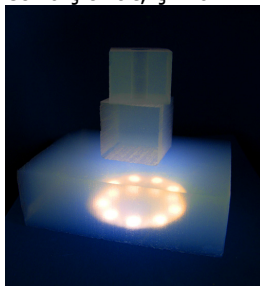


Fig.3.12. Aerogel compact



Fig.3.13. Aerogel granulat

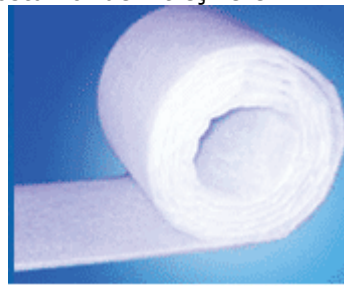


Fig.3.14. Aerogel saltea flexibilă

Aerogelul utilizat în diferite produse pentru construcții poate avea formă compactă, granulară sau de saltea flexibilă (blanket aerogel, ThermalWrap™).

Salteaua flexibilă de aerogel este o țesătură compusă din fibră de sticlă în amestec cu nanogel utilizată ca membrană arhitectonică în scopul îmbunătățirii performanțelor de izolare termică și fonică ale clădirilor, dar și pentru a obține o împrăștiere uniformă a luminii.

Ea comprimă proprietățile hidrofobe, izolatoare termic și de densitate redusă ale nanogelului și le încorporează într-o pătură fibroasă nețesută. Rezultatul este un sistem flexibil, compresibil și extrem de eficient, care este ușor de transportat și de manevrat. Acesta poate fi tăiat și utilizat în forma dorită la locul de montare. Potrivit pentru aplicații particularizate, cum ar fi fațade, structuri de sub-pardoseli și acoperis, precum și la pereții interiori. Deoarece acesta oferă performanțe de izolare înaltă chiar și în stare comprimată, este deosebit de util ca o rupere termică în locuri care pierd altfel o mulțime de căldură, cum ar fi în locuri de trecerea conductelor și în jurul ferestrelor. În plus față de valoarea sa ca izolator termic, excelențele proprietăți acustice ale saltelei de nanogel ajută la atenuarea zgomotului din afara clădirii. Există sub formă de țesătură translucidă, de tip "Thermal Wrap", disponibilă în grosimi de 4, 6 și 8 mm.



Fig.3.15. Aerogel saltea flexibilă

Particulele de nanogel, sau granule sunt utile mai ales în aplicații ale cavităților din pereți. Granulele de nanogel pot fi, de asemenea, adăugate la tencuieli și alte sisteme de acoperire pentru a oferi izolare termică. Știut fiind că mai mult de 40% din căldură este pierdută de o clădire prin pereți, particulele nanogel sunt o soluție ideală pentru izolarea cavităților din pereți, în special în spații mici sau clădiri istorice, în situații în care o schimbare în aspectul clădirii nu este acceptabilă.

### 3.3.2. Clasificarea produselor cu aerogel încorporat

Principalele produse ce au în componență aerogel granulat sunt: *Panouri de poliester armat cu fibră de sticlă* (50 sau 70 mm), *Foi policarbonat* (10, 16, 25, 32, 40, 55mm), *panouri din sticla profil- U cu panouri din policarbonat umplute cu aerogel granulat*, *panoul de sticlă termoizolatoare*.



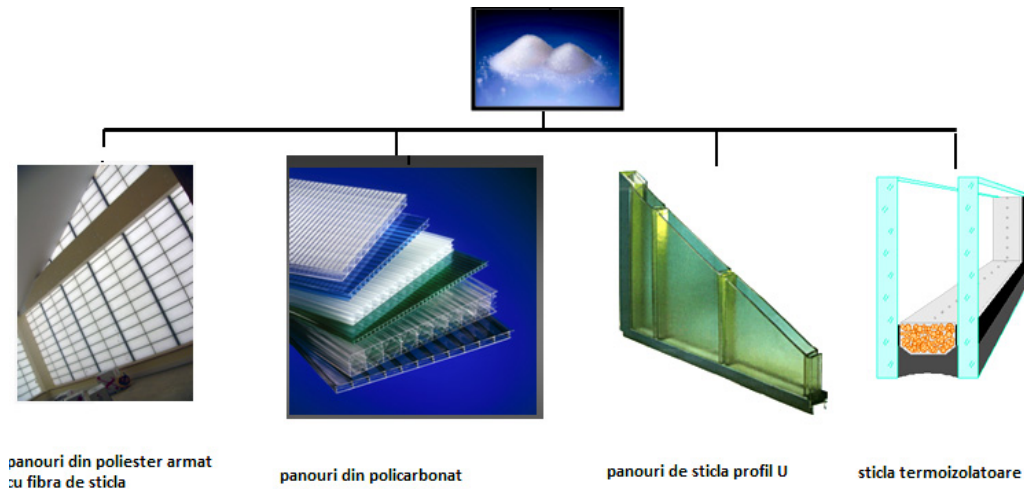


Fig.3.16. Produse cu aerogel încorporat pentru suprafețe vitrate

Utilizarea aerogelului în suprafețele vitrate aduce îmbunătățiri majore ale capacității lor de izolare termică și fonică. Coeficientul de transfer termic  $U$  caracterizează transmisia caldurii într-o unitate de timp de-a lungul unei suprafețe de 1 m patrat care separa două medii cu temperaturi care diferă cu 1 grad Celsius și se măsoară în  $W/m^2K$ . Un coeficient  $U$  mai mic înseamnă o pierdere mai redusă de căldură, deci o izolare mai bună ( $U = \lambda/g$ ). Reducerea coeficientului  $U$  înseamnă îmbunătățirea caracteristicilor termice ale anvelopei clădirii și/sau o mărire a suprafeței vitrate în comparație cu suprafețele vitrate standard considerate.

Exemple pentru valori ale coeficientului  $U$  la produsele mai sus arătate:

*sticlă canat*-  $U$  + *Foi policarbonat* + Nanogel:  $1.1 W/m^2K$ ,

25 mm *Foi policarbonat* + Nanogel:  $0.89 W/m^2K$ ,

55 mm *Foi policarbonat* + Nanogel:  $0.50 W/m^2K$ ,

50 mm *Panouri de poliester armat cu fibră de sticlă* + Nanogel:  $0.48 W/m^2K$ ,

*sticlă termoizolatoare* + nanogel, în funcție de grosime până:  $0.30 W/m^2K$ ,

70 mm *Panouri de poliester armat cu fibră de sticlă* + Nanogel:  $0.28 W/m^2K$ .

De obicei, valorile  $U$  se referă numai la aplicații verticale. La cele mai multe sisteme de iluminare naturală, valorile de izolare termică, în aplicații orizontale sau cu un anumit unghi de înclinare, cresc. De exemplu, un geam dublu anunțat că are o valoare  $U=1,1W/m^2K$ , este în realitate  $1,7 W/m^2K$  într-o aplicație la acoperiș. La aplicațiile bazate pe aerogel, valorile  $U$  sunt independente de unghiul la care sistemele naturale de iluminat sunt instalate. Aceste valori sunt aceleași în aplicațiile verticale și orizontale.

Aerogel Nanogel translucid produs de Cabot Corporation este o soluție excepțională de difuzare a luminii naturale, precum și de izolare termică și acustică. Nanogel este numele dat de Cabot Corporation familiei de aerogeluri sintetice pe bază de siliciu amorf. Aerogel Nanogel este o particulă siliciu amorf de 0,5 la 4 mm în diametru, care conține pori de dimensiuni nanometrice astfel că 95 la sută din volumul său este ocupat de aer, ceea ce face să fie materialul solid cel mai ușor din lume. Chiar dacă fabricația are ca material de bază sticla, Nanogel aerogel are o greutate de 70 - 200  $kg/m^3$ . Conținutul scăzut de solide și dimensiunea porilor îl face extrem de eficient la transferul de căldură prin conducție și convecție. De asemenea, este foarte stabil chimic, netoxic, considerat noncombustibil și rezistă la

degradare UV. Respinge apa, fiind un material hidrofob și nu facilitează dezvoltarea de mușgai. Fiind foarte inert, poate fi recuperat și refolosit, la sfârșitul duratei de viață utilă pentru a începe o viață nouă în multe aplicații posibile. În plus, față de proprietățile sale extraordinare de izolare termică și fonică, aerogel nanogel îmbunătățește calitatea vieții în clădiri. Acesta permite arhitecților să controleze cantitatea și calitatea luminii naturale. Datorită difuziei acestuia lumina directă cu un contrast puternic între umbre și zonele supraexpuse, este transformată în lumina moale, difuză și omogenă, evitând problemele de orbire convenționale. Aerogelul nu modifică spectrul luminii naturale, este benefic pentru sănătate, productivitate, moral și confort vizual. Mai multe studii arată că, pe timp de zi oferă condiții satisfăcătoare pentru bunăstarea și sănătatea ocupanților clădirii, sporește capacitatea de învățare în școli, reduce absenteismul în birouri și crește timpul petrecut de clienți în centrele comerciale.

Nanogelul permite satisfacerea mai ușoară a reglementărilor energetice cele mai stricte, reducând în mod substanțial valoarea U a anvelopelor și, în același timp, evitarea problemelor tipice de orbire din cauza luminii naturale directe. De asemenea, prin folosirea panourilor umplute cu aerogel Nanogel se realizează economii substanțiale. Calculele conform DIN 4701 arată că se poate obține o economie medie anuală de 0.9 - 1.3 litri de ulei de combustibil sau de 1.0 - 1.5 m<sup>3</sup> de gaz pe m<sup>2</sup> de suprafață vitrată prin reducerea valorii U cu 0,1 W/m<sup>2</sup>K.

### **3.3.3. Avantajele elementelor de construcție cu aerogel încorporat**

Avantajele obținute prin utilizarea elementelor de construcție cu aerogel încorporat, precum elemente de suprafață vitrată pentru fațade, acoperișuri, luminatoare etc. sunt multiple. Pe lângă caracteristici și avantaje pentru arhitecți și constructori: suprafețe vitrate mari - libertatea de arhitectură, neumbrirea - lipsa de investiții, absența fenomenului de orbire - lipsa investițiilor, nici o pierdere termică - reducerea costurilor de încălzire, absența curenților de aer, zgomotului de ploaie sau grindină - mai bun confort, creșterea izolării acustice - sporirea productivității, mai mare libertate estetică, - întâlnim și excelente avantaje legate de fizica construcțiilor: combinație de transmisie a luminii și izolație, mai bună difuzie a luminii, nici o schimbare de culoare, izolare termică mărită, nu există curenți de aer, confort mai bun la costuri mai mici, schimbarea punctului de rouă: fără condensare, izolație fonică: reducere de 50% la 100 Hz, greutate foarte redusă: 70-200 kg / m<sup>3</sup>.

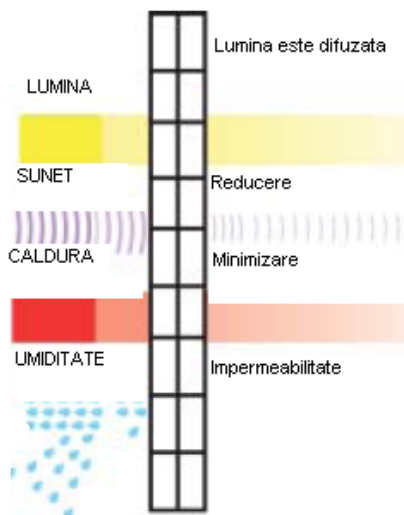


Fig.3.17. Influența aerogelului asupra acțiunii factorilor naturali

### **3.4. Sinteza realizărilor internaționale în domeniu. Construcții cu produse cu aerogel încorporat.**

Conștientizând avantajele extraordinare ale produselor pentru construcții cu aerogeluri încorporate, țări cu o industrie a construcțiilor dezvoltată au făcut primii pași în utilizarea acestora nu numai ca subiect de cercetare, ci concret, ca elemente de fațadă în diverse clădiri, majoritatea destinate suprafețelor vitrate ale fațadelor. Analizele efectuate pe clădirile realizate au confirmat potențialul deosebit preconizat, deschizând drum unor alte idei îndrăznețe, în ciuda prețului deosebit ridicat al aerogelurilor. Din păcate, la ora actuală, în anul 2011, în România nu există nicio clădire care să utilizeze performanțele deosebite ale acestui nanomaterial.

### 3.4.1. Clădiri cu fațade vitrate din panouri din poliester armat cu fibră de sticlă

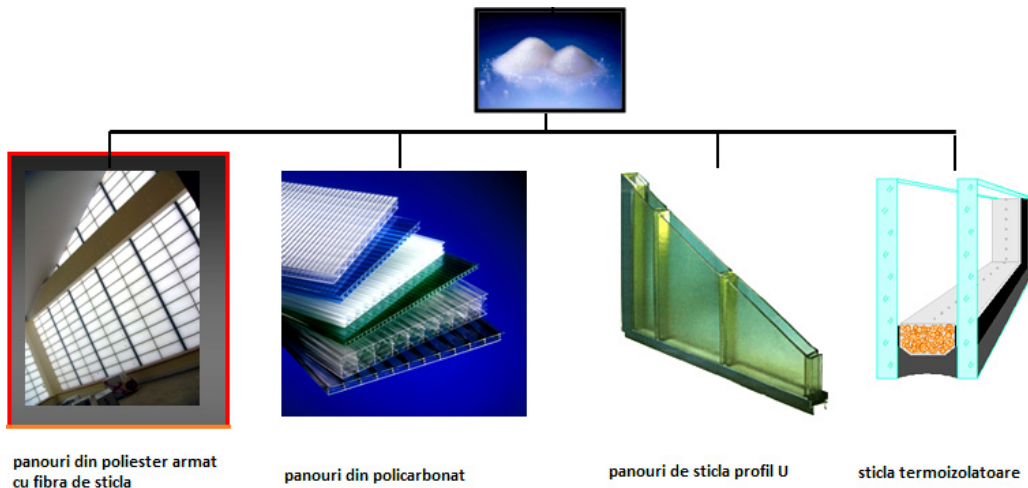


Fig.3.18. Produse cu aerogel încorporat pentru suprafețe vitrate

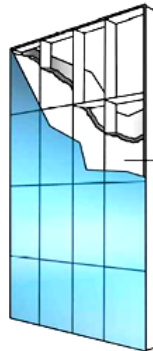


Fig.3.19. Structura panoului din poliester

#### 3.4.1.1. Proiect: Complex sportiv școlar Buchwiesen Hall, Zürich (Elveția)

Primul proiect european având la bază elemente transparente de poliester armat cu fibră de sticlă umplute cu nanogel. Componentele din poliester translucid umplute cu Nanogel® au fost produse de către Confederația Elvețiană Scobalith-materiale de construcții sub numele de marcă Scobatherm®. Acestea au fost folosite pentru un total de 1.000 m<sup>2</sup> suprafață de acoperiș și 350 m<sup>2</sup> pe fațada de nord a Școlii de stat Buchwiesen în Zurich. Panourile de acoperiș măsoară 2.000 x 2.000 mm, panourile de fațadă 5.000 x 2.500 mm. În ambele cazuri, grosimea peretelui este de 51,4 mm. Elementele Scobatherm® umplute cu Nanogel® au un coeficient de transfer termic  $U = 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , un  $G = 25\%$  și o transmisie a luminii de 25%.



Fig.3.20. Complex sportiv școlar Buchwiesen Hall,  
Zürich (Elveția)



Fig.3.21. Complex sportiv școlar Buchwiesen Hall,  
Zürich (Elveția)



Fig.3.22. Complex sportiv școlar Buchwiesen Hall, Zürich (Elveția)

Date tehnice: Panourile pentru acoperiș și panouri de perete Scobalit

- elemente de legătură duble din composite de sticla
- panouri din poliester umplute cu Nanogel
- acoperiș ( $1000\text{m}^2$ ):  $2,00 \times 2,20$  m -grosime: 51,4 mm
- fațadă ( $350\text{m}^2$ ):  $5,00 \times 2,50$  m -grosime: 51,4 mm
- U-valoare: 0,48 ( $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ )

Îmbunătățire cu 350% față de panourile standard

Greutate redusă  $12 \text{ kg}/\text{m}^2$

- g-valoare: 25%
- transmisie a luminii: 25%

Stabilitate termică ( $-40 \rightarrow +120$  )°C

Stabilitate chimică

Izolarea fonică 25-30 dB

S-a dovedit a fi un succes excepțional, prin realizarea unei săli de sport iluminată natural maximal, cu o difuzie a luminii și un climat interior egal, atât pe timpul iernii, cât și al verii. Fotografiiile făcute într-o zi însorită arată că lumina naturală este distribuită foarte uniform în sala de sport Buchwiesen. Măsurătorile aplicate luminozității pe suprafața de joc, plafon și peretele de beton din spatele sălii au arătat valori situate în același domeniu. Acest lucru oferă condiții favorabile de joc de-a lungul întregii săli. Deși acest lucru nu este valabil în aceeași măsură și pe direcție transversală, având în vedere că pereții laterali prezintă unele zone mai întunecate, totuși, acestea sunt situate în cadrul toleranțelor admisibile de neluminozitate a suprafețelor de joc.

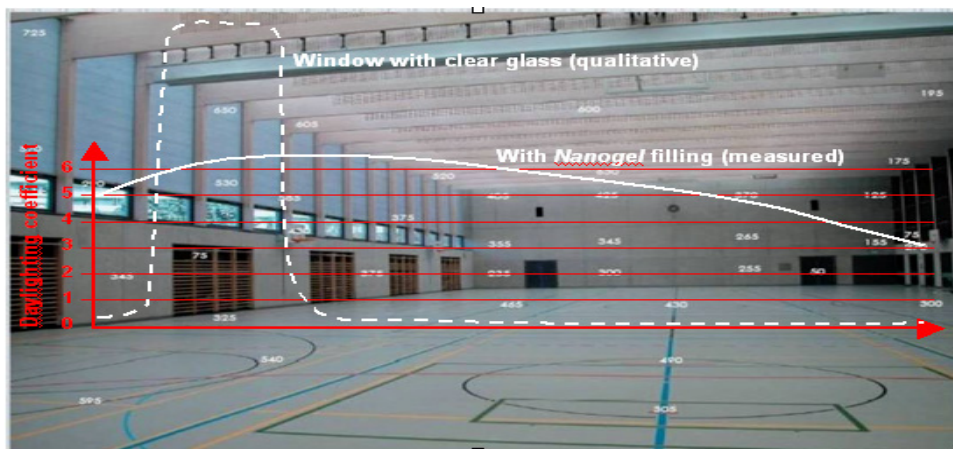


Fig.3.23. Distribuția luminii în sala de joc

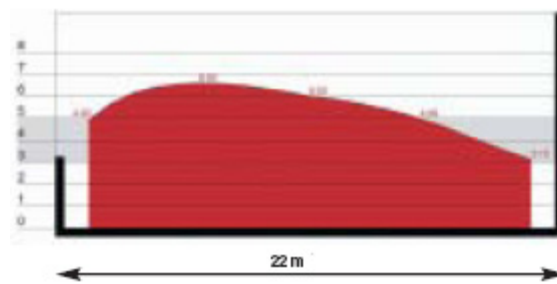


Fig.3.24. Distribuția luminii în sala de joc

3.4.1.2. Proiect: Clădire birouri Scobalit Eye Catcher , Elveția



Fig.3.25. Clădire birouri Scobalit Eye Catcher , Elveția



Fig.3.26. Clădire birouri Scobalit Eye Catcher , Elveția

Concluzii: Utilizarea maximă a luminii naturale în lumină uniformă la interior și absența efectului de orbire. Iluminarea naturală a sălii și climat interior confortabil permanent, atât în timpul iernii, cât și vara. Testele au arătat că climatul interior poate fi îmbunătățit vara în mod semnificativ, printr-o ventilație optimă. Astfel, a fost posibil ca la un maxim al temperaturii exterioare de 33°C, utilizatorii să se bucure în sală de 26°C.

#### 3.4.1.3. Proiect: Clădire de birouri Hemsworth, Marea Britanie

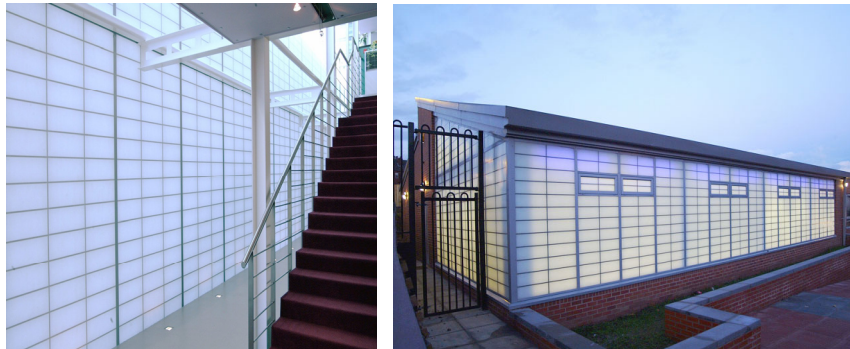


Fig.3.27. Clădire de birouri Hemsworth, Marea Britanie





Fig.3.28. Clădire de birouri Hemsworth, Marea Britanie



Fig.3.29. Clădire de birouri Hemsworth, Marea Britanie

Detalii tehnice:

Panouri Kalwall 70 mm grosime

Coefficient transfer termic:  $U=0,28$  (W / m<sup>2</sup> K)

Transmisie a luminii: 21%

Izolare acustica: 35 dB

Valoare g=10 %

#### 3.4.1.4. Proiect: Extinderea unei școli din Westlondon, High Crest School (săli de clasa, Internetcafé și studio de dans)

Aplicație: panouri din poliesther armat cu fibră de sticlă umplute cu Nanogel, uilizat pe fațada de sud a clădirii, parte în care se suplimentează zona de învățare cu noi săli de clasă, o nouă Aula, un studio de dans și un internet cafe.

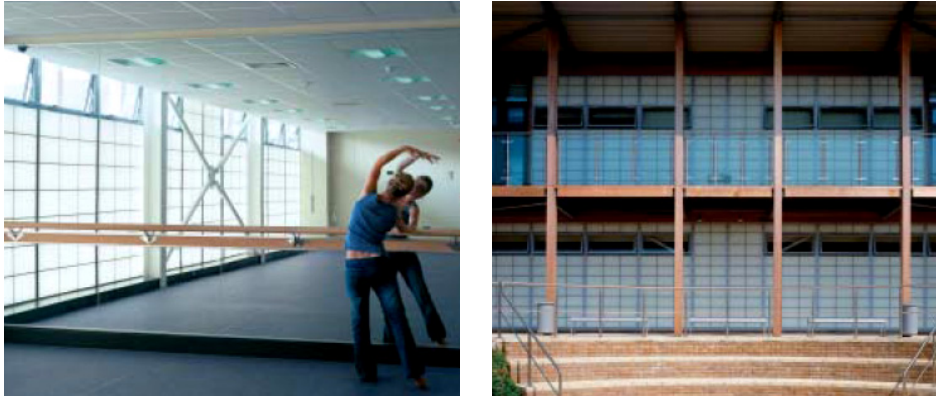


Fig.3.30. Extinderea unei școli din Westlondon, High Crest School

### 3.4.1.5. Proiect: Roosevelt Elementary School, SUA



Fig.3.31. Roosevelt Elementary School, SUA

### 3.4.1.6. Proiect: Clinica Astrawall Iberica, Pamplona, Spania

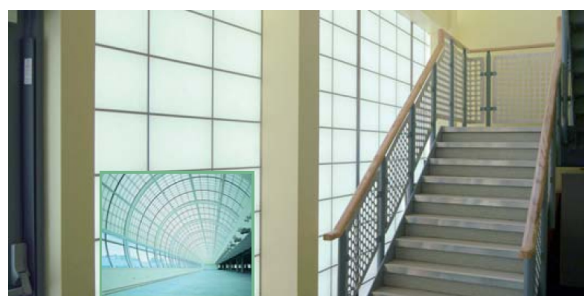


Fig.3.32. Clinica Astrawall Iberica, Pamplona, Spania

## 3.4.1.7. Proiect: Extensie bucătărie-Sud London



Fig.3.33. Extensie bucătărie-Londra

Utilizare:

Panouri poliester Kalwall + Nanogel ® ->Aerogel luminatoare translucide

Detalii tehnice:

Dimensiuni: Panouri luminatoare de acoperiș 0,66 m x 1,22 m

Coeficient de transfer termic:  $U= 0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Transmisie a căldurii:  $g=10\%$

Conform planurilor inițiale clădirea era concepută cu un acoperiș mare de sticlă. Din cauza prescripțiilor tehnice britanice de economisire a energiei devenite deosebit de severe, autoritățile locale au respins planurile inițiale. Proprietarii clădirii au dorit, însă, neapărat un acoperiș cu iluminare naturală, astfel încât după îndelungi căutări au optat pentru panourile Kalwall pentru acoperiș, din poliester umplute cu nanogel, cu excelente proprietăți de izolare. Panourile umplute cu nanogel transformă razele de soare într-o lumină uniform distribuită la interior, dar fără căldura solară excesivă obișnuită la acoperișurile din sticlă neizolată, precum și fără problemele specifice de umbrire pe care sticla obișnuită le aduce. De asemenea, panoul în stare acoperit cu zăpadă transmite puternic lumină, însă fără curenții reci. Aceste avantaje sunt deosebit de importante, mai ales în panouri de asemenea mărime.

## 3.4.1.8. Concluzii

Prin combinarea nanogelului cu panourile din poliester armat cu fibră de sticlă Kalwall sau Scobalit s-a atins un remarcabil coeficient de transfer termic:  $U= 0,28 \text{ W / m}^2\text{K}$ , o valoare de cca 4 ori mai favorabilă decât în sisteme de geam termopan+perete solid. Acest lucru înseamnă că s-au putut realiza economii maxime de energie la suprafețe vitrate mari, care altfel ar fi fost necesar să se realizeze ca suprafețe opace.

Grosime	16 mm	50 mm	70 mm	70 mm +Nanogel
Coeficient U [W/m <sup>2</sup> K]	2,4	0,98	0,78	0,28
Transmisia sunetului [dB]	19	26	29	35
Transmisia luminii [%]	74	50	36	10-12
Coeficient G [%]	82	52	32	8

Tab. 3.9. Comparație parametri de izolare la diferite grosimi de panouri

### 3.4.2 Clădiri cu fațade vitrate din policarbonat celular cu nanogel granulat încorporat

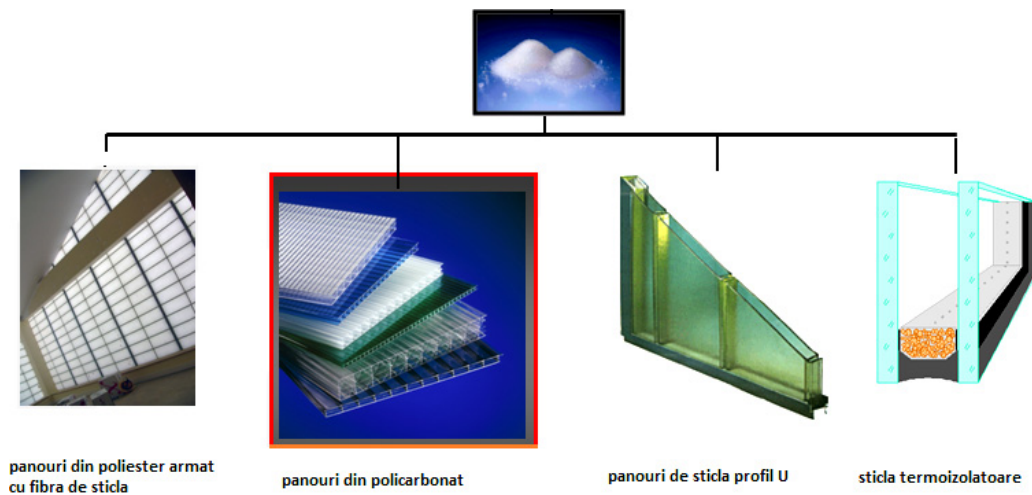


Fig.3.34. Produse cu aerogel încorporat pentru suprafețe vitrate

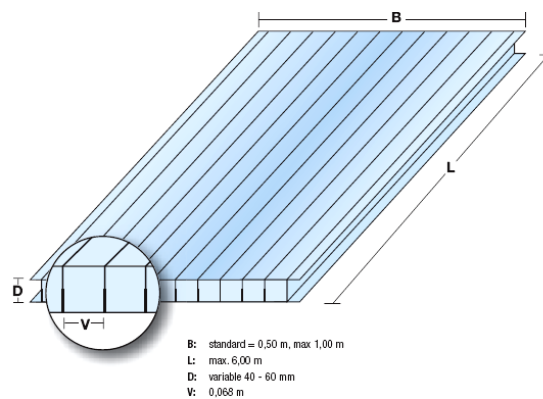


Fig.3.35. Structuri ale panourilor din policarbonat

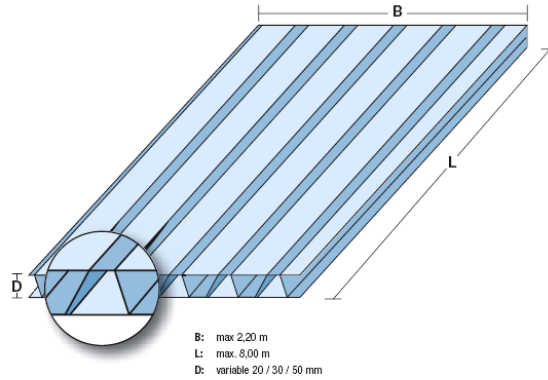


Fig.3.36. Structuri ale panourilor din policarbonat

Grosime	16 mm	16 mm nanogel	25 mm	25 mm nanogel
U [ W/m <sup>2</sup> K]	2,4	1,3	1,50	0,89
Izolare fonică [dB]	19	21	21	24
Transmisia luminii [%]	74	64	71	55
Coeficient G [%]	82	59	66	59

Tab.3.10. Comparație parametri de izolare la diferite grosimi de panouri

Combinatii posibile:	U [ W/m <sup>2</sup> K]
16 mm Nanogel+16 mm Nanogel	0,75
16 mm Nanogel+25 mm Nanogel	0,53
25 mm Nanogel+25 mm Nanogel	0,48

Tab.3.11. Valori U în diferite combinații de grosimi

### 3.4.2.1. Complex sportiv Carquefou, Franța

Aplicație: Înlocuire elemente de fațadă la o sală mare de sport cu  $S=3360 \text{ m}^2$ .



Fig.3.37. Complex sportiv Carquefou, Franța

Complexul sportiv se află în punctul principal de acces în oraș, în apropiere de Centrul Cultural și Muzeul de artă modernă. Se compune din trei elemente principale: un teren de sport în aer liber, o parcare pentru 250 vehicule și clădirea principală.

În clădirea principală există trei săli de sport: cea mai mare este o sală pentru diferite sporturi ( $24 \text{ m} \times 44 \text{ m} \times 9 \text{ m}$ ) cu rânduri de scaune pentru 300 de persoane, o sală de tenis de masă și o sală multi-scop. Există, de asemenea, vestiare, un club și o sală de ședințe. Clădirea apare ca o construcție compusă din trei corpuri, cu trei înălțimi diferite la acoperiș.

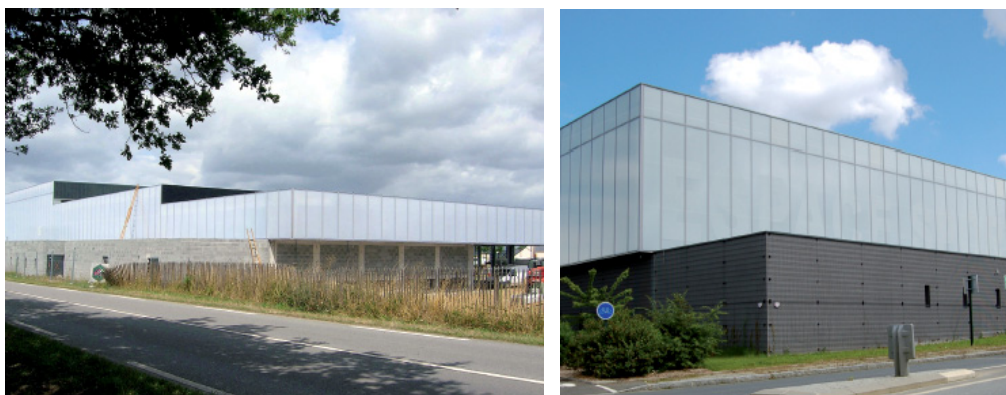


Fig.3.38. Complex sportiv Carquefou, Franța



Fig.3.39. Complex sportiv Carquefou, Franța



Fig.3.40. Complex sportiv Carquefou, Franța

Detalii tehnice:

- suprafața complexului: 1,7 ha
  - suprafața fațadă: 1450 m<sup>2</sup>, care corespunde tuturor celor 4 pereți exteriori ai clădirii
  - total investiții: € 2.900.000
  - nanogel în foi de policarbonat multistrat
  - dimensiuni panouri: grosime - 25 mm, latime 1,25 m, lungime până la 6 m.
- Necesar minim de protecție termică: valoarea U (front): 2,7 W / m<sup>2</sup> K.

U-valoare realizată:  $U=0.89 \text{ W / m}^2 \text{ K}$  cu panouri din policarbonat + nanogel  
Economii semnificative privind încălzirea și iluminatul



Fig.3.41. Complex sportiv Carquefou, Franța

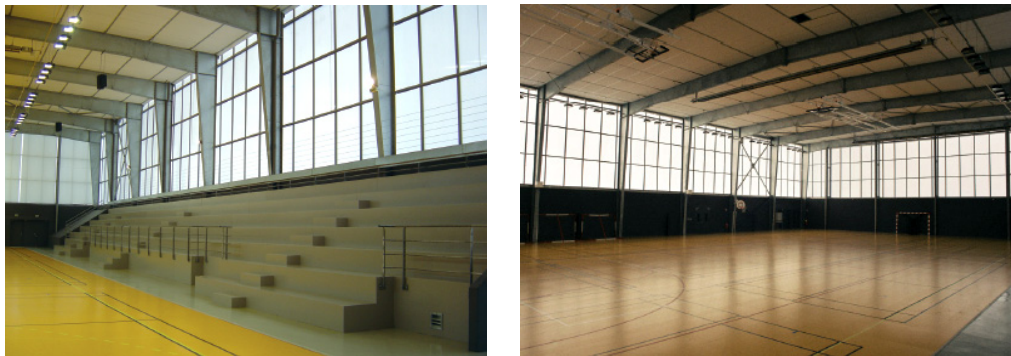


Fig.3.42. Complex sportiv Carquefou, Franța

Optarea pentru o fațadă obișnuită, din policarbonat multistrat sau sticlă, ar fi impus obligatoriu sisteme de jaluzele pentru a controla lumina orbitoare, umbra sau alte efecte nedorite. Acestea ar fi condus la prejudicii în estetica clădirii, încărcări și costuri suplimentare. O suprafață atât de mare de fațadă din sticlă termoizolatoare cu jaluzele ar fi mărit prețul clădirii de cca 2,5 ori, în timp ce o fațadă obișnuită din panouri de policarbonat multistrat cu jaluzele ar fi mărit prețul clădirii cu cel puțin 40 %. Comparativ cu aceste alternative și în ciuda prețului, totuși, ridicat al nanogelului, soluția aleasă –panouri din policarbonat umplute cu aerogel – a determinat economii totale de aproximativ 400.000 Euro. Datorită



greutății reduse , instalarea unor astfel de fațade s-a făcut extrem de ușor și rapid, panourile de polycarbonat umplut cu aerogel, 1250x 6000 mm, putând fi transportate, montate și fixate cu ușurință de 3-4 muncitori în profilele de aluminiu. În plus față de aceste economii de cost direct, prin alegerea soluției Nanogel sunt, de asemenea, preconizate costuri semnificativ mai mici cu încălzirea și iluminatul, de-a lungul perioadei de exploatare a clădirii. Foarte importante sunt și consecințele de confort vizual al sportivilor și spectatorilor datorate unei difuzii superioare a luminii în structura aerogelului.



Fig.3.43. Complex sportiv Carquefou, Franța

În comparație cu fațadele vitrate de dimensiuni mari care necesită obligatoriu lamele de protecție și care au ca principale dezavantaje costurile deosebit de ridicate, atât în privința cheltuielilor efective cu materialele, cât și a costurilor de montaj, durata mare de execuție, curățirea și întreținerea deosebit de greoaie, design-ul limitat al fațadei, transmiterea redusă a luminii naturale, fațadele vitrate cu nanogel încorporat ne trimit direct la polul opus , oferind exact contrariul: reducere puternică a cheltuielilor și duratei de execuție, o fațadă omogenă ce transmite la un nivel ridicat lumina naturală pe tot parcursul zilei, non-necesitatea curățării deoarece datorită suprafeței netede și netransparenței este aproape suficientă acțiunea intemperiilor (ploaie, vânt, ninsoare) și nu în ultimul rând , libertatea arhitecturală deosebită fără compromisuri la economia de energie.

Complex sportiv, Franța	
1450m <sup>2</sup> fațadă Plăci policarbonat umplute cu aerogel g=25 mm U=0,89 W/m <sup>2</sup> K	
Plăci din policarbonat umplute cu nanogel și profile Plăci PC 110 Euro/ m <sup>2</sup> Nanogel 80 Euro/ m <sup>2</sup> Costuri totale: 190 Euro/ m <sup>2</sup> Economie de energie: 3000 Euro/an pentru iluminare 2000 Euro/an pentru încălzire	
Suprafață vitrată dublă Sticlă : 300 Euro/ m <sup>2</sup> Protecție solară: 140 Euro/ m <sup>2</sup> Costuri totale: 440 Euro/ m <sup>2</sup>	Plăci PC fără nanogel Plăci PC : 110 Euro/ m <sup>2</sup> Protecție solară: 140 Euro/ m <sup>2</sup> Costuri totale: 250 Euro/ m <sup>2</sup>
Economii : 250 Euro/ m <sup>2</sup> economii directe+ 5000 Euro/an pentru energie	Economii: 63 Euro/ m <sup>2</sup> economii directe+ 5000 Euro/an pentru energie

Tab. 3.12. Studiu de caz: analiză economică

### 3.4.2.2. Complex comercial Carrefour, Mont de Marsan, Franța

Aplicație: Înlocuire acoperiș translucid și luminator, centru comercial

Date tehnice:

Suprafață totală: 1000 m<sup>2</sup>

Panouri din policarbonat umplute cu nanogel g=25 mm, lățime panou: 1050 mm

Luminatorul are 4,80 m lățime, 135 m lungime și este amplasat la 6,50 m înălțime.

În luminator sunt integrate o piramidă (6.10 mx 6.10 m) și 4 coșuri pentru absorbtia fumului (1,50 mx 2,50 m).

U= 0.89 W/m<sup>2</sup>K, Valoare g=0,53

Îmbunătățire cu 80% față de panourile standard

Transmisie lumina: 55%

Izolare acustica: 23 dB



Fig.3.44. Complex comercial Carrefour, Mont de Marsan, Franța



Fig.3.45. Complex comercial Carrefour, înainte de renovare



Fig.3.46. Complex comercial Carrefour, după renovare



Fig.3.47. Complex comercial Carrefour, Mont de Marsan, Franța



Fig.3.48. Complex comercial Carrefour, Mont de Marsan, Franța



Fig.3.49. Complex comercial Carrefour, Mont de Marsan, Franța, vedere interior

Panourile de policarbonat umplute cu nanogel au rezolvat mai multe probleme simultan: izolare termică excelentă, s-a redus radiația de căldură spre interior în timpul verii, a crescut confortul utilizatorilor, costurile de încălzire și aer condiționat au fost substanțial reduse, s-a introdus lumina zilei în clădire, iar calitatea luminii sub acoperiș este excelentă și independentă de condițiile externe, dacă e însorit sau înnorat, iluminarea este uniformă extrem de netedă și fără lumina directă a soarelui.

De ex., într-o zi însorită cu iluminare la exterior 50.000 lux, la interior, sub luminator la 1m înălțime, iluminarea a fost de 22 000 de lux. Într-o zi înnorată au fost 5000 Lux la exterior și 2500-2700 Lux în interior.



Fig.3.50. Complex comercial Carrefour,  
Mont de Marsan, Franța

Studierea termografiei:

Următoarele imagini în infraroșu din fig.3.20 demonstrează diferența clară de izolație termică între un panou alveolar de tip clasic, neizolat, instalat vertical ca timpan și aceleași panouri curbate din policarbonat umplut cu aerogel și instalate orizontal. Termografiile arată că temperatura suprafețelor neizolate este semnificativ mai mare decât cea a celor umplute cu nanogel, ceea ce înseamnă că pierderile de căldură prin panourile goale sunt mult superioare celor ale panourilor ce conțin aerogel.



Fig.3.51. Analiza termografică

#### 3.4.2.3. Serviciului de pompieri atașat Colegiului Fleury- Mérogis, Paris, Franța

Alcaud a realizat pentru scopuri demonstrative diverse luminatoare și coșuri de fum în acoperișul serviciului de pompieri atașat Colegiului Fleury- Mérogis (Sud Paris). Trei panouri umplute cu nanogel au fost folosite pentru a demonstra aspectul vizual al plăcilor și împrăștierea luminii în comparație cu panourile din policarbonat sau poliester neumplute:

Lexan ® Thermoclear ® 10 mm umplut nanogel

Lexan Thermoclear umplut 16 mm IR nanogel

Lexan Thermoclear umplut 25 mm nanogel

Grosime [mm]	U [W/m <sup>2</sup> K]	Transmisia luminii (%)	Transmisie căldură (%)	Izolare fonică (db)
10	1,93	62	68	20
16 IR	1,31	45	35	21
25	0,89	55	59	24

\*IR-(Infrarosu)-ofera transparenta ridicata pentru lumina,  
dar filtreaza o mare parte din caldura radiata

Tab.3.13 Valori ale coeficientului de transfer termic U

Thermoclear 16 mm IR + Nanogel



Fig.3.52. Serviciului de pompieri al Colegiului Fleury- Mérogis, Paris, Franța

Thermoclear top 25 mm + Nanogel stânga

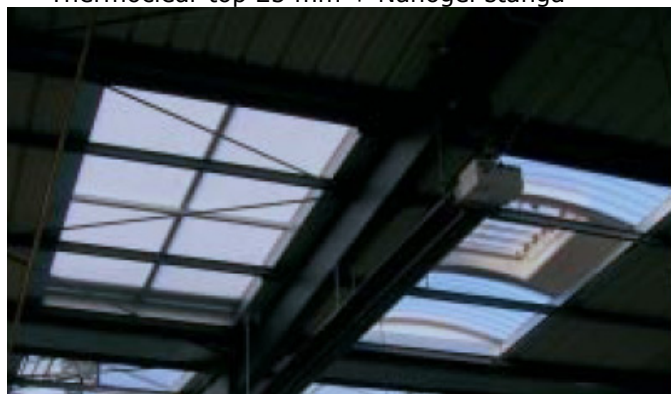


Fig.3.53. Serviciului de pompieri al Colegiului Fleury- Mérogis, Paris, Franța



Fig.3.54.

#### 3.4.2.4. Sală de producție Haro, Germania

Realizare sistem luminator bombat pentru acoperișul unei săli de producție  
 Dimensiuni: Lungime 50.16 m, 2.66 m lățime - Lexan® Thermo Clear® 10 mm  
 Detalii tehnice:  
 U-valoare: 1.93 (W/m<sup>2</sup>.K)  
 Transmisie a luminii: 65%



Fig.3.55. Sală de producție Haro, Germania

Dimensiuni:  
 5 dispozitive 1,50 x 2,50 m din panouri luminoase 0,33 x 2,50 m  
 Detalii tehnice:  
 Panouri din policarbonat transparent 16 mm  
 Transmisie a luminii: 64%  
 U-valoare: 1.31 (W/m<sup>2</sup>.K), g= 60%



Fig.3.55. Sală de producție Haro, Germania

#### 3.4.2.5. Școala Rudolf Steiner, Haarlem, Olanda

Aplicație: Înlocuirea ferestrelor vechi cu panouri luminatoare din PC 16 mm umplute cu Nanogel ® Aerogel.

Detalii tehnice: U-valoare: 1.31 (W / m<sup>2</sup> K). Izolație fonica: 21 dB

Transmisie a luminii: 64%, Transmitere de radiații: 60%



Fig.3.56. Școala Rudolf Steiner, Haarlem, Olanda



Fig.3.57. Școala Rudolf Steiner, Haarlem, Olanda



### 3.4.2.6. Meadow School, Bushey, Hertfordshire

Aplicație: Inlocuire geamuri sala de clasa ultimul nivel cu panouri PC Lexan® Clear® Thermo umplut cu Nanogel®, schimbare de direcție și pantă.  
Dimensiuni: Lungime totală 8.98 m, lățime 4.68 m grosime 16 mm.  
Detalii tehnice:  $U = 1,31$  (W/m<sup>2</sup>.K) ,  $g = 64\%$ , transmisie a luminii: 57%

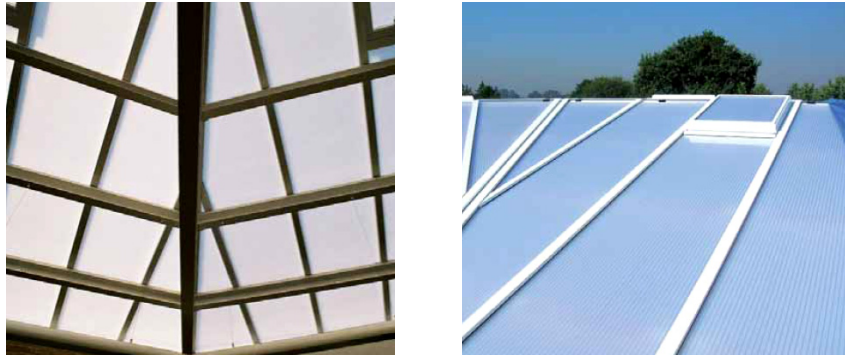


Fig.3.58. Meadow School, Bushey, Hertfordshire

### 3.4.2.7. Universitatea Manchester, Marea Britanie



Fig.3.59. Universitatea Manchester, Marea Britanie

Termografia de mai jos demonstrează diferența majoră dintre panourile curbate izolante din policarbonat umplut cu aerogel și cele trei uși de sticlă neizolate.

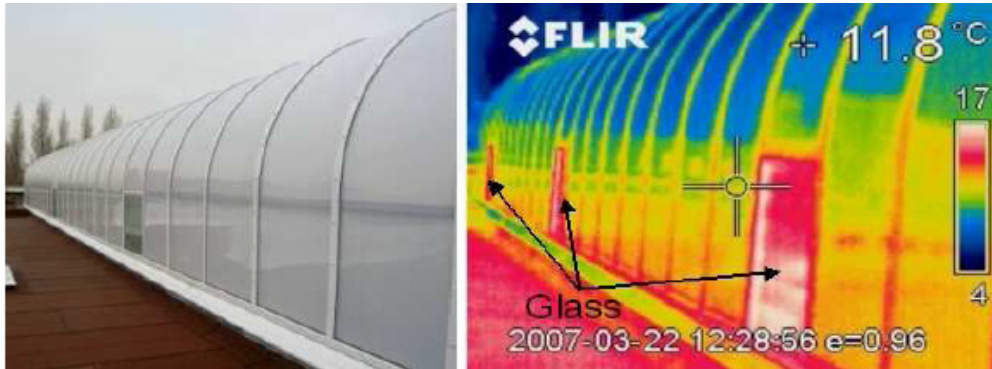


Fig.3.60. Analiza termografică la Universitatea Manchester

#### 3.4.2.8. Casă de locuit, Virginia Tech University, SUA



Fig.3.61. Casă de locuit, Virginia Tech University, SUA

Casa ce aparține Universității Virginia Tech nu are nevoie de iluminare artificială în timpul zilei. Pereții transparenți sunt utilizați pentru a aduce lumina zilei în clădire. Noaptea construcția este luminată cu Led-uri decorative, cu consum redus de energie.



Fig.3.62. Casă de locuit, Virginia Tech University, SUA

### 3.4.3. Clădiri cu fațade vitrate din panouri de sticlă profil U cu nanogel încorporat

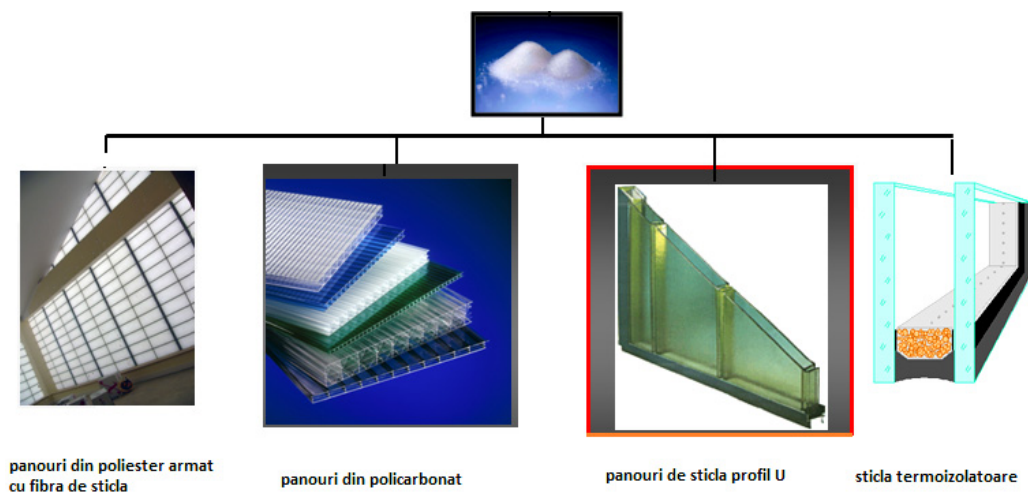


Fig.3.63. Produse cu aerogel încorporat pentru suprafețe vitrate

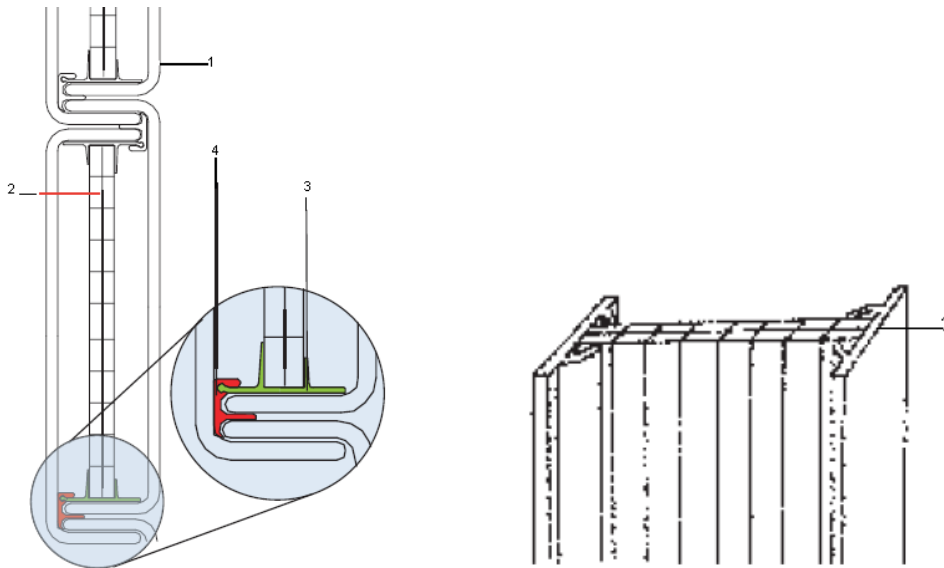


Fig.3.64. Structură panou din sticlă profil U cu panou din policarbonat cu aerogel încorporat

1-profil U, 2-panou policarbonat umplut cu nanogel poziționat central (maximizează izolarea termică), 3-clip PC transparent (susține foaia de policarbonat), 4-profil transparent pentru cuplare termică

Profile din sticla U low-e	U (W/m <sup>2</sup> K)	Transmisia luminii (%)	Izolare fonica (db)
Sticla neizolata	1,80	70	42
+nanogel in 16 mm PC	1,20	47	44
+nanogel in 25 mm PC	1,10	30	46

Tab. 3.14. Comparație parametrii de izolare pentru sticla low-E

#### 3.4.3.1. Proiect: Medienzentrum, Briis-sous-Forges, Franța

Profile din sticla termoizolatoare Profilit 60 mm + panouri din policarbonat 16 mm umplute cu Nanogel® Aerogel  
Date tehnice: U= 1.8 (W/m<sup>2</sup>.K), transmisie lumina 47%, izolare fonica 44 dB.



Fig.3.65. Medienzentrum, Briis-sous-Forges, Franța



Fig.3.66. Medienzentrum, Briis-sous-Forges, Franța



Fig.3.67. Panou din sticlă profil U cu panou din policarbonat cu aerogel încorporat

### 3.4.3.2. Bloc locuinte, Schwabing-München, Germania

Profile din sticla termoizolatoare Profilit 60 mm + panouri din policarbonat 25 mm umplute cu Nanogel® Aerogel

Detalii tehnice:

$U = 1,25$  ( $W/m^2.K$ ), transmisie lumina 30%, izolare fonica 46 dB,  $g = 0,42$ . Acest bloc este amplasat pe o strada foarte circulata, cu multa galagie, in centrul Munchenului. Proprietarul imobilului a dorit cea mai buna izolatie termica si acustica posibila, precum si o iluminare naturala uniforma in toate incaperile, lipsita de efectul de orbire si radiatie termica.



Fig.3.68. Bloc locuinte, München, Germania



Fig.3.69. Bloc locuinte, München, Germania



Fig.3.70. Bloc locuinte, München, Germania

## 3.4.3.3. Casă privată, Tollinger

Profile din sticla termoizolatoare Profilit K/25/60 mm + panouri din policarbonat 25 mm umplute cu Nanogel® Aerogel, Dimensiuni fatada: h=2,40 m . l=8,00 m  
 Detalii tehnice: U= 1,8 (W/m<sup>2</sup>.K), transmisie lumina 47%, izolare fonica 44 dB.  
 Noua suprafață vitrată trebuie să asigure o combinație eficientă între transmisia de lumină și protecția sferei private, concomitent cu o izolare termică și confort corespunzătoare.



Fig.3.71. Casa privată, Tollinger

Panourile umplute cu particule de aerogel pot fi folosite în multe aplicații de iluminat natural, precum acoperișuri (bolti, piramide, copertine, tuneluri, sisteme de evacuare a fumului și a sistemelor de ventilație, etc ...), fatade, pereți cortina sau pereți de separare. Porozitatea foarte mare și structura fină a aerogelului asigură îmbunătățirea proprietăților de izolare acustică. Datorită structurii sale solide reduse, există puține vibrații în faza solidă. Undele sonore sunt transmise la o viteză redusă de efectele de fricțiune (100 de metri pe secundă, comparativ cu 340 de metri / secundă în aer). Proprietățile de izolare acustică sunt deosebit de importante la frecvențe joase (40-500 Hz), reducând zgomote ca sunetul de avioane sau camioane. Urechea umană poate distinge o scădere de 3 dB, astfel, o scădere de 5 dB este extrem de perceptibilă ca în cazul unui panou din policarbonat de 25 mm grosime, în cazul căruia capacitatea de izolare crește prin utilizarea aerogelului de la 18 la 23 dB. Panourile cu aerogel nanogel de 16 mm și 25 mm grosime se bucură de o garanție de 10 ani ani legată de îngălbenirea, transmisia luminii și proprietățile termice

### 3.4.4. Clădiri cu fațade vitrate din panouri din sticlă termoizolatoare

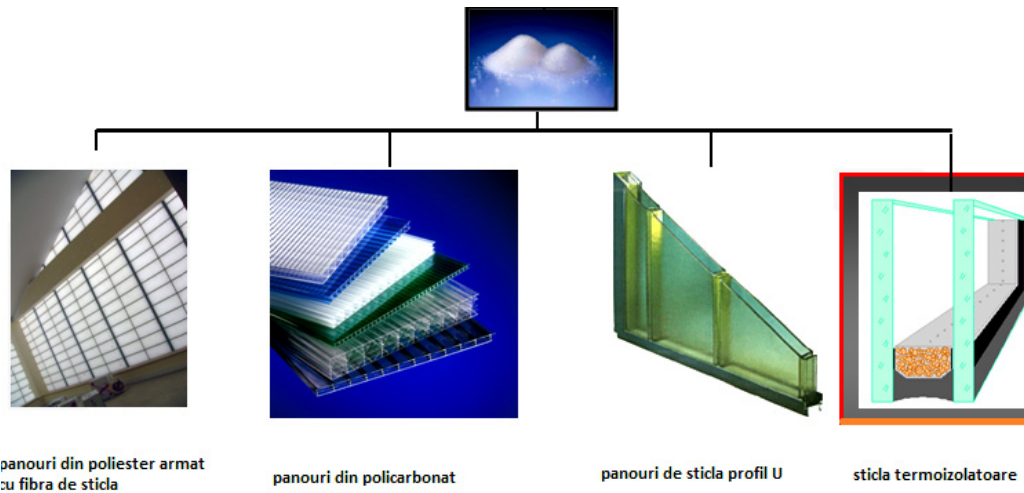


Fig.3.72. Produse cu aerogel încorporat pentru suprafețe vitrate

#### 3.4.4.1. Reabilitarea birouri pentru reducerea consumului de energie , Paris, Franța

Aplicații:

-Lumina naturală obținută prin instalarea unor panouri luminatoare de policarbonat umplut cu Nanogel de 16 mm grosime sub 5 cupole acoperiș



Fig.3.73. Reabilitare clădire birouri, Paris

-Instalarea în holul de la intrare, a unui panou vertical de sticlă Okalux ® multistrat 6-20 - 6 mm, completat cu un panou policarbonat multistrat umplute cu nanogel în spațiul de 20 mm.





Fig.3.74. Reabilitare clădire birouri, Paris



Fig.3.75. Reabilitare clădire birouri, Paris

Detalii tehnice:

- Coeficientul de transfer termic luminator:  $U=1.31 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- Coeficientul de transfer termic panou de sticlă / PC / Nanogel:  $U=0.6 \text{ W / m}^2 \text{ K}$
- Coeficientul de transfer termic pentru întregul birou:
  - Înainte de reabilitare:  $U=2,54 \text{ W / K.m}^2$
  - După reabilitare:  $U=0,29 \text{ W / K.m}^2$

Daca o fereastra izolatoare standard (low E+ 14 mm Krypton), 5% inclinare atinge  $U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , nanogelul atinge valori de pana la  $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

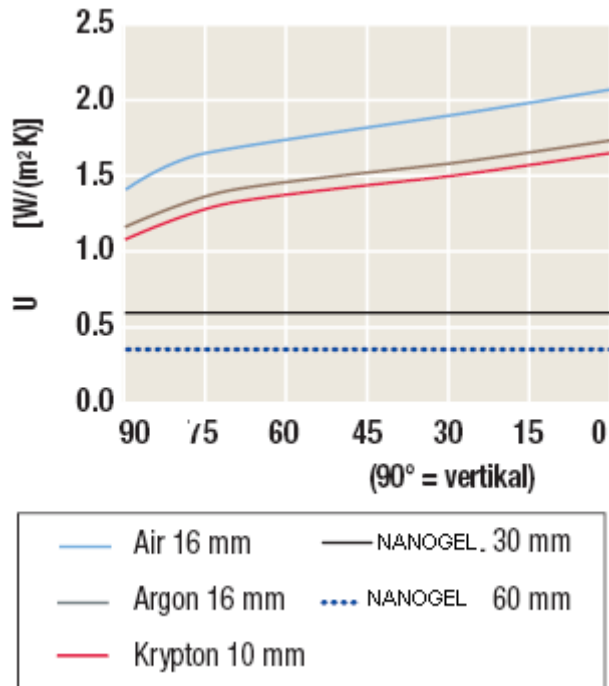


Fig.3.76. Parametri de izolare termică la panouri din sticlă cu aerogel

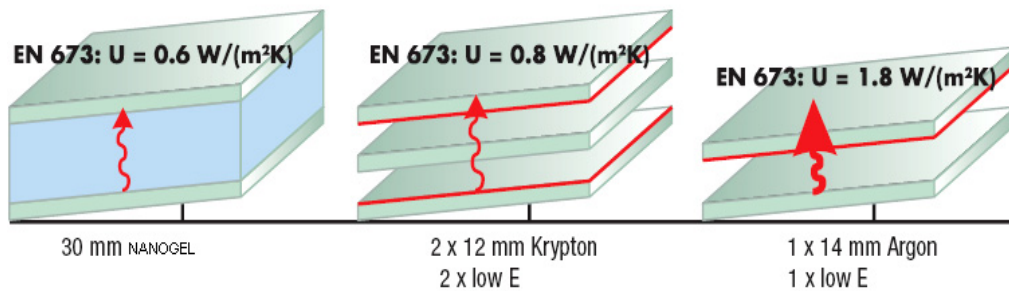


Fig.3.77. Structură și parametri de izolare termică la panouri din sticlă cu aerogel

Prin măsurile de reabilitare adoptate s-au realizat importante economii energetice, concomitent cu îmbunătățirea în mod semnificativ atât a cantității de lumină naturală ce intră în încăperi, cât mai ales a nivelului de izolare termică și fonică. Panourile umplute cu nanogel oferă o lumină difuză în birouri, creează un mediu de lucru plăcut. Chiar și pe timp noros, nu este necesară lumină artificială. În plus, îmbunătățirea coeficientului de transfer termic cu aproximativ 90% a scăzut substanțial consumul de energie.

3.4.4.2. Complexul sportiv Jock Stein, Hamilton



Fig.3.78. Complexul sportiv Jock Stein, Hamilton

3.4.4.3. Jersey General Hospital



Fig.3.79. Jersey General Hospital



Fig.3.80. Jersey General Hospital



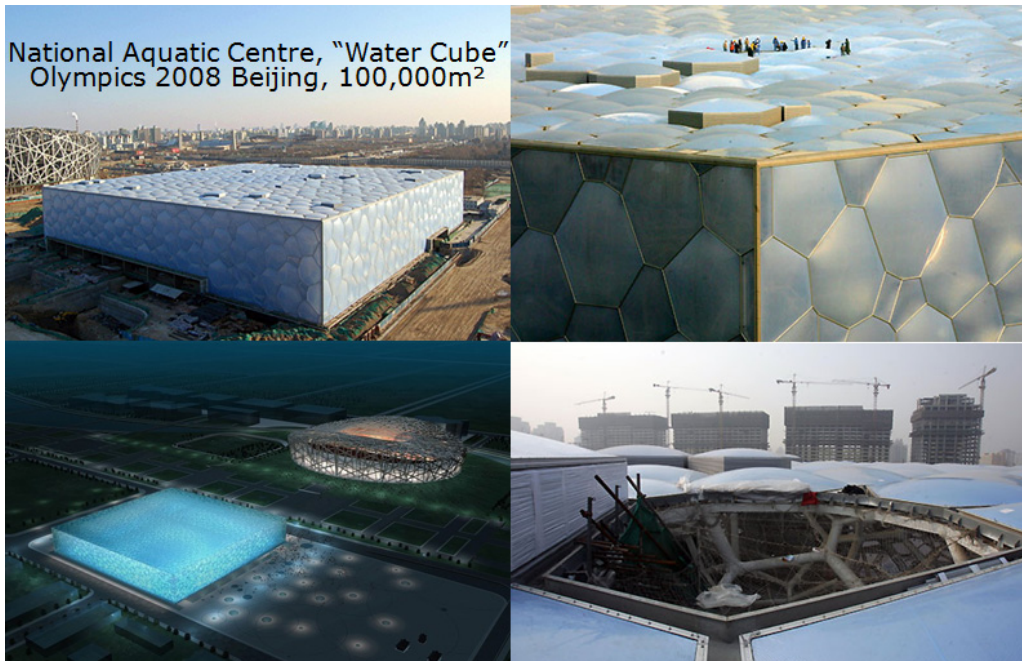
Fig.3.81. Jersey General Hospital

$U=0,28$

Transmisie lumina=9-12%

Factor solar (transmisie solara totala)=0,08-0,11

3.4.4.4 Vector Foiltec (Texlon Nanogel în dezvoltare)



National Aquatic Centre, "Water Cube"  
Olympics 2008 Beijing, 100,000m<sup>2</sup>

Fig.3.82. Centrul național acvatic, Beijing

### 3.4.5. Posibilități de utilizare a aerogelului în izolarea suprafețelor pline ale clădirilor

#### 3.4.5.1 Reabilitare clădire cu pereți tubulari, München, Germania

La fel ca în aplicațiile de iluminare naturală, și la izolarea pereților plini, performanța ridicată a aerogelului este ilustrată în mod clar.



Injectarea nanogelului granulat în stratul de aer existent în structura peretelui a condus la reducerea coeficientului de transfer termic de la  $U=0,98 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  la  $U= 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$ , care a îmbunătățit substanțial performanțele de

Fig.3.83. Inserare nanogel pentru reabilitare perete plin izolare termică și fonică ale peretelui și a redus corespunzător costurile de încălzire sau răcire.

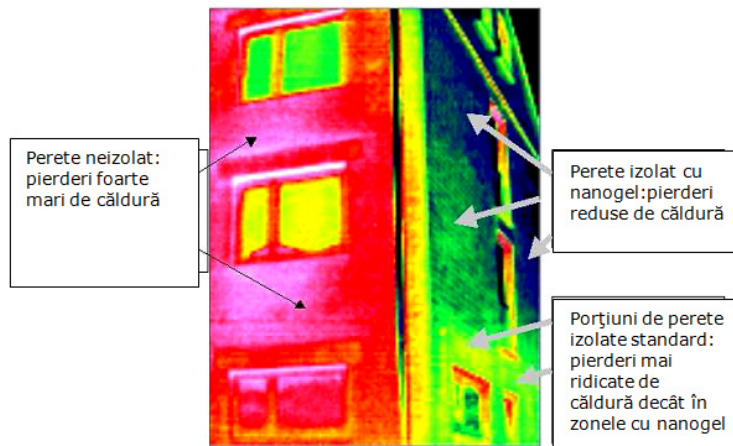


Fig.3.84. Analiză termografică la perete cu nanogel încorporat

Din studiul termografiei rezultă că peretele izolat cu nanogel prezintă pierderi de căldură substanțial reduse, comparativ cu peretele neizolat sau cu porțiunile izolate standard.



## **4. MODELE ȘI METODE PENTRU ANALIZA BAZATĂ PE PERFORMANȚĂ ENERGETICĂ**

### **4.1. Noțiuni generale**

O clădire sustenabilă este o construcție care utilizează resursele cheie (energia, apa, materialele de construcție, pământul ș.a) mult mai eficient decât clădirile convenționale. Aceste construcții sunt în așa fel ridicate încât să asigure locuitorilor lor un ambient mult mai sănătos pentru lucru, studiu sau relaxare prin intermediul folosirii extensive a luminii naturale, a aerului curat precum și a unui grad ridicat de confort. Clădirile sustenabile sunt construcții eficiente din punct de vedere al costurilor de întreținere și operare și a căror valoare crește pe măsura trecerii timpului, prin impactul pozitiv asupra mediului natural și social. În contextul preocupărilor pentru dezvoltare durabilă, auditul energetic stabilește, din punct de vedere tehnic și economic, soluțiile de reabilitare și modernizare termoeenergetică a construcției. Pentru aceasta, inginerilor le revin mari responsabilități, în sensul găsirii celor mai eficiente modalități și tehnici de determinare a economiilor de energie și reducerii cheltuielilor, ca urmare a investirii în măsurile de conservare a energiei.

Capitolul aduce în atenția experților pentru clădiri unele tehnici de estimare a consumului de energie ce ar putea fi folosite pentru a determina economiile ce pot rezulta din aplicarea unor măsuri de conservare a energiei.

### **4.2. Auditul energetic-parte a procesului de dezvoltare durabilă**

Audit energetic al unei cladiri - operație prin care se stabilesc, din punct de vedere tehnic și economic soluțiile de reabilitare și modernizare termoeenergetică a construcției pe baza rezultatelor obținute din activitatea de expertiză termică și energetică a clădirii. În normativele aprobate de MLPTL, NP 47, 48 și 49/2000 se introduce o defalcare în trei componente:

- expertizarea termică în care se stabilesc caracteristicile termotehnice ale clădirilor (elemente de construcții și instalații) și consumurile de energie pentru satisfacerea exigențelor de funcționare normală;
- certificatul energetic prin care, plecând de la expertiza energetică, se stabilește „calitatea energetică” a construcției și se acordă un calificativ. Certificatul energetic devine obligatoriu în multe situații;
- auditul energetic prin care se prezintă soluții pentru reducerea consumului de energie în clădiri.

Pentru aceasta, inginerilor le revin mari responsabilități, în sensul găsirii celor mai eficiente modalități și tehnici de determinare a economiilor de energie și reducerii cheltuielilor, ca urmare a investirii în măsurile de conservare a energiei.

În subcapitolele următoare se prezintă, pe scurt, unele tehnici de estimare a consumului de energie [57] folosite în mod obișnuit de către experții pentru clădiri pentru a determina economiile ce pot rezulta din aplicarea unor măsuri de conservare a energiei.

### 4.3. Metode de analiză energetică

Metodele existente de analizare a consumurilor de energie (aplicate în cadrul așa numitor *audituri sau analize energetice*) variază mult în complexitate și exactitate. Pentru a selecta metoda potrivită de auditare energetică, expertul/auditorul trebuie să ia în considerare mai mulți factori, care includ: rapiditatea, costul, versatilitatea, posibilitatea de reproductibilitate, sensibilitatea, precizia și ușurința în utilizare. Există sute de modalități și metode pentru analizarea energiei, care sunt utilizate în întreaga lume pentru a se prevedea posibilele economisiri în cadrul măsurilor de conservare a energiei. În general, abordările existente de analizare a energiei pot fi : *metode directe* (înainte) și *metode inverse* (înapoi).

În abordarea directă, așa cum o vedem descrisă în Fig.4.1, estimările de energie se bazează pe descrierea fizică a sistemelor construcției, precum geometria, amplasarea, detaliile de construcție, și tipul de sistem și operare IVAC (încălzire, ventilare și aer condiționat). Majoritatea modalităților detaliate existente de simulare a energiei urmează metoda de simulare a abordării directe.

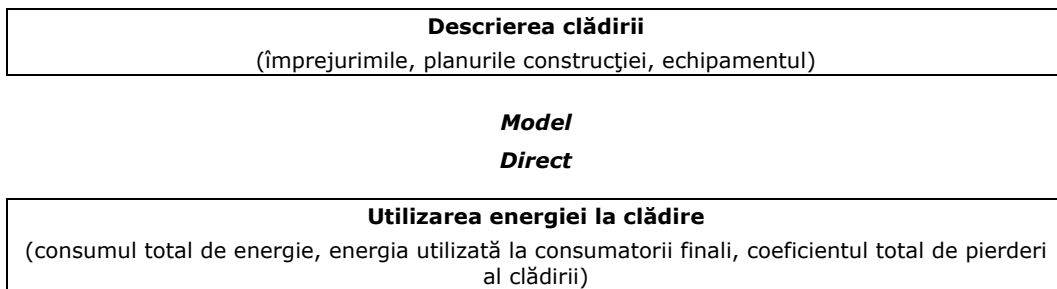


Fig. 4.1. Abordarea directă a unui audit energetic

În abordarea indirectă, așa cum se vede în Fig.4.2, modelul de analiză a consumurilor de energie încearcă să deducă parametrii reprezentativi ai clădirii (precum coeficientul  $G_V$  al totalului de pierderi al întregii clădiri, sarcina de bază a clădirii, sau constanța de timp a construcției) folosindu-se utilizarea existentă a energiei, vremea și orice alte date relevante ale performanței.

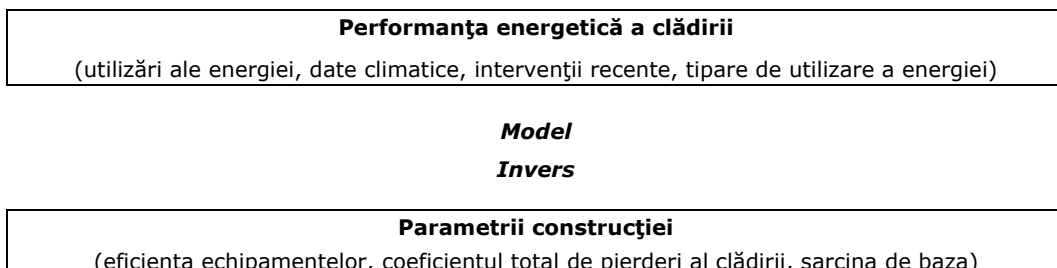


Fig. 4.2. Abordarea inversă a unui audit energetic



În general, modelele inverse sunt mai puțin complexe ca formulare decât modelele directe. Totuși, flexibilitatea modelelor inverse este în mod tipic limitată de formularea parametrilor reprezentativi de construcție și de exactitatea datelor de performanță a construcției. Majoritatea modelelor inverse existente se bazează pe modalități de analiză de regresie (precum modelele grade-zile cu referință variabilă), sau pe abordarea integrată în identificarea parametrilor construcției.

(Numărul de grade-zile: influențează consumul anual de energie. Definit ca diferența între o temperatură dată și temperatura medie zilnică. Printre aplicațiile frecvente ale abordărilor directe sau inverse sunt:

verificarea economiilor de energie ce apar propriu-zis prin măsurile de economisire a energiei, diagnosticarea defecțiunilor la echipamente testarea eficienței sistemelor energetice din clădire.

Tehnicile de auditare energetică pot folosi fie *abordările cu simulare staționară*, fie cele cu *simulare dinamică*. În general, *modelele staționare* sunt suficiente pentru analizarea performanței clădirii pentru un anotimp sau un an. Totuși, *modelele dinamice* pot fi necesare pentru a evalua efectele tranzitorii ale sistemelor energetice din construcții, precum sunt cele întâlnite la sistemele de stocare a energiei sau la elementele de control pentru optimizarea pornirilor. Tehnicile de analiză a energiei sunt grupate, în mod obișnuit, în trei categorii: *metode bazate pe indicatori (rapoarte)*, care sunt abordări de tip pre-auditare, bazate pe densitățile de energie/ costuri care să permită o evaluare rapidă a performanței construcției; *metode inverse*, bazate fie pe simularea staționară, fie pe cea dinamică; *metode directe*, care constituie cel mai adesea baza programelor pe computere pentru simularea consumurilor de energie.

#### 4.3.1. Metode bazate pe indicatori

Metodele bazate pe indicatori nu sunt metode propriu-zise de analiză energetică, ci mai curând abordări de tip pre-audit pentru determinarea energiei specifice sau indicatorilor de cost ai clădirii. Acești indicatori de energie/cost ai clădirii sunt apoi comparați cu indicatori de performanță de referință (denumiți uneori repere) obținuți de la multe alte clădiri cu aceleași caracteristici majore. Indicatorii de consum energetic pot oferi informații prețioase referitoare la unele probleme potențiale ale clădirii, cum ar fi scăpări în sistemul de conducte de apă/abur, sau ineficiența sistemului de climatizare, sau consumuri de apă mărite. Mai exact, densitățile de consum de energie sau indicatorii energetici ai clădirilor sunt utilizați pentru:

-a determina dacă se consumă prea multă energie și dacă un audit energetic ar fi util.

-a constata dacă s-a realizat un anumit nivel prestabilit de performanță energetică a clădirii. Dacă nu, indicatorul de energie poate fi utilizat pentru a stabili reducerea consumului de energie, necesară atingerii nivelului propus.

-a monitoriza evoluția consumului de energie al clădirilor și a stabili eficacitatea și profitabilitatea oricărui program de management energetic întreprins post-audit.

Pentru estimarea unor indicatori energetici sau de cost coerenți, se construiesc *baze de date* foarte mari. De regulă, pentru a estima indicatorii de referință, sunt necesare date pentru sute și mii de clădiri similare.

*Indicatorii de energie sau cost* sunt rapoarte pentru care numărătorul și numitorul sunt anumite variabile specifice.

Pentru *indicatorii de performanță energetică*, variabilele prezente la numărător pot fi: *Consumul total de energie al clădirii* (incluzând toți utilizatorii finali), în kWh sau Gcal, *Consumul de energie per utilizator final* existent în clădire (încălzire, ventilare, iluminat), *Necesarul de energie* (kW).

Pentru *indicatorii de cost*, se folosește de regulă la numărător o valoare monetară (mai ales pentru cheltuiala pentru energie sau pentru exploatarea întregii clădiri). La numitor se pot folosi mai multe variabile, potrivit tipului de clădire și a scopului urmărit prin calcularea indicatorului. Câteva dintre variabilele potrivite pentru numitorul indicatorilor de energie sau cost sunt: *Suprafața sau volumul clădirii* (aria încălzită sau volumul condiționat), *Utilizatorii clădirii* (în clădiri de uz colectiv, precum hoteluri, școli), *Grade-zile* (cu temperatura de referință de 20°C), *Unități de producție* (în special pentru unitățile manufacturiere, restaurante).

### 4.3.2. Metode de modelare inversă

Metodele folosind modelarea inversă se bazează pe datele de performanță existente ale clădirii pentru a identifica un anumit set de parametri caracteristici. Metodele inverse pot fi valoroase pentru creșterea eficienței energetice a clădirii, ele putând servi la: detectarea defecțiunilor, prin identificarea perioadelor de timp sau sistemelor energetice cu consumuri de energie anormal de mari, obținerea de estimări ale economiilor de energie prevăzute în urma aplicării unui set de măsuri specifice,, verificarea economiilor energetice rezultate ca urmare a unor modernizări.

Pentru estimarea, pe baza datelor experimentale, a parametrilor reprezentativi ai clădirii și/sau sistemelor sale (cum ar fi coeficientul de sarcină al clădirii sau randamentul sistemului de încălzire), se folosesc de regulă analize de regresie. În general, modelele inverse staționare se bazează pe date culese lunar și/sau zilnic și includ una sau mai multe variabile independente. Modelele inverse dinamice sunt de regulă dezvoltate pe seturi de date orare sau sub-orare, fiind capabile să redea efecte tranzitorii, cum ar fi cazul clădirilor unde inerția termică mare întârzie încălzirea sau răcirea spațiilor interioare.

#### 4.3.2.1. Modele inverse staționare

În general, aceste modele caută să identifice relația dintre consumurile energetice ale clădirii și parametrii dependenți de climă, cum ar fi temperatura medie exterioară (lunară sau zilnică), gradele-zile sau gradele-ore. După cum s-a menționat mai înainte, această corelație se face utilizând metode statistice (bazate pe analize de regresie liniară).

Modelele inverse staționare sunt aplicabile numai pentru estimarea pe termen lung a consumurilor finale de energie. Ca urmare, pentru a putea susține analiza de regresie, datele despre consumurile de energie sunt colectate pe perioade mari de timp (un sezon, un an).

Avantajele principale ale modelelor staționare inverse sunt:

*Simplitate*: modelele inverse se pot baza doar pe câteva seturi de date obținute, de exemplu, din facturile de energie ale clădirii.

*Flexibilitate*: modelele inverse staționare au o paletă largă de aplicații, fiind valoroase îndeosebi la estimarea consumurilor de energie la clădirile rezidențiale și clădirile comerciale mici.

Modelele inverse staționare se recomandă în special pentru măsurarea și verificarea economiilor de energie apărute în urma modernizărilor. Există modele simplificate bazate pe metode grade-zile, care pot fi folosite pentru a determina impactul energetic pe care îl au anumite măsuri de eficientizare energetică. În continuare, se prezintă pe scurt două astfel de modele inverse simplificate:

*Metoda cumulativă grade-zile* care constă din corelarea (folosind o analiză de regresie liniară), a consumurilor energetice cumulate ale clădirii cu gradele-zile cumulate (folosind o temperatură de referință de 20°C). Fig. 4.3 ilustrează conceptul de bază al metodei cumulative grade-zile.

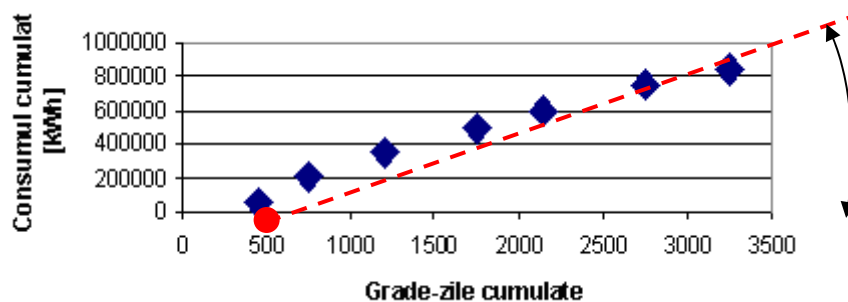


Fig.4.3. Aplicarea tipică a metodei cumulative grade-zile

Se exprimă consumul cumulat de energie cu ajutorul relației (4.1):

$$E_{inc} = 0,024 \times \frac{G}{\eta_{inc}} \times V_{clad} \times I \times GZ_{inc} \quad [\text{kWh}] \quad (4.1)$$

unde:

- $E_{inc,lun}$  - consumul cumulat de energie pentru încălzirea clădirii [kWh]
- $G$  - coeficientul total de pierderi raportat la volumul clădirii [ $\text{W}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$ ]
- $\eta_{inc}$  - randamentul mediu sezonier al sistemului de încălzire
- $V_{clad}$  - volumul încălzit al clădirii [ $\text{m}^3$ ]
- $GZ_{inc}$  - grade-zile cumulate pentru încălzire (raportate la 20°C)
- $I$  - factor de corecție ce ține cont de efectul reducerii programate a sarcinii termice (de exemplu, pe timpul nopții sau pe timpul week-endului); dacă nu este reducere de sarcină, atunci  $I=1$ .

Această metodă este folosită în unele țări europene pentru a monitoriza variația consumului de energie al clădirilor pe timpul sezonului de încălzire. În particular, abordarea grade-zile cumulativă permite vizualizarea oricărei modificări a consumului energetic survenită în urma măsurilor de modernizare, prin panta curbei de regresie liniară. Orice îmbunătățire a performanțelor termice ale clădirii (cum ar fi îmbunătățirea izolației termice sau creșterea eficienței sistemului de încălzire) va reduce panta.

Metoda grade-zile cu temperatura de referință variabilă care folosește analiza de regresie liniară pentru a stabili temperatura de echilibru a clădirii, pentru a estima consumul lunar de energie pentru încălzire din clădiri. Se reprezintă grafic, ca în Fig.4.4, prin puncte, consumul lunar de energie pentru încălzire, funcție de gradele zile lunare raportate la temperatura interioară de calcul de 20°C.

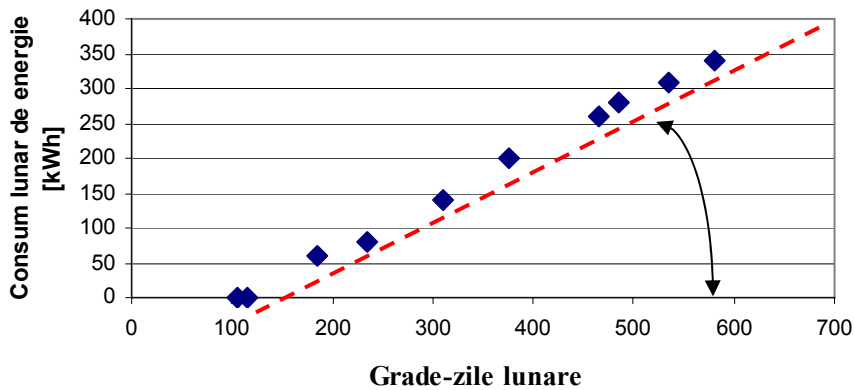


Fig.4.4. Aplicarea tipică a metodei grade-zile cu temperatura de referință variabilă

Se exprimă consumul lunar de energie cu ajutorul relației 4.2 :

$$E_{inc,lun} = 0,024 \times \frac{G}{\eta_{inc}} \times V_{clad} \times I \times [GZ_{inc,lun} - (20 - T_{ech}) \times N] \quad [\text{kWh}] \quad (4.2)$$

unde:

- $E_{inc,lun}$  - consumul lunar de energie [kWh]
- $GZ_{inc,lun}$  - grade-zile încălzire pentru o lună (raportate la 20°C)
- $T_{ech}$  - temperatura de echilibru a clădirii
- $N$  - numărul de zile din lună
- $G, I, V_{clad}, \eta_{inc}$  au aceeași semnificație ca în ec. (1).

Pentru corelarea consumurilor lunare de energie cu gradele-zile lunare (raportate la 20°C) este necesară rularea unei analize de regresie liniară, folosind numai date din sezonul de încălzire. Dreapta de regresie (desenată punctat în fig.4.4) intersectează abscisa în  $GZ_{inc,lun,0}$ . Temperatura de echilibru rezultă din condiția 4.3 :

$$[GZ_{inc,lun,0} - (20 - T_{ech}) \cdot 30] = 0. \quad (4.3)$$

Panta dreptei de regresie este dată de expresia  $0,024G \cdot V_{clad} \cdot I / \eta_{inc}$ . Dacă se cunosc volumul clădirii și randamentul sezonier al instalației de încălzire, se poate determina coeficientul total de pierderi termice,  $G$ .

#### 4.3.2.2. Modele inverse dinamice

Modelele dinamice inverse pot fi folosite pentru estimarea variației consumurilor de energie, pe baza datelor colectate pe perioade scurte (o săptămână). În general, un model invers dinamic este bazat pe un model termic al clădirii care folosește un set specific de parametrii, de regulă identificați prin aplicarea unei forme de analiză de regresie liniară. Spre deosebire de modelele staționare, cele dinamice cer un grad înalt de interacțiune cu utilizatorul și cunoașterea în detaliu a clădirii sau sistemului modelat. Astfel de modele sunt sofisticate și stau, de regulă, la baza unor softuri specializate.

#### 4.3.3. Metode de modelare directă

Modelele directe sunt, în general, bazate pe descrierea fizică a sistemului energetic al clădirii. De regulă, aceste modele permit determinarea consumurilor finale de energie, precum și estimarea oricărei economii de energie survenită în urma aplicării măsurilor de conservare a energiei.

##### 4.3.3.1. Metode directe staționare

Metodele directe staționare sunt, în general, ușor de folosit, iar majoritatea calculului pot fi executate manual sau cu foi electronice de calcul. Se pot distinge două astfel de metode tipice: *metode grade-zile* și *metode de interval*.

*Metode grade-zile* ce folosesc grade-zile sezoniere calculate la o temperatură prestabilită (temperatura interioară de calcul de 20°C sau temperatura de echilibru) pentru estimarea necesarului de încălzire al clădirii. În mod obișnuit, aceste metode nu sunt potrivite pentru calculul necesarului de energie pentru răcire. Cu toate că metoda grade-zile cu temperatura de referință variabilă este mai precisă, metoda grade-zile pentru încălzire, bazată pe temperatura de referință de 20°C, este folosită încă în Europa pentru clădiri rezidențiale și comerciale.

Metodele grade-zile permit estimarea consumului sezonier de energie pentru încălzire, cu ecuația 4.4 :

$$F = \frac{0,024 \cdot G \cdot V_{clad} \cdot f \cdot GZ_{inc}(T_{ref})}{\eta_{inc}} \quad [\text{kWh}] \quad (4.4)$$

unde:

$F$  - consumul de energie (gaz, combustibil lichid, sau energie electrică pentru încălzire), [kWh]

$G$  - coeficientul total de pierderi al clădirii

$V_{clad}$  - volumul încălzit al clădirii, [m<sup>3</sup>]

$f$  - factor de corecție ce include diverse efecte, ca funcționarea la sarcini parțiale, reducerea sarcinii pe timpul nopții sau aporturi gratuite de căldură.

$T_{ref}$  - temperatura de echilibru sau interioară de calcul a clădirii [°C].

$GZ_{inc}(T_{ref})$  - grade-zile încălzire la temperatura de referință  $T_{ref}$  [K·zi]

Metodele grade-zile cu temperatura de referință variabilă oferă de regulă estimări corecte asupra consumului de energie pentru încălzire în cazul clădirilor unde predomină pierderile termice prin pereții exteriori (adică la clădirile joase, unde infiltrațiile de aer sunt relativ mici). Cu toate acestea, ele nu sunt recomandate clădirilor dominate de aporturi termice interne și/sau cu instalații IVAC complexe.

*Metodele de interval* sunt similare cu *metodele grade-zile* cu temperatura de

referință variabilă; pentru a estima consumul energetic pentru încălzire și/sau răcire al clădirii, însă, ele se bazează pe date climatice definite pe intervale de valori pentru temperatura exterioară. În metodele de interval clasice, temperaturile exterioare sunt grupate în intervale de mărimi egale, de regulă de 5°C. Pentru fiecare interval în parte, se precizează numărul statistic de ore de apariție a valorilor din interval. Pentru celelalte variabile climatice, se determină numai valorile medii corespunzătoare valorii centrate din intervalul de temperaturi exterioare. Datele climatice din metodele de interval clasice reprezintă deseori un set unidimensional de date (temperaturi exterioare). Precizia metodelor de interval este bună numai în cazul clădirilor dominate de transfer de căldură sensibilă (fără schimbare de fază) și fără efecte semnificative de inerție termică. Pentru creșterea preciziei, în special la clădirile cu sarcini termice latente mari, se introduc seturi bidimensionale de date climatice bazate pe două variabile (precum temperatura termometrului uscat și umiditatea relativă).

În ambele tipuri de metode staționare, este necesară cunoașterea coeficientului total de pierderi termice,  $G$ .

#### 4.3.3.2. Metode directe dinamice

Metodele dinamice analitice folosesc modele analitice și numerice pentru a calcula transferul de energie dintre diferitele sisteme ale clădirii. În general, aceste modele constau din produse software (cu pași de timp orari sau mai mici) ce estimează corespunzător efectul inerției termice datorat stocării energiei în pereții clădirii și/sau în sistemul de încălzire.

Proprietatea importantă a acestor modele de simulare este capacitatea acestora de a ține cont de mai mulți parametri cruciali în estimarea corectă a consumului de energie, în special la clădiri cu inerție termică pronunțată, cu reduceri nocturne ale sarcinii, cu sisteme de stocaj a energiei sau strategii de control predictiv.

În general, un program de simulare necesită o descriere fizică detaliată a clădirii (geometrie, detalii constructive ale pereților, tipul sistemelor de încălzire și climatizare, precum și programul).

#### 4.3.4. Concluzii

Metodele existente de analizare a consumurilor de energie variază mult în complexitate și exactitate. Pentru a selecta metoda potrivită de auditare energetică, expertul/auditorul trebuie să ia în considerare mai mulți factori care includ: rapiditatea, costul, versatilitatea, posibilitatea de reproductibilitate, sensibilitatea precizia, ușurința în utilizare, etc.

Metodele de analizare a consumurilor de energie permit analizarea performanței clădirilor pentru un anotimp sau un an, estimarea și verificarea economiilor de energie ce apar propriu-zis prin măsurile de economisire în anumite sisteme energetice, precum și testarea eficienței sistemelor energetice respective. Metodele de analizare a consumurilor de energie constituie un important punct de pornire în optimizarea sistemelor de termoizolare a clădirilor.

## 4.4. Metoda costurilor globale (CG)

### 4.4.1. Prezentare generală

Metoda costurilor globale (CG) (*coût global* – Franța, *costo globale (totale)*-Italia, *gesamten Kosten*- Austria, Germania și Elveția, *lifecylecost*- SUA și țările anglofone) este o metodă prin care se urmărește îmbunătățirea *deciziei de a investi*, prin reducerea riscului de a investi inițial mai puțin și de a suporta cheltuieli mari ulterioare. În antiteză cu premiza greșită de a se conta numai pe scăderea costului construcțiilor, principiul de bază al *costului global al investiției* este:

*Valoare investiție (I) + Cheltuieli întreținere (Ci) + Cheltuieli exploatare (Ce) - Valoare reziduală după un ciclu de viață (Vr) => cât mai mică*

$$I + Ci + Ce - Vr => \text{MINIM}$$

*Costul global* [50] se aplică la nivel de proiect, în orice stadiu de existență a obiectelor de construcții, indiferent dacă acesta se referă la investiții noi sau la reabilitări, modernizări, reparații capitale, protecția mediului etc pentru a oferi șansa selectării variantei celei mai avantajoase, atât din punct de vedere al costurilor inițiale, cât și al celor ulterioare. Costul global intră în discuție la fundamentarea deciziei de a investi numai ca rezultat al comparației între două sau mai multe variante, între care se alege cea cu costul global minim.

Dacă variantele analizate diferă între ele din punctul de vedere al durabilității, orizontul de timp sau perioada de analiză se stabilește astfel încât acesta să corespundă cu durabilitatea cea mai mare. Această regulă este valabilă, în special, la analiza soluțiilor pe părți de obiect și presupune introducerea cheltuielilor de înlocuire pentru soluția cu durabilitate mai mică. Costul global se aplică numai la proiecte cu aceeași funcționalitate. Categoriile de obiecte de construcții care pot constitui teme ale proiectelor analizate pot fi clădiri sau construcții ingineresti, metoda fiind compatibilă atât cu aplicarea la analiza unor soluții parțiale, cât și a construcției în ansamblu.

Utilizarea noțiunii de „cost global al investiției” a fost determinată de factori precum: constatarea că, în timp, deciziile „ieftine” la început au determinat costuri ulterioare foarte mari, îmbătrânirea patrimoniului construit și necesitatea unor reparații sau reabilitări ulterioare costisitoare, creșterea alarmantă a cheltuielilor de exploatare ca urmare a exploziei costurilor pentru combustibil, energie etc; Momentul luării deciziei compatibil cu costul global este acela dinaintea efectuării investiției propriu-zise, respectiv *faza de proiectare* când se hotărăsc în proporție de 70% atât cheltuielile inițiale, cât și cele ulterioare pentru a oferi șansa selectării variantei celei mai avantajoase, atât din punct de vedere al costurilor inițiale, cât și al celor ulterioare.

*După conținut*, costul global se definește ca fiind suma economică dintre eforturile inițiale pentru realizarea unei investiții și cele ulterioare, legate de întreținerea și exploatarea acesteia. Schematic, această definiție se poate reprezenta astfel:

$$\text{Costul global} = \text{Costuri inițiale} + \text{Costuri ulterioare}$$

Ca expresie matematică, costul global al unei investiții reprezintă suma costurilor relevante aferente investiției respective pe o anumită perioadă de timp, exprimate în valori echivalente la un moment dat, respectiv relația 4.5:

$$CG = I + \sum_i \sum_{t=0}^n C_{it} F_{it} \quad (4.5)$$

în care:

$I$  = investițiile inițiale considerate pentru simplificare ca fiind consumate la reperul de

timp luat pentru analiză

$n$  = perioada din durata investiției considerată perioadă de analiză (ani)

$C_{it}$  = costurile din categoria  $i$  la momentul  $t$ .

$F_{it}$  = factorul de transformare a unor costuri  $C_i$  consemnate la momentul  $t$  în valori echivalente la data reper sau factor de actualizare

#### 4.4.2. Elementele componente ale costului global

Conform Normativelor românești de calcul [50] elementele componente ale CG sunt:

- costuri inițiale
- costuri ulterioare
- perioada de analiză
- data reper
- factorii de actualizare

##### 4.4.2.1. Costuri inițiale ( I )

Această componentă reprezintă, în principal, costurile de deviz, la care se recomandă adăugarea, cheltuielilor de proiectare și cercetare.

Observații:

1. Această componentă nu este supusă corecției cu factori de actualizare.
2. Enumerarea categoriilor incluse în costurile inițiale nu este limitativă: dacă „clientul” solicită includerea altor categorii considerate de el relevante (costurile sociale, de ex.), acestea pot fi incluse.

Procedura pentru stabilirea costurilor inițiale (costurilor de deviz) presupune:

1. Elaborarea unui inventar al soluțiilor constructive pe categorii de obiecte de construcții
2. Stabilirea costurilor de deviz aferente
3. Agregarea costurilor pentru stabilirea costurilor la nivel de obiect.

În ceea ce privește cheltuielile de proiectare (cercetare), se apreciază că, în prezent, acestea reprezintă 5-10% din costul investiției, dar se estimează o creștere în viitorul apropiat a ponderii respective. Conform unor analize realizate de specialiștii IPC, se apreciază că tarifele minime pentru proiectare, asistență tehnică și dirigenție de șantier pentru lucrări de construcții și instalații aferente la clădiri civile sunt de 17% la peste 500 mii lei valoare a lucrărilor, 16% la 1000 mii lei, 14% la 2000 mii lei ș.a.m.d. Aceleași tarife pentru lucrări de reparații și consolidări sînt: 20% la peste 500 mii lei valoare a lucrărilor; 19% la peste 1000 mii lei; 17% la 2000 mii lei ș.a.m.d.



#### 4.4.2.2. Costuri ulterioare ( $C_{it}$ )

Se recomandă includerea în această categorie a următoarelor categorii: costuri de întreținere, reparații curente, reparații capitale, înlocuiri și de exploatare.

Conform părerii specialiștilor, pentru construcțiile de locuințe situația se prezintă astfel:

- lucrările de reparații curente reprezintă, la toate categoriile de lucrări, circa 50% din valoarea reparațiilor capitale;
- lucrările de întreținere la construcții, cca. 70% din reparațiile curente, iar la instalații, apropiate ca valoare de acestea;
- dintre categoriile de lucrări, cele de construcții au ponderea maximă, reprezentând cca. 85% din total;
- dintre lucrările de instalații, se remarcă faptul că ponderea cea mai mare o au cele sanitare, urmate de cele de încălzire, electrice și gaze.

*Observație:* Se precizează că enumerarea făcută privind cheltuielile ulterioare nu este limitativă și nu trebuie considerată obligație pentru toate aplicațiile. Pentru locuințe, de exemplu, pot fi importante cheltuielile pentru întreținerea și repararea instalațiilor; pentru clădirile administrative poate avea o pondere însemnată iluminatul, iar pentru un cămin studențesc pot căpăta un loc deosebit cheltuielile pentru curățenia și întreținerea spațiilor comune.

#### 4.4.2.3. Perioada de analiză (n)

Reprezintă intervalul stabilit pentru studierea elementelor componente ale CG, care de regulă, este mai mic decât durata de exploatare a obiectului analizat. Stabilirea perioadei de analiză este esențială pentru acuratețea rezultatelor unei analize de CG. Alegerea unui orizont foarte îndepărtat, creează dificultăți sub aspectul previziunilor de prețuri, de schimbări tehnologice, de politică economică etc. De asemenea, sub influența actualizării, mai ales dacă se utilizează rate de actualizare mari, costurile ulterioare devin neglijabile, deci ele nu mai pot influența consistent decizia de a investi în prezent. De exemplu, valoarea actuală a unui leu cheltuit peste 30 de ani, la o rată a actualizării de 15% este de numai 0,0151.

Totuși, ținând cont că „produsele” din construcții au, în general, durate mari de folosință, analizele nu pot fi concludente pentru perioade prea mari.

Alegerea intervalului cel mai adecvat pentru un studiu de CG se realizează cu concursul nemijlocit al investitorului și ținând cont că, o durată mai mare a obiectului analizat, permite o perioadă de analiză mai mare, cu o rată a actualizării mai mică. Invers, o durată mai mică conduce la o perioadă de analiză mai mică și o rată de actualizare mai mare. În această situație, recomandarea care se face în legătură cu *perioada de analiză* este ca limita sa maximă să fie de 40 ani. La aceasta s-a ținut cont și de practica pe plan mondial și anume: Franța — 25, 30 sau 50 de ani; SUA — 20 la 30 de ani, dar mai ales 25 ani datorită nesiguranței în evoluția prețurilor la energie pe perioade mai lungi; în Suedia — 60 de ani.

#### 4.4.2.4. Momentul sau data reper (t)

Acest element reprezintă momentul stabilit pentru exprimarea costurilor consemnate la momente diferite în timp în valori echivalente. Acesta poate fi:

- momentul luării deciziei (analizei),
- momentul începerii execuției,
- momentul dării în exploatare,
- momentul scoaterii din uz.

Alegerea unuia dintre aceste momente are efect asupra sensului actualizării și a tipului factorilor de actualizare. Astfel, dacă momentul sau data reper este momentul luării deciziei, atunci sensul actualizării este din trecut înspre prezent, iar factorul de actualizare cel mai utilizat este  $F_2$ . Dacă data reper se stabilește a fi momentul scoaterii din funcțiune, atunci sensul actualizării va fi dinspre prezent spre viitor, iar factorul de actualizare cel mai utilizat va fi  $F_1$  (*Anexa 1*). Se precizează că, momentul sau data reper stabilită, nu poate altera rezultatele finale ale analizei de CG, cu condiția ca această convenție să se respecte și să se aplice unitar.

Pentru exemplificare se ia cazul ipotetic a două variante care consemnează în momentul  $t = 10$  valorile 100 și respectiv 200 de unități. Pentru ipoteza că rata de actualizare este 10%, dacă data reper este  $t = 0$  iar  $n = 40$ , atunci cele două valori devin:  $100 \times 0,38554 = 38,554$  lei și  $200 \times 0,38554 = 77,108$  lei.

Dacă data reper  $t = n = 40$  ani, atunci:  $100 \times 17,449 = 1744,9$  lei și  $200 \times 17,449 = 3489,8$  lei

În ambele cazuri  **$V_1 < V_2$** .

*Data reper* care se recomandă este momentul luării deciziei (analizei) datorită faptului că întărește sentimentul raportării la realitățile curente și creează impresia angajării cu mai mare responsabilitate în deciziile de investiții.

#### 4.4.2.5. Factorii de actualizare ( $F_{it}$ )

Factorii de actualizare reprezintă coeficienți de corectare a costurilor consemnate la momente diferite ale perioadei de analiză, pentru a face posibilă echivalarea lor în raport cu un moment stabilit și însumarea economică a acestora. Elementul cel mai important din formula factorilor de actualizare este rata actualizării ( **$a$** ) (rata de escaladare a prețurilor) deoarece de mărimea acesteia depinde atât nivelul acestor factori, cât și perioada cea mai reprezentativă pentru analiză și, în final, însăși decizia de a investi. Această rată a actualizării reprezintă prețul plătit pentru imobilizarea fondurilor care nu produc imediat. După unii autori aceasta este determinată de mai mulți factori printre care: rata dobânzii, rata profitului, ritmul de creștere a venitului național și poate fi asimilată cu acestea.

Alegerea nivelului acestei rate însă, este problemă extrem de delicată deoarece, cu cât rata actualizării va fi mai ridicată, cu atât și numărul proiectelor de investiții respinse va fi mai mare, pe motiv că li se pretinde să asigure un profit prea mare. Pe de altă parte, cu cât coeficientul de actualizare este mai redus, perioada de analiză are o influență mai mare asupra limitei acceptabile a investițiilor. De asemenea, la o creștere a ratei de actualizare și a perioadei de analiză, influența factorului de actualizare asupra creșterii limitei acceptabile a mărimii investițiilor tinde spre zero.

Ținând cont de cele de mai sus și de condițiile actuale din România privind rata dobânzii la creditele pentru locuințe, ritmul de creștere al ramurii, nivelul

productivității muncii în construcții, ritmul de creștere a venitului național, se recomandă o rată a actualizării de 10% (12%). Se apreciază că nivelul acesta este ridicat față de condițiile tehnico-materiale ale ramurii, dar practicarea unor rate mai scăzute nu ar fi mobilizatoare, sau ar încuraja proiecte cu efecte minore. Față de ratele de actualizare practicate în alte țări (10% SUA, 7% Franța), rata recomandată este mai mare pentru că aceasta este specific țărilor cu economie mai puțin dezvoltată.

În *Anexa 8.4.1* se dau formulele de calcul ale factorilor de actualizare și interpretarea acestora. Exemple de utilizare a factorilor de actualizare:

Factorii  $F_1$  se folosesc pentru a multiplica o sumă prezentă CP, investită cu o rată a dobânzii  $a$ , pentru a obține suma CV disponibilă la sfârșitul perioadei  $t$ . De exemplu, 1000 de lei investiți la începutul intervalului cu o dobândă de 10%, va însemna peste 10 ani 2594 lei ( $1000 \times 2,594$ ).

Factorii  $F_2$  se utilizează pentru a calcula valoarea prezentă a sumei viitoare CV încasată sau plătită la sfârșitul perioadei  $t$ . De exemplu, la o rată de actualizare de 10%, valoarea prezentă a 1000 lei încasați la sfârșitul perioadei de 10 ani va fi de 386 lei ( $1000 \times 0,3855$ ).

Factorii  $F_3$  sunt utilizați pentru a determina suma anuală la sfârșitul perioadei ( $c_j$ ) ce urmează a fi încasată sau plătită timp de  $t$  ani dintr-o sumă inițială CP investită cu o rată a dobânzii  $a$ . Astfel, 1000 lei de investiți cu 10% vor însemna anual o valoare de cca. 163 lei pe durata de 10 ani ( $1000 \times 0,1627$ ).

Factorii  $F_4$  sunt utilizați pentru a transforma o scrie de plăți sau încasări uniforme ( $c_j$ ), care apar pe un interval  $t$ , la o rată de actualizare  $a$ , într-o sumă prezentă echivalentă. Dacă  $a = 10\%$  și  $t = 10$  ani, atunci 1000 de lei investiți în fiecare an în aceste condiții va asigura investitorului o sumă de 6145 lei ( $1000 \times 6,145$ ).

Factorii  $F_5$  se aplică pentru a calcula plățile uniforme ( $c_j$ ) necesare pentru a stabili un fond viitor (CV). Deci, pentru a acumula 1000 de lei după 10 ani, este necesară o sumă anuală uniformă de cca. 63 lei investită cu o rată a dobânzii de 10% ( $1000 \times 0,0627$ ).

Factorii  $F_6$  sunt utilizați pentru a determina o sumă acumulată în viitor (CV, după  $t$  ani, la o rată a dobânzii,  $a$ ). Deci, dacă se investesc anual 1000 de lei cu o dobândă de 10%, timp de 10 ani, suma acumulată la sfârșitul perioadei va fi de 15.940 lei ( $1000 \times 15,94$ ).

Pentru ilustrarea modului de folosire a factorilor  $F_7$  se presupune cazul unui proprietar de casă care suportă cheltuielile pentru energie de 1200 lei/an. Presupunând că aceste cheltuieli vor crește cu o rată anuală de 5%, atunci în 40 de ani, la o rată a dobânzii de 10%, valoarea prezentă a costurilor pentru energie va fi de 212.760 lei ( $12.000 \times 17,73$ ).

#### 4.4.3. Domeniul de aplicație al costului global

Costul global este aplicabil în orice stadiu de existență a obiectelor de construcții, sau cu alte cuvinte, indiferent de categoria lucrărilor de investiții: investiții noi, reparații capitale, modernizări, extinderi, reabilitări etc. Astfel, dacă este vorba de o casă sau o școală nouă, se analizează mai multe proiecte și se alege cel care asigură soluția cea mai avantajoasă de casă sau școală. În mod excepțional poate fi vorba de a alege între decizia de a construi o locuință nouă sau de a locui cu chirie, de exemplu.

Pentru reparații capitale, modernizări, extinderi, în general se urmărește tot alegerea unei soluții dintre mai multe soluții posibile, dar pot fi cazuri în care se pune în discuție efectuarea lucrării acum sau amânarea acesteia.

Pentru reabilitări decizia cea mai importantă, care necesită analize responsabile, este aceea de a reabilita sau de a demola și a construi din nou. La fel ca și alte categorii de lucrări de construcții, abordarea lucrărilor de reabilitare se bazează pe principiul costului global (intervenție și întreținere pe o perioadă contractuală de mai mulți ani).

Principiul costului global este simplu și funcționează astfel: în momentul în care proiectul este definit, se estimează costul acestuia și se definește un caiet de sarcini precis pentru apelul de ofertă. Când antrepriza de construcții răspunde acestui apel, trebuie să comunice nu numai prețurile diferitelor tipuri de prestări pe categorii de lucrări și posturi, ci în egală măsură și prețurile de întreținere bazate pe evaluări privind durata de viață a lucrărilor efectuate și a materialelor folosite. Alegerea finală nu se face numai pe criteriul costului minim, ci și pe criteriul celei mai bune balanțe între lucrări și întreținere.

În ceea ce privește utilizatorii metodei, această denumire îi include atât pe beneficiari sau comanditarii acestor analize, cât și pe aplicatorii propriu-ziși. Principalul beneficiar sau comanditar al analizelor de cost global se scontează a fi statul (atât la nivel central, cât și al administrației locale), iar aplicatorii vor fi, pînă la asimilarea metodei de către proiectanți, nucleele de cercetare, în special pentru lucrări mai importante.

#### 4.4.4. Aplicații de calcul: Analiza comparativă a costurilor globale

##### 4.4.4.1. DOUĂ VARIANTE DE SISTEM DE ÎNCĂLZIRE PENTRU O CASĂ P+1E,S=200mp

Obiectul analizei:

- sistemul convențional
- sistemul mixt (convențional + energie solară)

Nr. crt.	Date inițiale Variante	Sistemul mixt	Sistemul convențional
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	70 000 Euro	50 000 Euro
3	Valoare rămasă	0	4 000 Euro
4	Costuri de întreținere și reparații	3 000 Euro	3 000 Euro
5	Costuri de înlocuire	0	2 000 Euro in anul 15
6	Costul energiei de funcționare	1200 Euro/an	2160 Euro/an

Tab.4.1. Costul energiei de funcționare

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt  
 Costuri sistem de încălzire 250Euro/mp / sistemul convențional  
 Costul energiei de funcționare 100 Euro/lună/ sistemul mixt  
 Costul energiei de funcționare 180 Euro/lună/ sistemul convențional

*Date auxiliare de calcul:*

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci *data reper* este momentul luării deciziei.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două sisteme se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

*1. Perioada de analiză 20 ani**2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:*

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

$$70.000 \text{ Euro} \times 1 = 70.000 \text{ Euro} \text{ și } 50.000 \text{ Euro} \times 1 = 50.000 \text{ Euro}$$

*3. Valoarea actualizată a valorii rămase:*

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumei respective.

Deci, pentru sistemul convențional:

$$4000 \text{ Euro} \times 0,149 = 596 \text{ Euro}$$

Pentru sistemul mixt, se consideră că nu există valoare rămasă după 20 ani.

*4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:*

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două sisteme și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

*5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:*

Factorul de actualizare corespunzător pentru  $a = 10\%$  și  $t = 15$  ani este  $F_2$  și se cere valoarea în prezent a costului de înlocuire.

Deci, pentru sistemul convențional:

$$2000 \text{ Euro} \times 0,231 = 462 \text{ Euro}$$

*6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:*

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

$$\text{Deci, pentru sistemul mixt:} \quad 1200 \text{ Euro} \times 32.95 = 39\,540 \text{ Euro}$$

$$\text{iar pentru sistemul convențional:} \quad 2160 \text{ Euro} \times 32.95 = 71\,172 \text{ Euro}$$

*Costul global al sistemului mixt* în valori actualizate va fi:

$$CG1 = 70000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 39540 \text{ Euro} - 0 = 109\,540 \text{ Euro}$$

*Costul global al sistemului convențional* în valori actualizate va fi:

$$CG2 = 50.000 \text{ Euro} + 0 + 462 \text{ Euro} + 71172 - 596 \text{ Euro} = 121\,038 \text{ Euro}$$

*Concluzia:*

$$\mathbf{CG1 < CG2}$$

*Rezultă că sistemul mixt este mai avantajos decât cel convențional, deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.*

## 4.4.4.2.CALCULUL COSTULUI GLOBAL AL UNEI LOCUINȚE PROPRIETATE PERSONALĂ P+1E

Obiectul analizei:

Două variante:

-V<sub>1</sub>: casă P+1E, S=200mp, reabilitată termic, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

-V<sub>2</sub>: casă P+1E, S=200mp, nereabilitată termic, dotată cu sistem de încălzire convențional

Nr. crt.	Date inițiale <i>Variante</i>	V <sub>1</sub> : casă <b>P+1E, S=200mp</b> , reabilitată termic, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)			V <sub>2</sub> : casă <b>P+1E, S=200mp</b> , nereabilitată termic, dotată cu sistem de încălzire convențional	
		Structură	Reabilitare termică	Sistem mixt	Structură	Sistem convențional
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	100 000 Euro	4 000 Euro	70 000 Euro	100 000 Euro	50 000 Euro
3	Valoare rămasă	80 000 Euro	-	-	80 000 Euro	4 000 Euro
4	Costuri de întreținere și reparații	5 000 Euro	-	3 000 Euro	5 000 Euro	3 000 Euro
5	Costuri de înlocuire	-	-	-	-	-
6	Costul energiei de funcționare	960 Euro/an			2160 Euro/an	

Tab.4.2. Costul energiei de funcționare

Costuri structură 500 Euro/mp

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt

Costuri sistem de încălzire 250Euro/mp / sistemul convențional

Costuri reabilitare termică 20 Euro/mp

Costul energiei de funcționare 80 Euro/lună/ cu reabilitare/ sistemul mixt

Costul energiei de funcționare 180 Euro/lună/ fără reabilitare/ sistemul convențional

*Date auxiliare de calcul:*

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci *data reper* este *momentul luării deciziei*.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

1. Perioada de analiză 20 ani

2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

174.000 Euro x 1 = 174.000 Euro și 150.000 Euro x 1 = 150.000 Euro

**3. Valoarea actualizată a valorii rămase:**

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumei respective.

Deci, pentru  $V_1$ :

$$80\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 11\,928 \text{ Euro}$$

Deci, pentru  $V_2$ :

$$84\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 12\,516 \text{ Euro}$$

Pentru sistemul mixt, se consideră că nu există valoare rămasă după 20 ani.

**4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:**

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

Deci, pentru  $V_1$ :  $960 \text{ Euro} \times 32.95 = 31\,632 \text{ Euro}$

iar pentru  $V_2$ :  $2160 \text{ Euro} \times 32.95 = 71\,172 \text{ Euro}$

Costul global al  $V_1$  în valori actualizate va fi:

$$CG_1 = 174\,000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 31\,632 \text{ Euro} - 11\,928 \text{ Euro} = 193\,704 \text{ Euro}$$

Costul global al  $V_2$  în valori actualizate va fi:

$$CG_2 = 150\,000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 71\,172 \text{ Euro} - 12\,516 \text{ Euro} = 208\,656 \text{ Euro}$$

Concluzia:

$$CG_1 < CG_2$$

Rezultă că  $V_1$  este mai avantajoasă decât  $V_2$ , deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.

#### 4.4.4.3. CALCULUL COSTULUI GLOBAL AL UNEI LOCUINȚE PROPRIETATE PERSONALĂ (date ipotetice)

Enumerarea categoriilor incluse în costurile inițiale nu este limitativă: dacă „clientul” solicită includerea altor categorii considerate de el relevante (costurile sociale, de ex.), acestea pot fi incluse. De asemenea, enumerarea făcută privind cheltuielile ulterioare nu este limitativă și nu trebuie considerată obligație pentru toate aplicațiile. Pentru locuințe, de exemplu, pot fi importante cheltuielile pentru întreținerea și repararea instalațiilor; pentru clădirile administrative poate avea o pondere însemnată iluminatul, iar pentru un cămin studentesc pot căpăta un loc deosebit cheltuielile pentru curățenia și întreținerea spațiilor comune.

Date inițiale:	Structură	Inst. încălzire
Costuri de investiție (lei)	100.000	5.000
Durata de viață (ani)	50	15
Rata medie de creștere a prețului pe durata folosirii	8%	6%
Număr de înlocuiri	0	1
Anul înlocuirii	-	16
Costul înlocuirii	-	5.000
Capital inițial (inclusiv avansul taxe de proprietate): 29.505		
Numărul împrumuturilor: 1		
% din costul total: 75%, adică 78.750		
Rata anuală a dobânzii: 12%		
Durata creditului: 30 ani		
Număr de plăți pe an: 12		
Costuri de exploatare și întreținere		
•Costuri curente: anuale: 500 lei Rata anuală de creștere a costurilor curente anuale: 6%		
•Costuri curente neanuale: Rata de creștere a costurilor curente neanuale: 6%	Nr.	Anul
		Suma
	1	5
	2	10
	3	15
	4	20
	5	25
•Costuri privind energia Costuri anuale pentru electricitate: 2000 Rata anuală de creștere: 10% pentru primii 5 ani 6% pentru următorii 25 ani		
Date auxiliare de calcul al CG:		
Perioada de studiu: 30 ani		
Rata anuală de actualizare (inclusiv inflația): 12%		
Taxa de proprietate (nominală): 2%		

Tab.4.3. Costul energiei de funcționare

*Rezolvarea problemei: Valori actualizate*

A.Capital inițial (inclusiv taxa de proprietate în avans) :	29.505
B.Capital ulterior (plus dobânzi):	82.518
C.Costuri de întreținere și exploatare:	66.061 din care:
• costuri curente anuale	7.140
• costuri curente neanuale	2.359
• costuri pentru electricitate	33.614
• taxe de proprietate	22.948
D.Costuri de înlocuire	2.224
E.Regularizări de plăți	40.150
F.Valoarea rămasă la sfârșitul perioadei	16.889
G.Costul global al proiectului	

$$(A + B + C + D - E - F) = 123.289$$



## H.ANALIZA COMPARATIVĂ DE COST GLOBAL PENTRU LOCUINȚE

	Varianta 1	Varianta 2
Capital inițial	27.825	28.620
Avans taxă de proprietate	1.680	1.728
Subtotal	29.505	30.348
Capital ulterior (plus dobânzi)	82.518	84.875
Costuri curente de expl. și întreținere anuale și neanuale	9.499	9.499
Taxe de proprietate	22.948	23.526
Costuri pentru electricitate	33.614	26.891
Costuri de înlocuire	2.244	2.693
Regularizări de plăți	-40.150	-41.271
Valoare rămasă la sfârșitul perioadei	-16.889	-17.245
<b>COST GLOBAL</b>	<b>123.289</b>	<b>119.316</b>

Tab.4.4. Comparație cost global

**4.4.5. Concluzii**

Aplicarea corectă a metodei **CG** necesită, pe lângă însușirea principiilor de calcul și respectarea unor reguli de ordin metodologic care, în principal, sunt următoarele:

1. Costul global se aplică la nivel de proiect, indiferent dacă acesta se referă la investiții noi sau la reabilitări, modernizări, reparații capitale, protecția mediului etc pentru a oferi șansa selectării variantei celei mai avantajoase, atât din punct de vedere al costurilor inițiale, cât și al celor ulterioare.
2. Costul global intră în discuție la fundamentarea deciziei de a investi numai ca rezultat al comparației între două sau mai multe variante, între care se alege cea cu costul global minim.
3. Dacă variantele analizate diferă între ele din punctul de vedere al durabilității, orizontul de timp sau perioada de analiză se stabilește astfel încât acesta să corespundă cu durabilitatea cea mai mare. Această regulă este valabilă, în special, la analiza soluțiilor pe părți de obiect și presupune introducerea cheltuielilor de înlocuire pentru soluția cu durabilitate mai mică.
4. Costul global se aplică numai la proiecte cu aceeași funcționalitate. De exemplu, se compară între ele diferite proiecte de locuințe, dar nu se poate stabili după această metodă ce este mai avantajos de construit la un buget dat: un ansamblu de locuințe sau o școală.
5. Categoriile de obiecte de construcții care pot constitui teme ale proiectelor analizate pot fi clădiri sau construcții inginerești, metoda fiind compatibilă atât cu aplicarea la analiza unor soluții parțiale, cât și a construcției în ansamblu.
6. Costul global este aplicabil în orice stadiu de existență a obiectelor de construcții, sau cu alte cuvinte, indiferent de categoria lucrărilor de investiții: investiții noi, reparații capitale, modernizări, extinderi, reabilitări etc.

## 4.5. Aplicații de calcul: analiza comparativă a costurilor globale în cazul unor clădiri izolate cu polistiren vs. izolație aerogel

### 4.5.1. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E

Obiectul analizei:

Două variante:

-V<sub>1</sub>: casă P+1E, S=200mp, cu pereții exteriori *izolați termic cu polistiren*, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

-V<sub>2</sub>: casă P+1E, S=200mp, cu pereții *exteriori izolați termic cu panouri flexibile pe bază de nanogel g=9 mm*, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

Nr. crt.	Date inițiale <i>Variante</i>	V <sub>1</sub> : casă P+1E, S=200mp, izolată termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)			V <sub>2</sub> : casă P+1E, S=200mp, izolată termic cu nanogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)		
		Structură	Izolare termică polistiren	Sistem mixt	Structură	Izolare termică cu aerogel	Sistem mixt
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	100 000 Euro	4000 Euro	70 000 Euro	100 000 Euro	14 000 Euro	70 000 Euro
3	Valoare rămasă	80 000 Euro	-	60 000	80 000 Euro	-	60 000
4	Costuri de întreținere și reparații	5 000 Euro	-	3 000 Euro	5 000 Euro	-	3 000 Euro
5	Costuri de înlocuire	-	-	-	-	-	-
6	Costul energiei de funcționare	1800 Euro/an			1296 Euro/an		

Tab.4.5. Costul energiei de funcționare

Costuri structură 500 Euro/mp

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt

Costuri reabilitare termică polistiren 20 Euro/mp

Costuri reabilitare termică cu saltele din nanogel 70 Euro/mp

Costul energiei de funcționare 150 Euro/lună/ cu izolare polistiren/ sistemul mixt

În urma izolării cu panouri flexibile pe bază de nanogel, consumul de energie se reduce cu 3,5 kWh/ m<sup>2</sup>/an față de varianta tradițională, adică:

Costul energiei de funcționare 108 Euro/lună/ cu izolare aerogel/ sistemul mixt

*Date auxiliare de calcul:*

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci *data reper* este momentul luării deciziei.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

*1. Perioada de analiză 20 ani**2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:*

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

$$174.000 \text{ Euro} \times 1 = 174.000 \text{ Euro} \text{ și } 184.000 \text{ Euro} \times 1 = 184.000 \text{ Euro}$$

*3. Valoarea actualizată a valorii rămase:*

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumelor respective.

Deci, pentru  $V_1$ :

$$140\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 20\,860 \text{ Euro}$$

Deci, pentru  $V_2$ :

$$140\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 20\,860 \text{ Euro}$$

*4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:*

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

*5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:*

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

*6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:*

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

$$\text{Deci, pentru } V_1: 1\,800 \text{ Euro} \times 32.95 = 59\,310 \text{ Euro}$$

$$\text{iar pentru } V_2: 1\,296 \text{ Euro} \times 32.95 = 42\,703 \text{ Euro}$$

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

*Costul global al  $V_1$  în valori actualizate va fi:*

$$CG_1 = 174.000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 59\,310 \text{ Euro} - 140\,000 \text{ Euro} = 93\,310 \text{ Euro}$$

*Costul global al  $V_2$  în valori actualizate va fi:*

$$CG_2 = 184\,000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 42\,703 \text{ Euro} - 140\,000 \text{ Euro} = 86\,703 \text{ Euro}$$

*Concluzia:*

$$CG_2 < CG_1$$

*Rezultă că  $V_2$  este mai avantajoasă decât  $V_1$ , deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.*

#### 4.5.2. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E

Obiectul analizei:

Două variante:

-V<sub>1</sub>: casă P+1E, S=200mp, cu pereții exteriori izolați termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

-V<sub>2</sub>: casă P+1E, S=200mp, reabilitată termic pe toată anvelopa cu materiale pe bază de nanogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară) și adusă la nivelul de casă pasivă

O casă pasivă are un grad ridicat de izolare termică și un număr minim de punți termice și infiltrații scăzute și utilizează resursele solare și recuperarea căldurii pentru a îndeplini aceste nivele de conservare a energiei. Pentru a îndeplini cerințele standard de casă pasivă, clădirile pasive sunt capabile să se lipsească de sistemele de încălzire convenționale. Acest fapt nu implică lipsa totală a încălzirii, multe din casele pasive incluzând un sistem care să furnizeze energia necesară încălzirii la parametri reduși. Necesarul de energie termică al unei astfel de clădiri trebuie să fie de maximum 15 kWh/m<sup>2</sup> anual, spre deosebire de 250–400 kWh/m<sup>2</sup> anual pentru o clădire obișnuită, neizolată.

Date inițiale <i>Variante</i>	V <sub>1</sub> : casă P+1E, S=200mp, izolată termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)			V <sub>2</sub> : casă P+1E, S=200mp, izolată termic cu aerogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)		
	Structură	Izolare termică polistiren	Sistem mixt	Structură	Izolare termică cu aerogel	Sistem mixt
Perioada de analiză	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani
Valoare inițială	100 000 Euro	4000 Euro	70 000 Euro	100 000 Euro	28 000 Euro	70 000 Euro
Valoare rămasă	80 000 Euro	2 000	60 000	80 000 Euro	25 000	60 000
Costuri de întreținere și reparații	5 000 Euro	-	3 000 Euro	5 000 Euro	-	3 000 Euro
Costuri de înlocuire	-	-	-	-	-	-
Costul energiei de funcționare	1 800 Euro/an			600Euro/an		

Tab.4.6. Costul energiei de funcționare

Costuri structură 500 Euro/mp

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt

Costuri reabilitare termică polistiren 20 Euro/mp

Costuri reabilitare termică cu saltele din nanogel 70 Euro/mp

Costuri măsuri suplimentare pentru aducerea la stadiul de casă pasivă 70 Euro/mp

Costul energiei de funcționare 150 Euro/lună/ cu izolare polistiren/ sistemul mixt

În urma aducerii în stadiul de casă pasivă costul energiei de funcționare scade foarte mult, adică:

Costul energiei de funcționare 40 Euro/lună/ cu izolare aerogel/ sistemul mixt

*Date auxiliare de calcul:*

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci data reper este momentul luării deciziei.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

*1. Perioada de analiză 20 ani**2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:*

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

$$174.000 \text{ Euro} \times 1 = 174.000 \text{ Euro} \text{ și } 198.000 \text{ Euro} \times 1 = 198.000 \text{ Euro}$$

*3. Valoarea actualizată a valorii rămase:*

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumelor respective.

Deci, pentru  $V_1$ :

$$142\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 21\,158 \text{ Euro}$$

Deci, pentru  $V_2$ :

$$165\,000 \text{ Euro} \times 0,149 = 24\,585 \text{ Euro}$$

*4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:*

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

*5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:*

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

*6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:*

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

Deci, pentru  $V_1$ :  $1\,800 \text{ Euro} \times 32.95 = 59\,310 \text{ Euro}$

iar pentru  $V_2$ :  $600 \text{ Euro} \times 32.95 = 19\,770 \text{ Euro}$

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

Costul global al  $V_1$  în valori actualizate va fi:

$$CG_1 = 174.000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 59\,310 \text{ Euro} - 21\,158 \text{ Euro} = 212\,152 \text{ Euro}$$

Costul global al  $V_2$  în valori actualizate va fi:

$$CG_2 = 198\,000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 19\,770 \text{ Euro} - 24\,585 \text{ Euro} = 193\,185 \text{ Euro}$$

Concluzia:

$$CG_2 < CG_1$$

Rezultă că  $V_2$  este mai avantajoasă decât  $V_1$ , deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.

După cum se poate observa cu toată că, în momentul luării deciziei,  $V_1$  este mai ieftină cu 28 000 Euro decât  $V_2$ , conform Costului global, după 20 ani proprietarul va avea un avantaj de aproximativ 19 000 Euro.

### 4.5.3. Două variante de sistem de încălzire pentru o casă P+1E,S=200mp

Obiectul analizei:

- sistemul convențional (polistiren)
- sistemul mixt (convențional + energie solară)

Nr. crt.	Date inițiale Variante	Sistemul mixt	Sistemul convențional
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	70 000 Euro	50 000 Euro
3	Valoare rămasă	0	4 000 Euro
4	Costuri de întreținere și reparații	2 500 Euro	2 500 Euro
5	Costuri de înlocuire	0	2 000 Euro în anul 15
6	Costul energiei de funcționare	1080 Euro/an	2040 Euro/an

Tab.4.7. Costul energiei de funcționare

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt  
 Costuri sistem de încălzire 250Euro/mp / sistemul convențional  
 Costul energiei de funcționare 90 Euro/lună/ sistemul mixt  
 Costul energiei de funcționare 170 Euro/lună/ sistemul convențional

Date auxiliare de calcul:

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci data reper este momentul luării deciziei.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două sisteme se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

1. Perioada de analiză 20 ani

2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

$70.000 \text{ Euro} \times 1 = 70.000 \text{ Euro}$  și  $50.000 \text{ Euro} \times 1 = 50.000 \text{ Euro}$

3. Valoarea actualizată a valorii rămase:

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumei respective.

Deci, pentru sistemul convențional:

$4000 \text{ Euro} \times 0,149 = 596 \text{ Euro}$

Pentru sistemul mixt, se consideră că nu există valoare rămasă după 20 ani.

4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două sisteme. și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:

Factorul de actualizare corespunzător pentru  $a = 10\%$  și  $t = 15$  ani este  $F_2$  și se cere valoarea în prezent a costului de înlocuire.

Deci, pentru sistemul convențional:

$2000 \text{ Euro} \times 0,231 = 462 \text{ Euro}$

*6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:*

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

Deci, pentru sistemul mixt:  $1080 \text{ Euro} \times 32.95 = 35\,586 \text{ Euro}$

iar pentru sistemul convențional:  $2040 \text{ Euro} \times 32.95 = 67\,218 \text{ Euro}$

*Costul global al sistemului mixt în valori actualizate va fi:*

$CG1 = 70000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 35\,586 \text{ Euro} - 0 = 105\,586 \text{ Euro}$

*Costul global al sistemului convențional în valori actualizate va fi:*

$CG2 = 50.000 \text{ Euro} + 0 + 462 \text{ Euro} + 67\,218 - 596 \text{ Euro} = 117\,084 \text{ Euro}$

*Concluzia:*

**CG1 < CG2**

*Rezultă că sistemul mixt este mai avantajos decât cel convențional, deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.*

## 4.6. Life Cycle Assessment

### 4.6.1. Prezentare generală

*Life Cycle Assessment* este, potențial, metoda cea mai importantă pentru evaluarea impactului global asupra mediului de produse, procese sau servicii. De asemenea, mai este denumit în literatura internațională de specialitate ecobilanț sau analiza ciclului de viață, prescurtat: LCA.

*Life Cycle Assessment* (LCA) este un instrument care poate fi folosit pentru a evalua impactul unui produs, proces sau serviciu asupra mediului de la proiectare până la dispariție, respectiv pe tot ciclul de viață, și anume eliminarea eventualelor efecte negative din întreaga sa existență. Impactul asupra mediului poate fi benefic sau advers. Aceste efecte sunt denumite uneori „amprentă de mediu” a unui produs sau serviciu. LCA implică colectarea și evaluarea datelor cantitative cu privire la intrările și ieșirile de materiale, energie și a deșeurilor din fluxurile asociate unui produs de-a lungul întregului său ciclu de viață, astfel încât impactul asupra mediului poate fi determinat, cu eficiență, în orice moment. Prin prezenta lucrare autorii doresc să aducă în atenția specialiștilor români câteva dintre instrumentele LCA utilizate cu succes în ultimul deceniu în unele țări cu o industrie a construcțiilor dezvoltată, precum și avantajele pe care, utilizarea acestei metode, le aduce în alegerea soluției optime de proiectare și realizare a unor construcții sau elemente de construcție

#### **4.6.2. Aplicație de calcul: Reabilitare Ambulatoriu de specialitate al Spitalului de urgență Satu Mare, str. Ravensburg nr.2**

##### 4.6.2.1. Structura de rezistență a clădirii

- infrastructura : fundatii continue din beton armat de 30 cm
- suprastructura: din diafragme transversale si longitudinale  $g = 15$  cm, stâlpișori de  $30 \times 30$  cm din beton armat
- pereti interiori neportanti din BCA de 10 cm
- grinzi din beton armat pe fatadele deasupra ferestrelor de  $30 \times 60$  cm.

##### 4.6.2.2. Alcatuirea anvelopei clădirii

- pereti exteriori –zidarie BCA 30 cm
- tencuială exterioară de ciment de 2,5 cm grosime
- tencuială interioară de mortar ciment de 2 cm grosime
  - la etajul 2 al cladirii, pe fatadele nord si vest respectiv spre partial spre curtile interioare o parte din ferestre este inlocuita cu tamplarie PVC cu geam termopan (cca 18% din totalul tamplariei)
- planseul deasupra etajului 2 din beton armat de 15 cm izolat cu placi de BCA de 12 cm.
- planseu deasupra subsolului tehnic:din beton armat de 15 cm neizolat termic .

##### 4.6.2.3. Starea tehnica din punct de vedere al asigurarii cerintelor esentiale de calitate

Datorita modificarilor ,reamplasarii aparatelor medicale si instalarii noilor aparaturi cu consumuri marite de energie electrica ,circuitele electrice sunt supraincarcate si datorita vechimii lor nu mai prezinta siguranta in exploatare, siguranta la foc.Datorita lipsei de izolatie termica la anvelopa cladirii si a starii precare al tamplariei de lemn existente nu este respectata cerinta de calitate esentiala izolare termica si economia de energie.

Valoarea de inventar(2008):6.063.654,56 Lei ,respectiv 1 450 000 Euro.

##### 4.6.2.4. Concluziile analizei termice si energetice

Conform analizei comparative a rezultatelor obtinute, se desprinde cu claritate concluzia ca performanta energetica actuala a cladirii analizate este departe de a indeplini cerintele minime privind eficienta termica si energetica, prevazute pentru cladirea de referinta.

Consumul specific anual de energie este  $q_{inc}^{an}=765$  kWh/m<sup>2</sup>·an, ceea ce reprezinta de 2,01 ori mai mult decât consumul specific anual de caldura pentru incalzirea cladirii de referinta;

Analizand valorile obtinute pe baza calculelor efectuate pentru aprecierea performantelor termice si energetice ale cladirii, specialistii au ajuns la concluzia ca se impune obligatoriu reabilitarea termica a acesteia, fapt pentru care s-au propus trei variante constructive. Desi toate trei variantele constructive satisfac prevederile normativelor de reabilitare termica a cladirilor din tara noastra, analiza economica efectuata a condus la concluzia ca solutia recomandata pentru reabilitarea termica a cladirii este pachetul de masuri maximal(Varianta III). Aceasta varianta de reabilitare asigura si viitoarele exigente de performanta energetica a cladirilor care



se considera ca se vor impune cladirilor dupa anul 2010. Rezultatele prezentate justifica eficienta energetica si economica a actiunii de reabilitare termica a anvelopei cladirii cu influente benefice asupra confortului termic, reducerii consumului de energie in exploatare si a protectiei mediului inconjurator. Varianta a III-a cuprinde atat interventii asupra anvelopei cladirii, cat si asupra instalatiilor din cladire.

Interventiile asupra anvelopei cladirii vizeaza:

- placarea la exterior a peretilor cu polistiren de fatada cu grosimea de 15 cm avand  $\rho = 20...40 \text{ kg/m}^3$  si conductivitatea termica  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m.K)}$ ;
- placarea la exterior a peretilor in jurul golurilor, cu polistiren de fatada de 3 cm grosime, avand  $\rho = 20...40 \text{ kg/m}^3$  si conductivitatea termica  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m.K)}$  - varianta unica;
- inlocuirea tamplariei din lemn cu tamplarie PVC, cu geam dublu termoizolant 4-16-4 cu gaz inert Ar (prevazuta cu fante de circulatie naturala a aerului intre exterior si interior), cu  $R' = 0,55 \text{ m}^2\text{K/W}$  (varianta unica);
- izolarea planseului peste ultimul nivel (terasa) cu placi din polistiren extrudat de 20 cm grosime si conductivitatea termica  $\lambda = 0,042 \text{ W/(m.K)}$ ;
- izolarea termica a planseului peste subsol, cu placi din polistiren celular de 10 cm grosime montate la intradosul placii din beton armat existente, cu  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m.K)}$  (varianta unica);
- izolarea soclului cu placi de polistiren extrudat de 10 cm grosime, rezistent la umiditate (varianta unica). La partea inferioara, stratul termoizolant trebuie sa ajunga cel putin pina la CTS, dar se recomanda sa coboare sub aceasta cota. Pentru a obtine o buna rezistenta mecanica la actiuni statice si dinamice, stratul de protectie a termoizolatiei se va realiza dintr-un strat de mortar de ciment M 100 T de 4-5 cm grosime, armat cu plase sudate STNB  $\phi 4 - 5 / 100 \times 100$  si eventual, suplimentar, cu plase de rabit.

Interventiile asupra instalatiilor aferente cladirii vizeaza reducerea consumului de energie termica pentru incalzire, apa calda menajera si instalatii electrice. Interventiile vor fi nivelul distributiei si la nivelul utilizatorului. Avind in vedere vechimea instalatiei (37 ani) si starea degradata a instalatiilor interioare de incalzire se propune schimbarea completa a acestora.

Masurile la nivelul instalatiilor de distributie sunt:

- se vor inlocui toate conductele de distributie agent termic si apa rece si calda din subsol la nivelul pardoselii parterului. ;
- se vor prevedea robinete de inchidere pe ramurile principale
- se va dimensiona corespunzator grosimea termoizolatiei conductelor din subsol
- reechilibrarea circuitelor care alimenteaza corpurile de incalzire;
- inlocuirea tuturor robinetilor de golire de la baza coloanelor de incalzire;.

Masurile la nivelul instalatiei interioare de incalzire sunt:

- schimbarea tuturor corpurilor statice de incalzire si a coloanelor de distributie din interiorul cladirii;
- procurare si montare robineti cu termostat si detentoare- pentru corpurile statice.
- dotarea canalizării subsolului cu clapete contra refulării canalizării stradale;
- izolarea tuturor conductelor (de incalzire si de apa rece si calda) care traverseaza incaperi neincalzite astfel ca pierderile de caldura sa fie minime, grosimea termoizolatiei va fi min.  $0,75 \times d$ ,  $\lambda = \text{min } 0,05 \text{ W/mK}$ ;
- la limita de proprietate se va prevedea un contor de energie termica. ( comun pentru Spital si Ambulatoriu de Specialitate)

Masurile de reabilitare a instalației de încălzire conduc la creșterea eficienței instalației de încălzire prin asigurarea unei bune circulații a agentului termic și eliminarea pierderilor de agent termic din instalația interioară.

Principalele soluții tehnice de creștere a eficienței energetice specifice clădirilor spitalicești sunt:

- reconsiderarea, în limita posibilităților, a distribuției energiei termice prin separarea circuitelor pe zone care beneficiază de același regim termic și program de funcționare;
- sporirea gradului de automatizare al instalațiilor, corelat cu aplicarea unor regimuri de exploatare rațională, în funcție de categoria clădirii spitalicești, felul ocupării, programul de lucru și condițiile climatice;
- asigurarea reglajului sarcinii termice de încălzire pe tipuri de încăperi;
- reducerea alimentării cu căldură pe perioadele de neocupare a clădirii (la Ambulatoriu de Specialitate parter și Etajul 1);
- reducerea infiltrațiilor de aer rece, prin etanșarea rosturilor elementelor mobile (uși, ferestre), simultan cu asigurarea ventilației naturale organizate a spațiilor ocupate;
- dotarea canalizării subsolului cu clapete contra refulării canalizării stradale;
- izolarea tuturor conductelor din încăperile neîncălzite, astfel ca pierderile de căldură să fie minime, grosimea termoizolației va fi  $\min. 0,75 \times d, \lambda = \min 0,05 \text{ W/mK}$ ;
- la reglajul calitativ pot fi asociate sisteme de programare (optimizare), în general limitate la simple "ceasuri" programatoare, care permit o reducere a temperaturii pe timp de noapte;
- înlocuirea radiatoarelor de fontă cu radiatoare moderne din oțel, cu puteri specifice mari pe mp radiator;
- înlocuirea robinetelor de dublu reglaj cu robinete cu termostat;
- înlocuirea coloanelor de încălzire cu coloane din cupru sau oțel;
- reechilibrarea circuitelor care alimentează corpurile de încălzire funcționând cu apă caldă (din punct de vedere termic - prin ameliorarea locală a izolației, iar din punct de vedere hidraulic - prin ameliorarea distribuției debitelor);
- înlocuirea legăturilor la corpuri de încălzire cu tevi de cupru sau oțel
- montarea vaselor de aerisire la partea superioară a coloanelor, pe conductele de tur și pe retur;
- montarea robinetilor de golire la partea cea mai joasă a instalației la parter, într-un loc accesibil;
- montarea unui strat de termoizolație eficientă în spatele radiatoarelor, și un strat de protecție. Grosimea termoizolației se determină din condiția  $R' > 1,2 \text{ R}$ ;
- rezistența termică a împănării din zona elementelor de radiator va fi de cel puțin  $0,6 \text{ mpK/W}$ ;
- se vor înlocui corpurile de iluminat, prizele, tablourile, conductorii electrici și tuburile de protecție cu echipamente noi, performante;
- sistemul de iluminat va fi semi-direct (SIL-SD). Deoarece cantitatea de flux luminos emisă către plafon este mai mare, luminanța acestuia crește, ceea ce asigură o diferență mai mică între luminanța plafonului și cea a corpului de iluminat precum și a altor suprafețe ale încăperii, conducând la creșterea confortului luminos.
- din punct de vedere al performanței energetice, sistemul de iluminat trebuie dimensionat astfel încât consumul de energie electrică să fie minim, în condițiile realizării unui mediu luminos adecvat activității umane desfășurate.

Comparativ cu performanțele clădirii analizate, în urma intervențiilor propuse, performanțele termo-energetice ale clădirii reabilitate ar atinge valori mult îmbunătățite. Astfel consumul de căldură specific anual se reduce la  $q_{inc}^{an}=478[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})]$ .

În aceste condiții rămâne de demonstrat doar dacă intervențiile recomandate sunt justificate și din punct de vedere al eficienței investiției. Pentru aceasta se utilizează ca metodă de analiză *Metoda costului global* uzând valorile de investiție din devizul general.

Costurile estimative ale investiției pentru varianta de modernizare recomandată, conform structurii devizului general ( în preturi – luna 07 anul 2009, 1 euro = 4,2390 lei , cursul European Central Bank la data de 20.07.2009) sunt: Total cu TVA : 22.496.737 lei( 5.307.086 EURO)

Rezolvarea aplicațiilor se va face conform *ÎNDRUMĂTORULUI PRIVIND APLICAREA COSTULUI GLOBAL ÎN DOMENIUL CONSTRUCȚIILOR*, Direcția generală de cercetare științifică și economia construcțiilor, Institutul pentru Cercetări în Construcții-INCERC, Autori Jana Șuler, C.P.A. Factorii de actualizare sunt, deja, calculați pentru o perioadă de 40 ani în Anexa 1 și Anexa 3.

4.6.2.5. Analiza comparativă a costurilor globale pentru Spitalul de urgență Satu - Mare compus din Subsol tehnic+ P+2E, ACD=5787mp

Obiectul analizei:

Două variante:

-V<sub>1</sub>: spital P+2E, ACD=5786,91mp, nereabilitat

-V<sub>2</sub>: spital P+2E, ACD=5786,91mp, reabilitat (structura + reabilitare termică și energetică la anvelopă și instalații).

Nr. crt.	Date inițiale Variante	V <sub>1</sub> : spital P+2E, S=5786,91mp, nereabilitat	V <sub>2</sub> : spital P+2E, S=5786,91mp, reabilitat
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	1.450.000 Euro	5.307.086 +1.450.000 Euro= 6.757.086 Euro
3	Valoare rămasă	725.000 Euro	3.378.543 Euro
4	Costuri de întreținere și reparații	2.653.500 Euro	200.000 Euro
5	Costuri de înlocuire	0	0
6	Costul energiei de funcționare	527.030 Euro/an	329.308 Euro/an

Tab.4.8. Costul energiei de funcționare

*Date auxiliare de calcul:*

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de  $a=10\%$ , iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de  $e=5\%$ . Costurile se exprimă în valori prezente, deci data reper este momentul luării deciziei.

*Rezolvarea problemei:*

Costurile globale ale celor două sisteme se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

*1. Perioada de analiză 20 ani**2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:*

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:  $1.450.000 \text{ Euro} \times 1 = 1.450.000 \text{ Euro}$  și  $6.757.086 \text{ Euro} \times 1 = 6.757.086 \text{ Euro}$

*3. Valoarea actualizată a valorii rămase:*

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumei respective.

Deci, pentru  $V_1$ :

$$725.000 \text{ Euro} \times 0,149 = 108.025 \text{ Euro, respectiv } V_2:$$

$$3.378.543 \text{ Euro} \times 0,149 = 503.402 \text{ Euro}$$

*4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:*

Pentru a calcula plățile uniforme necesare pentru a stabili un fond viitor, se aplica factorii  $F_5$ . Deci, pentru a acumula după 20 ani o anumită sumă pentru reparații, factorul de actualizare corespunzător pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani este  $F_5 = 0,01746$ .

$$2.653.500 \text{ Euro} \times 0,01746 = 46.330 \text{ Euro.}$$

$$200.000 \text{ Euro} \times 0,01746 = 3500 \text{ Euro}$$

*5. Valoarea actualizată a costului combustibilului:*

Factorul de actualizare este  $F_7 = 32,95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

$$\text{Deci, pentru } V_1: \quad 527.030 \text{ Euro} \times 32,95 = 17.365.638 \text{ Euro}$$

$$\text{iar pentru } V_2: \quad 329.308 \text{ Euro} \times 32,95 = 10.850.698 \text{ Euro}$$

Costul global al  $V_1$  în valori actualizate va fi:

$$CG_1 = 1.450.000 \text{ Euro} + 46.330 \text{ Euro} + 0 + 17.365.638 \text{ Euro} - 108.025 \text{ Euro} = 18.753.943 \text{ Euro}$$

Costul global al  $V_2$  în valori actualizate va fi:

$$CG_2 = 6.757.086 \text{ Euro} + 3500 \text{ Euro} + 0 + 10.850.698 - 503.402 \text{ Euro} = 17.108.000 \text{ Euro}$$

Concluzia:

$$CG_2 < CG_1$$

Rezultă că  $V_2$  este mai avantajoasă decât  $V_1$ , deși costă mai mult inițial. După cum se poate observa cu toate că, în momentul luării deciziei,  $V_1$  este mai ieftină cu 5.307.086 Euro decât  $V_2$ , conform Costului global, după 20 ani proprietarul va avea un avantaj de aproximativ 1.647.000 Euro, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.

### 4.6.3. Concluzii

Costul global este aplicabil în orice stadiu de existență a obiectelor de construcții, sau cu alte cuvinte, indiferent de categoria lucrărilor de investiții: investiții noi, reparații capitale, modernizări, extinderi, reabilitări etc. Pentru reparații capitale, modernizări, extinderi, în general se urmărește tot alegerea unei soluții dintre mai multe soluții posibile, dar pot fi cazuri în care se pune în discuție efectuarea lucrării acum sau amânarea acesteia. Pentru reabilitări decizia cea mai importantă, care necesită analize responsabile, este aceea de a reabilita sau de a demola și a construi din nou. La fel ca și alte categorii de lucrări de construcții, abordarea lucrărilor de reabilitare se bazează pe principiul costului global (intervenție și întreținere pe o perioadă contractuală de mai mulți ani).

Principiul costului global este simplu și funcționează astfel: în momentul în care proiectul este definit, se estimează costul acestuia și se definește un caiet de sarcini precis pentru apelul de ofertă. Când antrepriza de construcții răspunde acestui apel, trebuie să comunice nu numai prețurile diferitelor tipuri de prestări pe categorii de lucrări și posturi, ci în egală măsură și prețurile de întreținere bazate pe evaluări privind durata de viață a lucrărilor efectuate și a materialelor folosite.

Alegerea finală nu se face numai pe criteriul costului minim, ci și pe criteriul celei mai bune balanțe între lucrări și întreținere. După cum rezulta din prezentul studiu de caz, și în cazul Spitalului de urgență din Satu-Mare, prin calcularea costului global al investiției s-a putut opta pentru varianta cea mai eficientă pe termen lung. Cu toate că, în momentul luării deciziei, reabilitarea clădirii a necesitat o investiție suplimentară de 5.307.086 Euro, conform costului global, după 20 ani proprietarul va avea un avantaj de aproximativ 1.647.000 Euro, datorită, în principal, consumului redus de combustibil. Avantaje la care se adaugă și plusul de confort în care se va desfășura activitatea în toată această perioadă.



## **5. STUDII DE EFICIENȚĂ ENERGETICĂ A UNOR SOLUȚII DE REABILITARE HIGROTHERMICĂ A CLĂDIRILOR, BAZATE PE MODELE MATEMATICE**

### **5.1. Noțiuni generale**

În ultimele decenii s-au făcut eforturi considerabile în vederea reducerii consumului de energie în clădiri, de exemplu prin izolarea termică a clădirilor, prin îmbunătățirea calității sticlei pentru ferestre și prin folosirea energiei termice înmagazinate a construcției. În vederea creșterii eficienței energiei în clădiri, sunt necesare noi sisteme de creștere și/sau scădere a temperaturilor. De asemenea, în algebră și geometrie, ca și în alte ramuri ale matematicii, se poate observa un interes sporit față de metodele algoritmice de rezolvare a unor probleme concrete. Acesta este justificat de faptul că progresele spectaculoase în tehnica de calcul permit efectuarea de calcule complet netriviiale cu ajutorul computerului, care nu erau posibile înainte. Un alt motiv este faptul că algoritmi contribuie la o mai bună înțelegere a unei probleme. Tot în ultimii ani s-au dezvoltat noi metode de cercetare în algebră. Acestea au la bază idei din diverse domenii: geometrie poliedrală, teoria grafurilor, programare întreagă, calcul simbolic etc. Legătura cu probleme ale matematicii discrete și ale metodelor numerice sau ale cercetărilor operaționale a devenit din ce în ce mai strânsă. Astfel de metode și probleme cer, pur și simplu, abordarea cu ajutorul calculatorului.

Algoritmii de natură geometrică s-au format ca o știință de sine stătătoare (geometria computațională), oferind soluții pentru multe dintre problemele practice de natură geometrică din diverse domenii — design arhitectural, inginerie civilă și militară, transporturi, ecografie, ecologie, etc. Geometria computațională este, de asemenea, activitatea de a demonstra teoreme de geometrie folosind calculatorul, rezultatele în acest domeniu fiind însă doar ale geometriei. Studiul sistematic al algoritmilor și a structurilor de date pentru obiectele geometrice poate fi făcut dacă obiectelor geometrice li s-au identificat proprietățile (de obicei altele decât cele caracterizările geometrice clasice). Astfel de proprietăți vom încerca să găsim în lucrarea de față.

Prin această lucrare ne-am propus să aducem în atenția specialiștilor în domeniu câteva studii de eficiență energetică a diferitelor soluții de reabilitare higrotermică a clădirilor de locuit, bazate pe metode matematice.

Astfel, acest capitol este structurat în patru subcapitole, fiecare dintre acestea realizând un studiu asupra câte unui aspect energetic de importanță majoră în clădirile de locuit.

*Subcapitolul 5.2.* tratează rezolvarea problemelor de fizica construcțiilor bazate pe PDE cu FemLab. FemLab este evaluat ca elementul de rezolvare pentru problemele de fizica clădirilor pe baza ecuațiilor parțiale diferențiale (PDE). Problemele fizice tipice ale clădirilor așa cum ar fi transportul umidității într-un material poros, curentul de aer dinamic și căldura combinată și transportul umezelii sunt relativ ușor de modelat. Rezultatele simulării modelelor folosite incluzând geometriile 1D, 2D și 3D au arătat o bună corespondență cu măsurătorile.

În *subcapitolul 5.3.* s-a prezentat o metodă de analiză, bazată pe folosirea rețelelor cu dinamică termică, care facilitează înțelegerea efectului termic al peretilor expuși la diferite temperaturi exterioare, mai ales pierderea căldurii prin acești pereți. Printr-un studiu matematic asupra a trei soluții de pereți, respectiv din gips-carton, cărămidă și beton, s-a demonstrat că dinamica pierderii de căldură a unui perete este determinată în totalitate de funcția de greutate și de rezistența termică totală a peretelui. Efectul ordinii între straturile peretilor este discutabil, ca și problema obținerii formei dorite a unei funcții de greutate prin schimbarea componentelor peretilor.

*Subcapitolul 5.4.* face o comparație între diferitele tehnici pentru determinarea extinderii umidității la profilele de umiditate, respectiv metoda Matano, metoda Gradientului, metoda Dublei integrări și metoda Diferenței. Rezultatele menționate în această lucrare arată că toate metodele analizate, dau extindere similară a umidității față de curbele umidității calculate la profilele de umiditate. De aceea, se poate concluziona că toate sunt potrivite pentru aplicații practice și, oricum, toate au anumite limite, care ar trebui respectate.

*Subcapitolul 5.5.* realizează un studiu de caz asupra sistemelor hibride utilizate în construcții, folosind metoda modelării macro elementelor (MEM), metodă de modelare matematică dezvoltată pentru analizarea condițiilor termice a unei componente a clădirii și pentru descrierea transportului de căldură multidimensional. Nucleul metodei MEM îl constituie transformarea proprietăților construcției într-o rețea de rezistențe și capacități. O rețea RC este optimizată astfel încât, pentru o configurație nodică dată, răspunsurile sistemului de la rețeaua RC sunt, pentru o anumită bandă de frecvență, cât mai apropiate posibil de calculațiile anterioare ale construcției clădirii. Acesta oferă o metodă de examinare a sistemelor hibride și interacțiunea lor cu restul clădirii.

Rezultatele acestor studii au demonstrat gradul foarte redus al erorilor comparativ cu al celor obținute prin metode analitice sau alte metode matematice validate, fapt ce recomandă utilizarea modelelor rezultate, sub această formă, de cercetători și proiectanți.

## **5.2. Rezolvarea problemelor de fizica construcțiilor bazate pe PDE cu FemLab**

### **5.2.1. Introducere**

Numeroase probleme științifice în fizica clădirii pot fi descrise de PDE (ecuații parțial diferențiale). Există numeroase soft-uri disponibile în care este rezolvat un anumit PDE. Se dezvoltă pentru a obține rezultate de simulare în scurt timp și sunt foarte des evidențiate prin simplitatea datelor introduse, ex. datele geometrice. Un dezavantaj ar fi că, de cele mai multe ori, nu sunt foarte flexibile, când utilizatorul vrea să schimbe sau să inverseze modelele. De asemenea, de obicei, acționează ca și cutii negre.

Pachetul de soft disponibil în comert FemLab este evaluat ca și element de rezolvare pentru problemele fizice ale construcției bazate pe ecuațiile parțial diferențiale (PDE). Soft-ul este prevăzut să simuleze sisteme ale PDE cuplate, 1D, 2D, sau 3D non-liniare și dependente de timp. Un aspect important al FemLab este



acela ca utilizatorul se poate concentra asupra modelului (coeficientii PDE din domeniu și cei limita) și nu necesită foarte mult timp pentru rezolvare și vizualizare. În această lucrare se iau în considerare 4 cazuri. Primul, pentru a prezenta modul de funcționare al FemLab, un exemplu incluzând codul complet pentru rezolvare cât și rezultatele sunt date pentru o problema de transfer static de căldură. În următoarele două cazuri, coeficientul este testat pentru două probleme diferite privind fizica clădirilor: problema curenților de aer dinamici 2D, model folosind Navier Stokes și flotabilitate (Sinha, 2000), și transport dinamic 1D non-liniar al umezelii într-un material poros (Brocken 1998). Aceste rezultate de simulare sunt validate și arată o legătură bună cu măsurătorile. În ultimul caz, capacitatea de a simula problemele 3D a FemLab este arată de o încălzire dinamică combinată și de problema transportului umezelii. Acest exemplu este o extindere 3D a unei probleme date 2D de la Anexa 24 IEA (Kunzel, 1996). Pentru toate modelele sunt date părțile esențiale ale codurilor (specificatiile geometrie, PDE și limita).

### 5.2.2. Utilizarea FEMLAB

FemLab (Comsol 2000) este un set de unelte scris în MatLab (Lucrări matematice 1998). Rezolvă sisteme ale PDE cuplat (până la 32 variabile independente). PDE specificat poate fi non-liniar și dependent de timp și acționează într-un spațiu geometric 1D, 2D, sau 3D. Condițiile geometrice, PDE și limita sunt definite de un set de câmpuri asemănătoare structurii în limbajul C. PDE și valorile limita pot fi reprezentate de o formulă a coeficientului:

$$d_a \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot (c \otimes \nabla u + \alpha \otimes u - \gamma) + \beta \otimes \nabla u + au = f \quad \text{in } \Omega \quad (5.1)$$

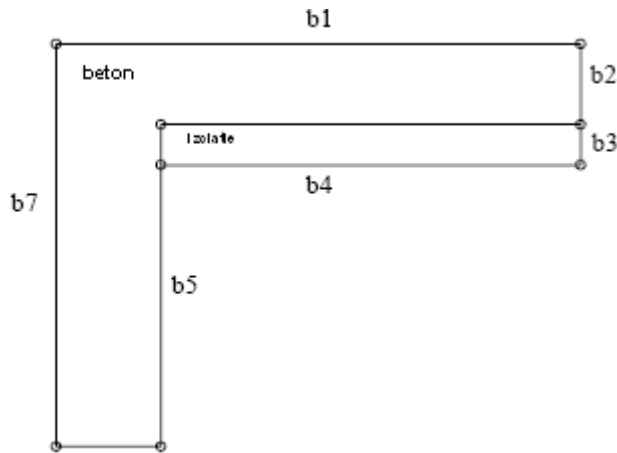
$$\underline{n} \cdot (c \otimes \nabla u + \alpha \otimes u - \gamma) + qu = g - h^T \lambda, \quad hu = r \quad \text{pe } \partial\Omega$$

Sau de o formulă generală:

$$d_a \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma = F \quad \text{in } \Omega \quad (5.2)$$

$$\underline{n} \cdot \Gamma = G + \left( \frac{\partial R}{\partial u} \right)^T \lambda, \quad 0 = R \quad \text{pe } \partial\Omega$$

unde  $\mathbf{u}$  este soluția necunoscută,  $\Omega$  este domeniul de legătură,  $\partial\Omega$  este limita domeniului,  $\underline{n}$  este o unitate normală exterioară și toate celelalte sunt coeficienți. Rezolvând a doua problemă 2D de legătură termică statică demonstrează folosirea FemLab:



$$\nabla \cdot (K \nabla T) = 0 \quad (5.3)$$

Fig.5. 1. Geometria și modelul legăturii termice 2D

Valori limita, lungime

- b1: flux de caldura= $h_e^*(T_e - T_i)$ , 1m
  - b2: flux de caldura=0, 0.2m
  - b3: flux de caldura=0, 0.1m
  - b4: flux de caldura= $h_i^*(T_i - T)$ , 0.8m
  - b5: flux de caldura= $h_i^*(T_i - T)$ , 0.7m
  - b6: flux de caldura=0, 0.2m
  - b7: flux de caldura=0, 0.8m
- h: coeficienti transfer caldura  
 T: temperatura  
 i: interioara  
 e: exterioara  
 K: coeficient de conductie a caldurii

Folosind formula coeficientului (5.1) și modelul (5.3), aceasta înseamnă că toți coeficienții sunt zero, exceptând:  $c = \{K_{beton}, K_{izolatie}\}$ ;  $q = \{h_i, h_e\}$  și  $g = \{h_i^*T_i, h_e^*T_e\}$ . Aceasta prezintă codul complet și rezultatele PDE (valorile lipsa ale tuturor coeficienților PDE/ coeficienții limita sunt zero):

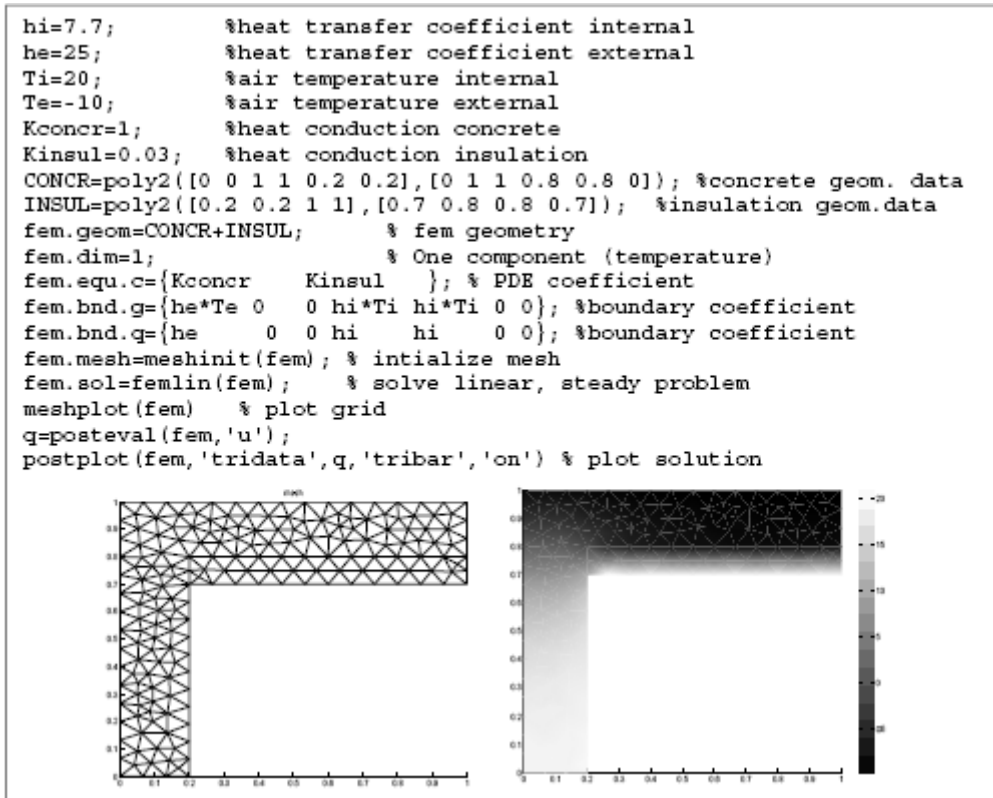


Fig.5. 2. Codul complet (sus), rețeaua (stanga jos) și soluția (dreapta jos) pentru problema de legătură termică 2D

### 5.2.3. Comparare simulare FEMLAB cu măsurători

#### 5.2.3.1. Transport umezeala 1D în material poros

Transportul umezelii în materialul poros al clădirii analizat de (Brocken 1998) poate fi modelat de:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \theta}{\partial T} &= \nabla \cdot (D(\theta) \cdot \nabla \theta) \text{ pe } 0 < x < 0.024, \\
 \theta &= 0.027 \text{ pe } x=0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \text{ pe } x=0.024
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

unde  $\theta$  este conținutul de umezeala ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) și  $D$  este răspândirea umezelii ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Codul și rezultatele absorbției de apă a cărămizii sunt prezentate (Brocken 1998).

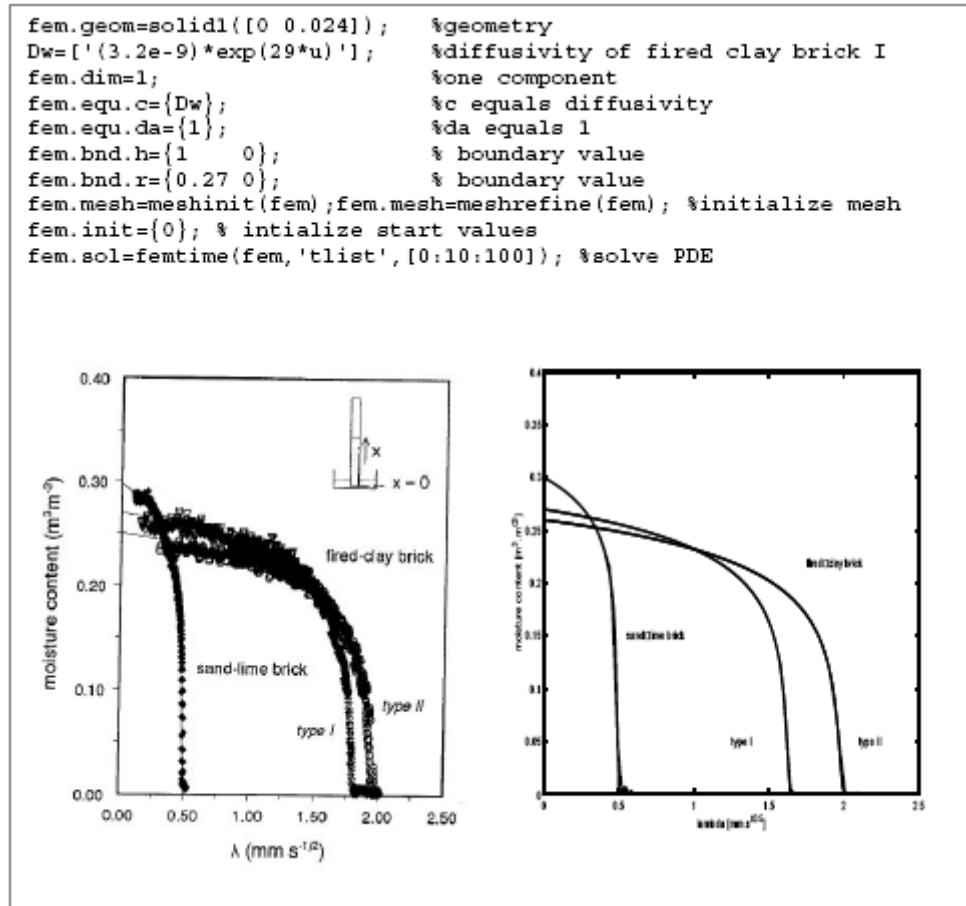


Fig.5.3. Finalizarea codului pentru rezolvarea transportului de umezeala 1D intr-un material poros (sus), continutul calculat de umezeala (stanga jos) si continutul de umezeala simulat (dreapta jos) fata de  $\lambda$  ( $=x.t^{-1/2}$ )

### 5.2.3.2. Curentul de aer 2D intr-o incapere

Acest exemplu de la (Sinha, 2000) se refera la viteza aerului si distribuirea temperaturii intr-o incapere incalzita de curenti de aer cald. Aceasta problema este modelata de 2D, curent laminar rezistent la compresie respectand aproximarea Boussinesq cu proprietatile fizice constante. In fig.4.4, sunt prezentate modelul, geometria, conditiile limita si mare parte a codului scris in formula generala (5.2). Rezultatele de la (Sinha, 2000) si elementul de rezolvare PDE sunt comparate in fig. 5.5.

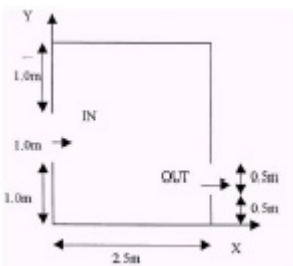
<p>Ecuatie de continuitate (* toate sunt omise)</p> $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$ <p>Ecuatie in momentul U</p> $\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \nabla^2 u$ <p>Ecuatie in momentul V</p> $\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \nabla^2 v + \frac{Gr}{Re^2} T$ <p>Ecuatie a energiei</p> $\frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} = \frac{1}{Re Pr} \nabla^2 T$	$u^* = \frac{u}{U_0}, v^* = \frac{v}{U_0}, x^* = \frac{x}{W_1}, y^* = \frac{y}{W_1}$ $L^* = \frac{L}{W_1}, p^* = \frac{p}{\rho U_0^2}, T^* = \frac{T - T_w}{T_0 - T_w}$ $Gr_r = \frac{g \beta \Delta T W_1^3}{\nu^2}, Re_e = \frac{U_0 W_1}{\nu}$ $Pr_r = \frac{C_p \mu}{k}$
--	--

Tab.5.1 Conducerea calculor (geometria)

```

eta=1/Re;beta=Gr/(Re*Re);alpha=1/(Re*Pr);
fem.equ.da={{1; 1; 0; 1}};
fem.equ.f={{'-(u1.*u1x+u2.*u1y+u3x)';...
            '-(u1.*u2x+u2.*u2y+u3y)+beta*u4';...
            '-(u1x+u2y)';...
            '-(u1.*u4x+u2.*u4y)'};};
fem.equ.ga={{{'-eta*u1x'; '-eta*u1y'};...
             {'-eta*u2x'; '-eta*u2y'};...
             0;...
             {'-alpha*u4x'; '-alpha*u4y'}};};
fem=femdiff(fem);
    
```

Tab.5.2 Codul FemLab aferent



Condițiile limita sunt:

La peretii din partea stanga, din partea dreapta ,superiori si inferiori:  $u=0, v=0, T=1$ .

La intrare  $u=1, v=0, T=1$ .

La iesire, condițiile Neuman pentru  $u,v$  si  $T$

Fig. 5.4. Model, geometrie, valori limita si cod FemLab( $u_1=u, u_2=v, u_3=p, u_4=T$ )

Cazurile testului de validare in aceasta sectiune arata ca FemLab este foarte sigur chiar si pentru o problema importanta non-liniara, asa cum ar fi curentul de aer convectiv. Mai mult, pentru toate rezultatele de simulare prezentate in aceasta sectiune, generarea rețelei lipse si elementul de rezolvare se folosesc. Se pot obtine rezultate foarte bune fara cunoștinte aprofundate referitoare la tehnicile rețelei de curbe si cele de rezolvare. Perioadele de simulare (bazate pe procesor pentium 3, 500MHz) variaza de la rapid (comanda ~ secunde) pentru probleme liniare asa cum ar fi exemplul legaturii termice 2D, mediu (comanda ~ secunde) pentru probleme non-liniare in forma coeficientului asa cum este exemplul 1D al transportului umezelii si ridicat ( comanda ~ ore) pentru problemele importante non-liniare in formula generala asa cum ar fi problema curentului de aer.

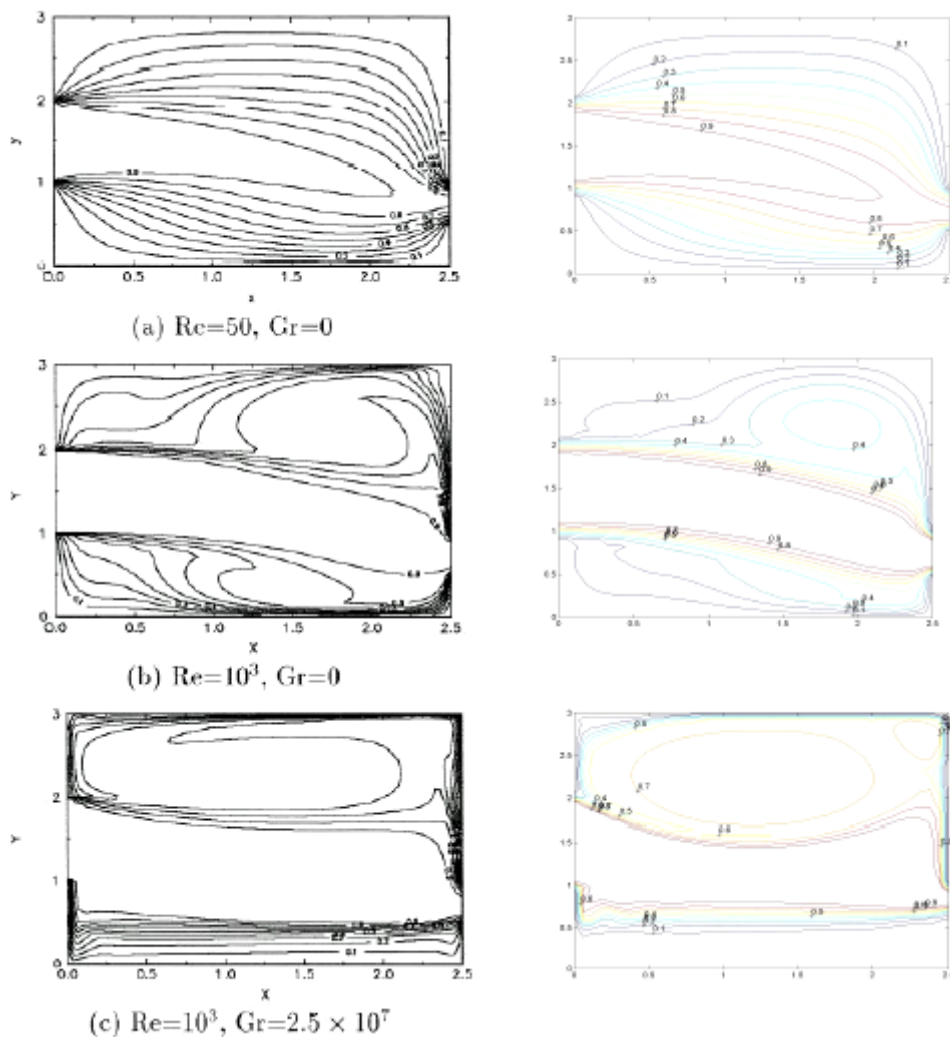


Fig. 5.5. Compararea rezultatelor simulative validate ale (Sinha, 2000) (partea stanga) cu FemLab (partea dreapta)

### 5.2.4. Transport combinat de căldură și umezeală

În această secțiune este prezentată o problemă interesantă a simulării transportului de căldură combinată și de umezeală pentru o geometrie 3D. Problema se bazează pe o problemă 2D (Kunzel, 1996) dar este extinsă în prezent la o problemă 3D. Un tip de cărămidă, inițial uscată și două dintre fețele etanșate, este pusă cu partea inferioară la 1 cm sub apă. În fig.5.6, este prezentată geometria. Condițiile modelului PDE și condițiile limită și partea corespunzătoare a codului scris în formula coeficientului (1), sunt de asemenea prezentate în fig. 5.6. În modelul 3 PDE funcțiile proprietății materialului sunt prezentate:  $Dw(w)$ ,  $DF(T,w)$  și  $DT(w)$ . Aceste funcții sunt calculate folosind proprietățile materialului prezentate în (Kunzel, 1996) și sunt prezentate în fig. 5.7. Rezultatele răspândirii umidității simulate inițial și după 5 și 70 zile sunt vizualizate pe bucăți și planuri cu conținut echivalent de umezeală, în fig.5.8.

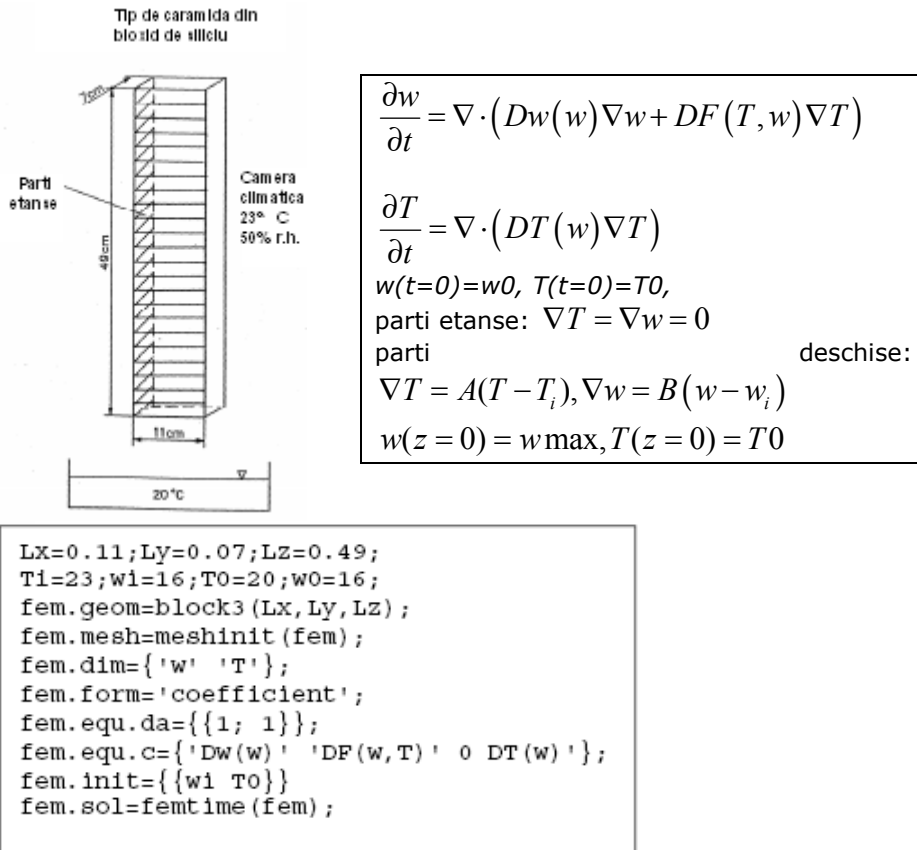
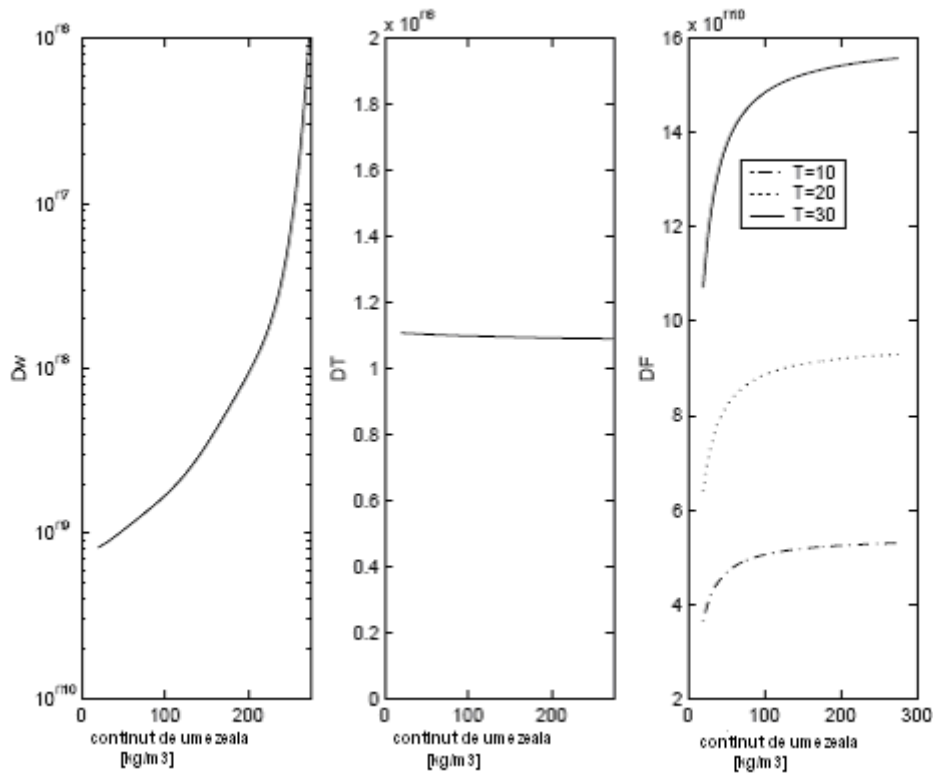


Fig. 5.6. Model, geometrie, valori limită și cod FemLab

Fig.5.7. Proprietatile materialului pentru coeficientii PDE :  $D_w$ ,  $D_T$  si  $D_F$ 

Pentru a verifica exactitatea modelului 3D, se vor respecta urmatoarele faze: 1) Se foloseste modelul din figura 6, 2) o conditie limita este modificata (reprezentand o etansare suplimentara a unei parti), astfel incat acest model 3D devine simetric, ex. modelul 2D; 3) Rezultatele acestui model sunt validate cu masuratori ale (Kunzel, 1996). Aceasta metoda de comparatie arata un acord benefic. Extinderea modelarii 3D cu diferite materiale este lasata pentru viitoarele cercetari.



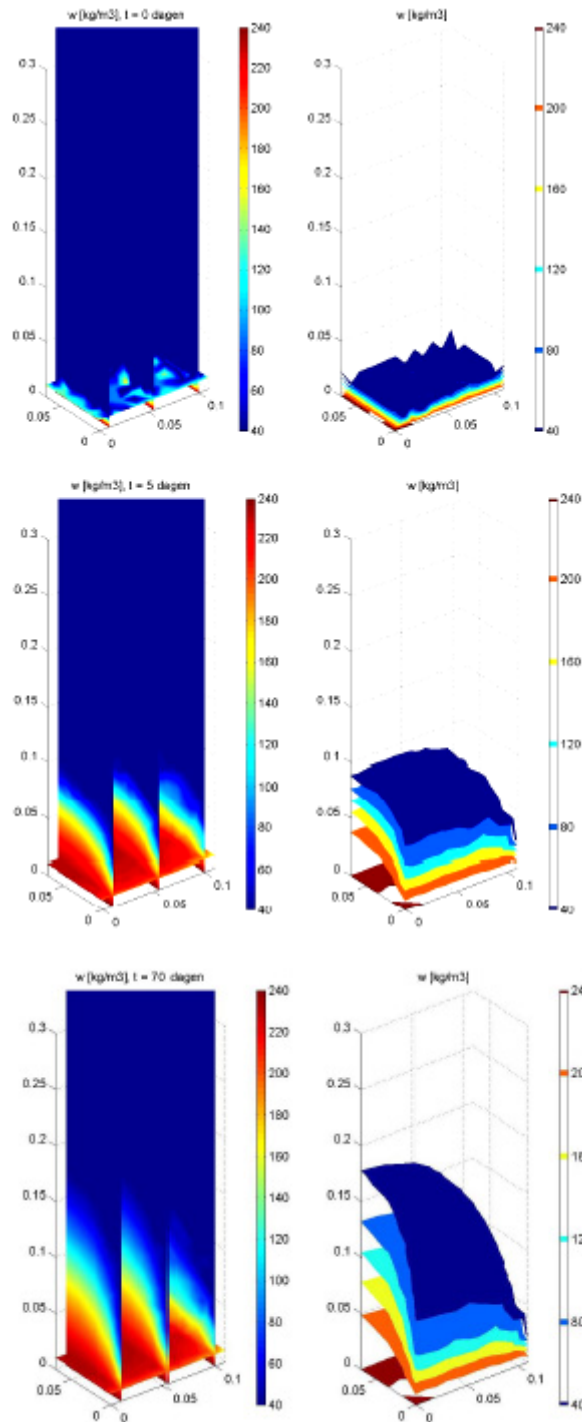


Fig.5.8. Vizualizarea profilurilor de umiditate în 3D: Condițiile inițiale (sus), la 5 zile (mijloc) și 70 zile (jos)

### 5.2.5 Exportarea modelului FEMLAB către legătura de simulare

Obiectivul acestui proiect a fost de a verifica modul de conexiune a unui model FemLab (un model de legătura termică) cu un model în Legătura de Simulare (modelul încăperii). În fig. 5.9, modelul din figura 2 a fost exportat folosind facilitățile standard de transport ale FemLab și amplasat într-un model camera:

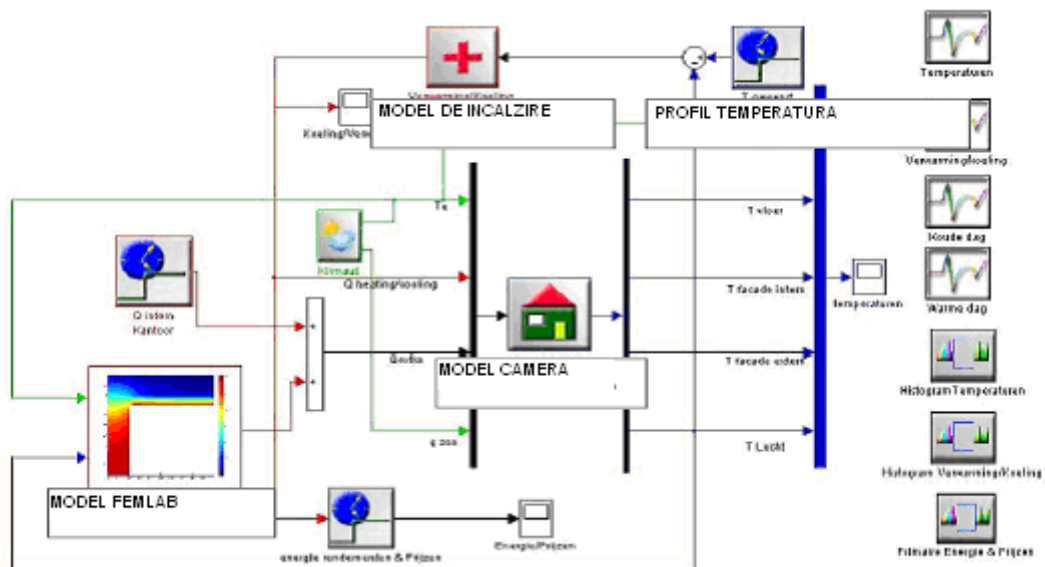


Fig.5.9. Modelul de simulare a legăturii, cu o legătură termică a modelului FemLab și un model camera

Modelul prezentat mai sus a fost folosit cu succes pentru a studia efectul scaderii temperaturii aerului pe timpul nopții pe baza :

- umidității relative în apropierea legăturii termice,
- temperaturile detaliate ale legăturii termice
- pierderea caldurii suplimentare.

### 5.2.6. Concluzii

FemLab este evaluat ca element de rezolvare pentru problemele de fizică a clădirilor pe baza ecuațiilor parțiale diferențiale (PDE). Problemele fizice tipice ale clădirilor așa cum ar fi transportul umidității într-un material poros, curentul de aer dinamic și căldura combinată și transportul umezelii sunt relativ ușor de modelat. Rezultatele simulării modelelor folosite incluzând geometriile 1D, 2D și 3D arată o bună corespondență cu măsurătorile.

Soft-ul FemLab este scos din mediul MatLab și de aceea este posibilă folosirea uneltelor de vizualizare, cutiilor și a tuturor celorlalte programe scrise în MatLab.

### 5.3. Pierderea căldurii prin pereți. Analiza bazată pe teoria rețelelor cu dinamică termică

#### 5.3.1. Introducere

Pierderea căldurii în timp, prin pereții expuși unei temperaturi exterioare variabile depinde de proprietățile peretelui și de straturile de la suprafață. Efectul termic al peretilor subțiri și groși, efectele variațiilor exterioare în diferite perioade de timp, ordinea straturilor, etc., reprezintă o problemă de bază în fizica clădirii. Dinamica pierderii de căldură a unui perete din material compozit este analizată folosindu-se teoria rețelelor cu dinamică termică menționată într-o lucrare de referință (Claesson 2002a). O altă analiză pentru pierderea tridimensională a căldurii dintr-o încăpere este prezentată într-o altă lucrare de referință (Wentzel 2002). Scopul lucrării este acela de a prezenta o nouă metodă de analiză, care facilitează înțelegerea efectului termic al peretilor expuși la diferite temperaturi exterioare.

#### 5.3.2. Analize folosindu-se rețele cu dinamică termică

În cadrul acestei lucrări s-a studiat o aplicație simplă a teoriei rețelelor cu dinamică termică. Temperatura interioară  $T_1$  este constantă (de exemplu  $20^\circ\text{C}$ ), în timp ce temperatura exterioară  $T_2(t)$  variază în timp în funcție de climă.

##### 5.3.2.1. Ziduri cu o temperatură constantă la interior

Se ia în considerare pierderea căldurii prin zid din material compozit. Suntem interesați de fluxul de căldură  $Q_1(t)$  la partea interioară. Aceasta pierdere de căldură va depinde de o temperatură interioară constantă, de temperatura exterioară existentă  $T_2(t)$ , și valorile anterioare  $T_2(t-\tau)$ . Aici  $\tau$  reprezintă valori de la zero la infinit sau suficiente pentru perioada din urmă.

Figura 5.10 reprezintă o rețea termică dinamică pentru o problemă a suprafeței duble, Claesson 2002a. Există un flux de căldură transmisivă între suprafața cu conductibilitate termică,  $K_{12}$ . Se va adăuga un flux de căldură admitivă fiecărei suprafețe.

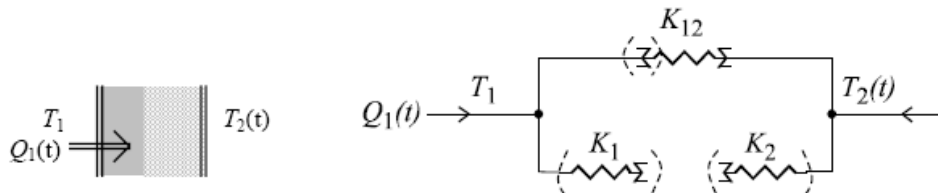


Fig. 5.10. Rețeaua termică dinamică pentru un zid cu o temperatură interioară constantă

Fluxul de caldura si in special fluxul de caldura admitiva (prin  $K_2$ ), la exterior, nu prezinta interes in cadrul acestei lucrari. Temperatura interioara este constanta. Atunci fluxul de caldura admitiva prin conductibilitatea suprafetei  $K_1$  la interior este 0, din moment dce presupune diferenta dintre temperatura existenta si o medie a valorilor anterioare. Putem renunta la cele doua parti admitive in Figura 1. Partea transmitiva implica media anterioara a temperaturilor intr-un anumit punct  $T_1$  si  $T_2(t)$ , care este indicat de simbolul  $\Sigma$ . Temperatura interioara este constanta si media devine  $T_1$ . Putem sa nu tinem cont de semnul  $\Sigma$  din partea stanga. Graficul fig.5.10 este redus la unul mai simplu prezentat în fig. 5.11.

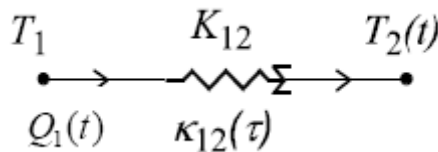


Fig. 5.11. Reteaua termica dinamica pentru un zid cu o temperatura interioara constanta. Avem urmatoarea formula ce prezinta fluxul de caldura  $Q_1(t)$  la o temperatura exterioara  $T_2(t)$ :

$$Q_1(t) = K_{12} \cdot (T_1 - T_{2,1}(t))$$

$$T_{2,1}(t) = T_{2,eff}(t) = \int_0^{\infty} k_{12}(\tau) \cdot T_2(t - \tau) d\tau \quad (5.6)$$

Aici  $T_2(t)$  este media anterioara a valorii temperaturilor exterioare. Aceasta reprezinta o temperatura efectiva exterioara referindu-ne la pierderea caldurii prin perete. Cele doua formule de mai sus sunt exacte din punct de vedere matematic. Functia greutatii  $K_{12}(\tau)$  este analizata mai jos.

### 5.3.2.2. Raspuns si functiile greutatii

Functia greutatii  $K_{12}(\tau)$  in formula (5.6) este obtinuta dintr-o solutie raspuns de baza. Temperatura initiala a peretelui este zero la  $t=0$ . Temperatura in partea dreapta este zero. Temperatura limita in partea stanga este crescuta la 1 de la  $t=0$ .  $Q_{12}(t)$  poate fi fluxul de caldura exterioara in zona cu temperatura zero, fig.5.12, partea stanga. Graficul din centru prezinta aceasta transmitivitate de baza a fazei de raspuns a fluxului de caldura ( $t = \tau$ ). Fluxul de caldura este zero chiar la inceput, si creste la valoarea statica  $K_{12}$  dupa o perioada mai lunga de timp. Functia greutatii, fig.5.12, partea dreapta, este data de factorul  $1 / K_{12}$  inmultit cu derivata de timp a  $Q_{12}(t)$ . Integrala functiei de greutate devine una. Avem:

$$k_{12}(\tau) = \frac{1}{K_{12}} \cdot \frac{dQ_{12}}{d\tau} \quad \int_0^{\infty} k_{12}(\tau) d\tau = 1 \quad (5.7)$$

5.3 - Pierderea căldurii prin pereți. Analiza bazată pe teoria rețelelor cu dinamică termică 125

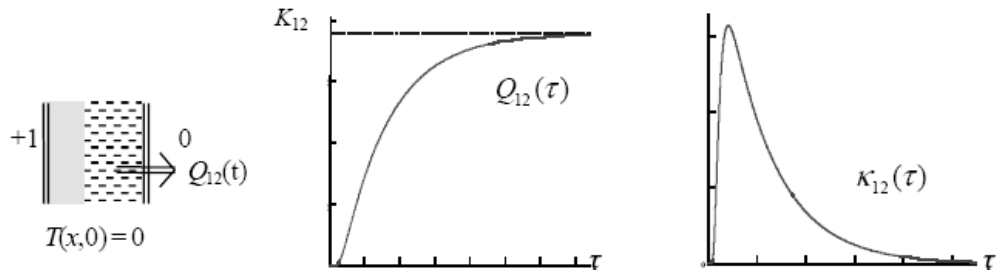


Fig.5.12. Problema fazei de raspuns pentru un zid din material compozit, partea stanga. Raspunsul fluxului de caldura  $Q_{12}(\tau)$ , (centru) si functia greutatii  $K_{12}(\tau)$  (dreapta)

5.3.2.3. Zid izolat din beton

Primul exemplu analizeaza un zid izolat din beton. Peretele consta din dala de beton grosime 150mm la interior si 200mm izolatia la exterior. Coeficientii suprafetei transferului de caldura sunt  $\alpha_i = 7.7$  si  $\alpha_e = 25$  (W/m<sup>2</sup>K), respectiv. Rezistenta suprafetei corespunzatoare este  $1/\alpha_i = 0.13$  si  $1/\alpha_e = 0.04$  (m<sup>2</sup>K/W), respectiv.

Rezistenta termica totala a peretilor devine :  $0.13 + 0.15 / 1.7 + 0.2 / 0.04 = 5.26$ .

Conductibilitatea termica aferenta devine :  $K_{12} = 1 / 5.26 = 0.19$  W/m<sup>2</sup>K.

S-a folosit metoda analitica pentru a rezolva problema etapei de raspuns prezentata in Claesson 2002b. Rezultatul este prezentat in figura 3. Functia de raspuns  $Q_{12}(\tau)$  este normalizat de maxima  $Q_{12}(\infty) = K_{12}$  si functia greutatii  $K_{12}(\tau)$  cu  $K_{12,max}$ . Ambele curbe se extind intre 0 si 1. Fluxul de raspuns este virtual zero inainte de 1 ora. Cea mai semnificativa crestere se observa intre doua si 20 ore. Acest lucru se reflecta in functia greutatii, care depaseste 40% din valoarea maxima in acest interval. Procentul maxim de crestere a fluxului de raspuns, si de aici maxima functiei de greutate, se observa la  $t = 5.5$  ore. Functia greutatii prezinta o limita de crestere inainte de a atinge maxima, in timp ce descresterea dupa atingerea limitei maxime este mai redusa. A scazut la 10% din valoarea maxima la  $t = 38$  ore.

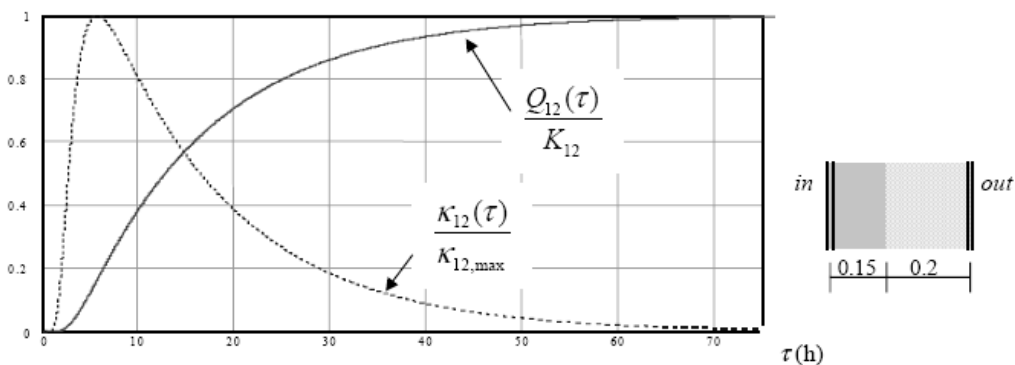


Fig.5.13. Functia fazei de raspuns normalizat  $Q_{12}(\tau) / K_{12}$  si functia greutatii  $K_{12}(\tau) / K_{12,max}$ . pentru un zid din beton, izolat

## 5.3.2.4 Efectul temperaturii în intervalul de timp scurs

Fluxul de căldură  $Q_1(t)$  este egal cu  $K_{12}$  înmulțit cu diferența dintre temperatura interioară  $T_1$  și media  $T_{2,1}(t)$  a temperaturii exterioare. În vederea ilustrării structurii formulelor [1], împartim deschiderea perioadei anterioare  $0 < \tau < \infty$  în intervalele  $J$ ,  $\tau_{j-1} < \tau < \tau_j$ , ( $\tau_0=0$ ,  $\tau_j=\infty$ ). În fiecare interval folosim o medie  $\bar{T}_{2,j}(t)$ . Atunci avem:

$$T_{2,1}(t) = \sum_{j=1}^J \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} k_{12}(\tau) \cdot T_2(t-\tau) d\tau \approx \sum_{j=1}^J \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} k_{12}(\tau) d\tau \cdot \bar{T}_{2,j}(t) = \sum_{j=1}^J k_j \cdot \bar{T}_{2,j}(T) \quad (5.8)$$

$$k_j = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} k_{12}(\tau) d\tau = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_j} \frac{1}{K_{12}} \cdot \frac{dQ_{12}}{d\tau} d\tau = \frac{Q_{12}(\tau_j) - Q_{12}(\tau_{j-1})}{K_{12}} \quad (5.9)$$

Factorul de greutate  $k_j$  pentru intervalul  $j$  devine, (2):

Factorul de greutate  $K_j$ , ex. Integrala funcției greutății peste intervalul  $j$  este dat de creșterea funcției de răspuns  $Q_{12}(\tau)$  peste intervalul împartit de  $K_{12}$ .

Intervalul  $j$  obține factorul de greutate  $K_j$ , (5.9). Acest lucru înseamnă că valoarea medie într-un interval este cântărită în funcție de creșterea  $Q_{12}(\tau) / K_{12}$  peste interval. Vom alege intervalele de timp astfel încât factorii de greutate să fie egali. Folosim intervalele  $J$ . Acest lucru înseamnă că factorul de greutate este  $1/j$  pentru toate intervalele. Alegem  $\tau_j$  în următorul fel:

$$\frac{Q_{12}(\tau_j)}{K_{12}} = \frac{j}{J} \Rightarrow Q_1(t) = K_{12} \left( T_1 - \frac{1}{J} \cdot \sum_{j=1}^J \bar{T}_{2,j}(t) \right) \quad (5.10)$$

Perioada de timp obținută pentru  $J=10$  este:

$j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\tau_j$ (h)	4.7	6	8.3	10.6	13.2	16.3	20	25.3	35.3
$\tau_j - \tau_{j-1}$	4.7	1.3	2.3	2.3	2.6	3.1	3.7	5.3	10

Tab. 5.3.

Media temperaturii fiecărui interval are factorul de greutate 0.1. Temperatura medie în al treilea interval (2.3 h în intervalul 6 la 8.3) are aceeași greutate ca și cel de-al nouălea interval (10h în intervalul 25.3 la 35.3h).

Avem  $\tau_p$  pentru  $0 < p < 1$  timpul în care funcția de răspuns a atins fracția  $p$  a valorii maxime:

$$\frac{Q_{12}(\tau_p)}{K_{12}} = p \quad 0 < p < 1 \quad (5.11)$$

Tabelul de mai sus este obținut pentru  $p=1/10$ . Am obținut de exemplu:  $\tau_{0,01}=1.5h$  și  $\tau_{0,90}=80 h$ . Aceasta înseamnă 1% factorul de greutate se realizează între 0 și 1.5, și după 80 ore.

### 5.3.2.5. Efectul unei perioade reci

Efectul asupra fluxului de căldură a temperaturilor exterioare înregistrate anterior pot fi ilustrate de o perioadă rece. Temperatura este scăzută de o valoare  $\Delta T_j$ , în perioada de timp anterioară  $j$ , vezi fig4.

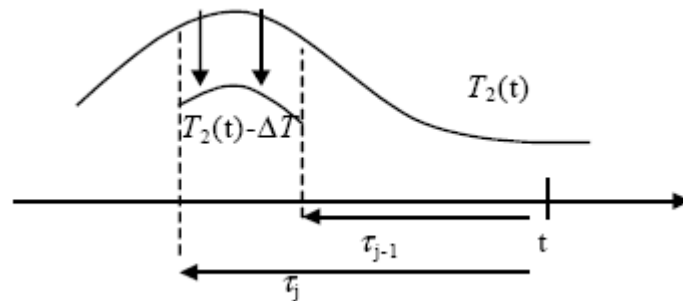


Fig.5.14. O perioadă rece de timp într-un interval anterior  $j$

Cresterea fluxului de căldură datorită perioadei reci devine, în conformitate cu (1) și (3-4):

$$\Delta Q_1(t) = K_{12} \cdot \Delta T_j \cdot k_j \quad k_j = \frac{Q_{12}(\tau_j) - Q_{12}(\tau_{j-1})}{K_{12}} \quad (5.12)$$

Fluxul de căldură suplimentară: egal cu  $K_{12} \cdot \Delta T$  înmulțit cu factorul de greutate al intervalului perioadei reci. Creșterea relativă a funcției de răspuns asupra unui interval da factorul de greutate al aceluși interval.

### 5.3.2.6. Temperatura exterioară efectivă

Temperatura exterioară efectivă  $T_{2,eff}(t)$ , (1) dreaptă, depinde de funcția greutății și succesiunea temperaturilor exterioare anterioare. Temperaturile exterioare sunt cântărite sau filtrate de funcția greutății. Figura 5.15 arată temperatura exterioară și temperatura exterioară efectivă pentru zidul din beton izolat menționat mai sus. Variațiile de temperatură sunt modificate cu cele anterioare și aranjate. Diferența de temperatură la un timp  $t$  este  $T_1 - T_2(t)$  în timp ce diferența efectivă de temperatură dintr-un punct din care se pierde căldură este  $T_1 - T_{2,eff}(t)$ .

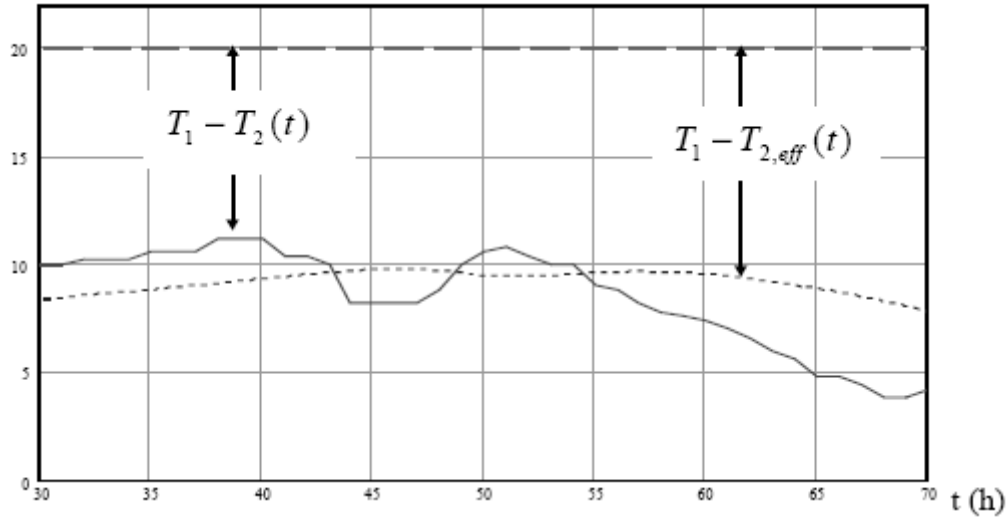


Fig.5.15. Temperatura exterioara si temperatura exterioara efectiva pentru zidul din beton

### 5.3.3. Studiul funcțiilor greutate pentru pereți în trei variante

Figura 6 prezinta functiile de greutate pentru trei ziduri. Zidurile sunt alese pentru a reprezenta trei tipuri diferite de constructie: una de rezistenta (zidul de beton de deasupra), unul foarte subtire si altul intermediar. Cel foarte subtire este realizat din gips carton la interior si un strat de izolatie la exterior. Zidul intermediar este construit din caramida pe interior si izolatie la exterior. Coeficientii suprafetei de transfer a caldurii  $\alpha_i$  si  $\alpha_e$  sunt la fel ca mai sus. Conductibilitatea termica totala este aceiasi pentru toti cei trei pereti:  $k_{12}=0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

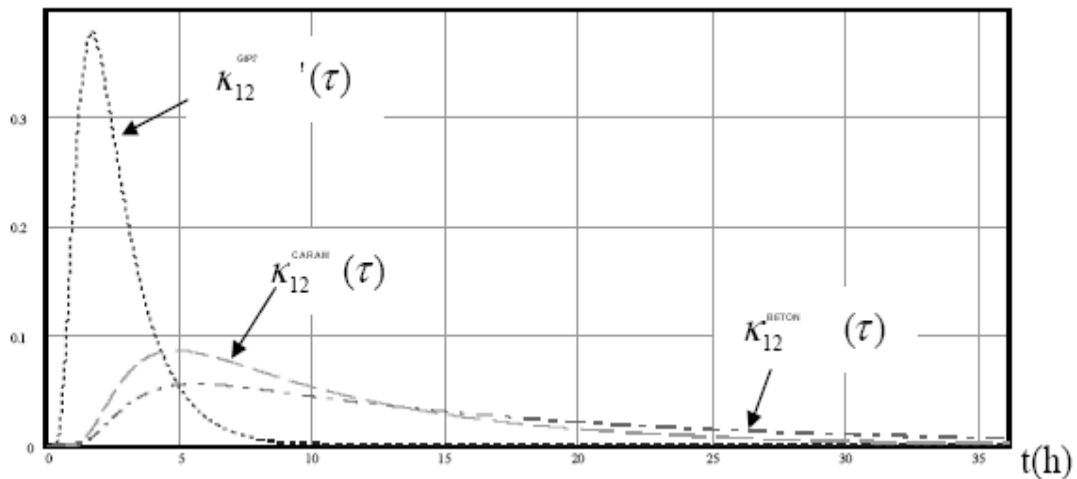


Figura 5.16. Functiile greutatii pentru zidurile de gipscarton, caramida si beton



Funcțiile greutății din figura 5.16 apar sub diferite forme. Funcția greutății pentru placa de gips carton este ridicată și prezintă o fereastră a timpului îngustă, în timp ce funcția de greutate pentru zidul de beton este scăzută și se întinde în timp. Funcția de greutate a zidului de cărămidă este similară cu cea a curbei de beton, dar mai înaltă și mai scurtă în timp. Fluxul de răspuns pentru zidul de gips carton este zero virtual înainte cu 20 minute. Procentul maxim de creștere se observă între 0.5 și 4 ore. Aceasta se reflectă în funcția de greutate, care depășește 40% din maxima valorilor sale în acest interval. Procentul maxim de creștere pentru fluxul de răspuns, și de aici maxima funcției de greutate, se observă la  $\tau=1.5$  ore. Fluxul de răspuns pentru zidul de cărămidă este zero virtual înainte cu 1 ora. Cea mai mare valoare se observă între 2 și 15 ore, în acest interval funcția greutății depășește 40% din valoarea sa maximă. Maxima funcției de greutate se observă la  $\tau=5$  ore. Funcția de greutate a zidului de beton a fost deja discutată, vezi figura 3. Ultimii 10% ai funcției de greutate integrate se observă după  $\tau=38$ h. Perioada aferentă pentru zidul de cărămidă este  $\tau=22$ h, și pentru perețele de gips carton  $\tau=5$ h.

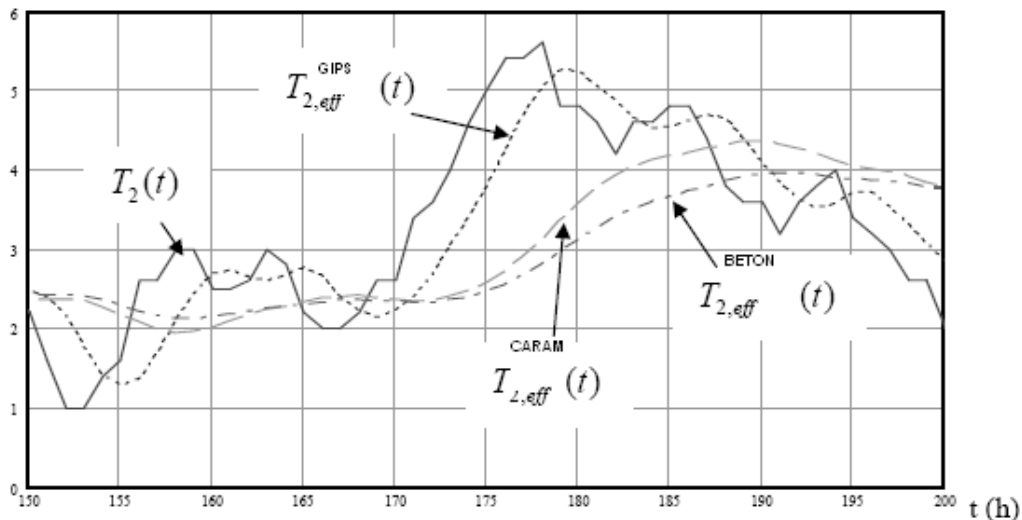


Fig. 5.17. Temperatura exterioră și temperatura efectivă pentru zidurile de gips carton, cărămidă și beton

Figura 5.17 prezintă temperatura exterioră dintr-o anumită zonă climatică și temperaturile exterioră aferente pentru cei trei pereți folosind (1) dreapta. Observăm că temperatura efectivă pentru construcția zidurilor este mai mult sau mai puțin comparată cu temperatura exterioră. Temperatura efectivă pentru zidul de beton este cea mai potrivită, deoarece funcția greutății este cea mai largă. Zidul de gips carton, care are o funcție de greutate ridicată și restransă, are o temperatură efectivă care respectă temperatura exterioră destul de bine.

### 5.3.4. Analiza termică a zidurilor din material compozit

Teoria dinamicii rețelelor termice facilitează multe analize ale pierderii de căldură. Vom demonstra acest lucru prin aceste două exemple.

#### 5.3.4.1 Ordinea straturilor zidurilor

Comportamentul dinamicii termice a peretilor depinde de ordinea straturilor. Figura 8 prezintă funcția de greutate pentru zidul din beton, izolat, cu izolație exterioară (I), și interioară (III). Curba intermediară (II) prezintă funcția de greutate când coeficienții transferului de căldură sunt aceiași:  $1 / \alpha_i = 1 / \alpha_e = (0.13 + 0.04) / 2 = 0.085$ .

Ar trebui notat că fluctuațiile etapei răspuns  $Q_{12}(\tau)$  și  $Q_{21}(\tau)$  sunt egale datorită unui principiu de simetrie egală. Aceasta înseamnă că avem același factor de greutate  $K_{12}(\tau)$  pentru o etapă la partea 1 sau 2. Cele două cazuri din mijloc, schitele din partea dreaptă dau aceeași funcție de greutate. Singurul motiv al diferenței între funcțiile de greutate ale lui I și II este rezistența interioară și exterioară diferită (0.13 și 0.04).

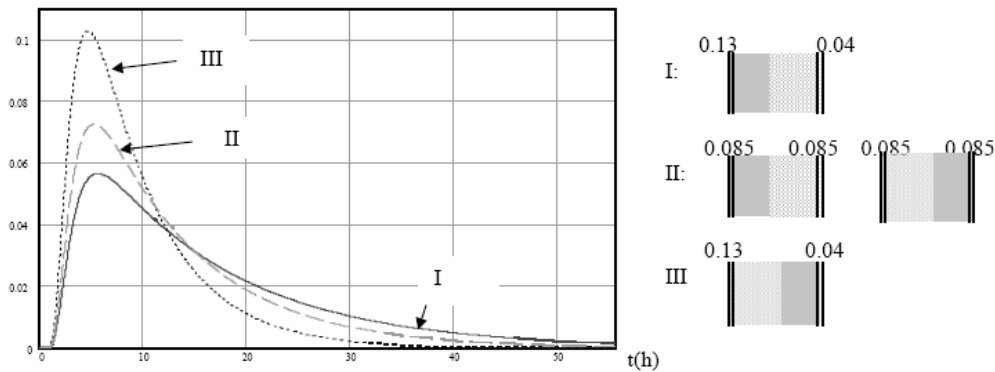


Fig.5.18. Funcțiile de greutate pentru zidul din beton cu izolație la exterior (I), coeficienți egali de transfer căldură:  $1/\alpha=1/\alpha=0.085$  (II), și izolația interioară (III)

Prin modificarea izolației interioare cu cea exterioară a stratului de beton reducem funcția de greutate cu aproximativ 50%. Este o diferență destul de mare. Maxima funcțiilor încă se observă în același timp, în jur de  $\tau=5.5$  ore

#### 5.3.4.2 Poziția straturilor de izolație

Am observat mai sus că valoarea coeficientului transferului de căldură a fost destul de importantă pentru funcția de greutate. Vom lua în calcul ce se întâmplă când mutăm o parte din izolația termică de cealaltă parte a stratului de beton.

Curba (a) prezintă cea mai înaltă funcție de greutate pentru zidul din beton cu izolație interioară (curba III, Figura 5.18). Grosimea stratului de izolație este de 200mm. La celelalte curbe am mutat o parte a izolației pe alta parte: 5 mm (b), 10mm (c), 20mm (d), 40 mm (e) și 100 mm (f).

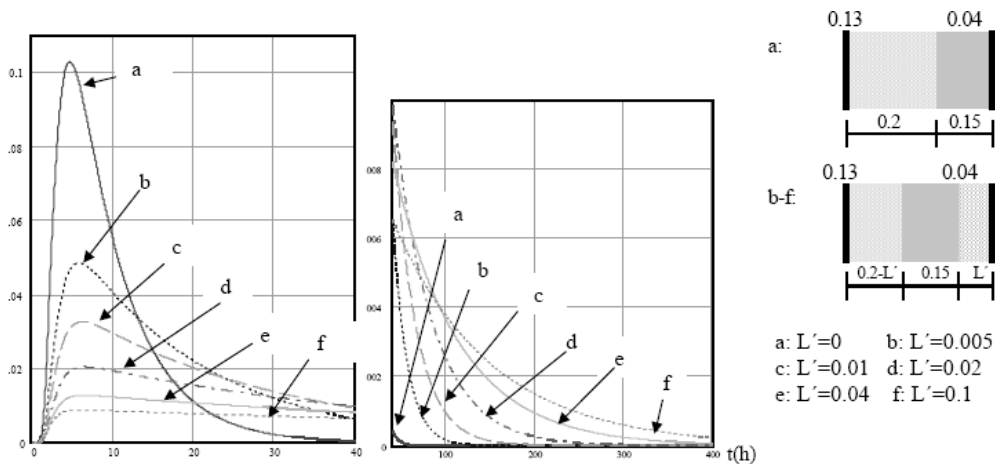


Fig.5.19. Funcția de greutate pentru zidul din beton, izolat, când o parte mare a izolației este mutată în alta parte

Prin mutarea unei mari părți din izolație de la interior la exteriorul peretelui, putem largi funcția de greutate. Descreșterile maxime din moment, aria totală rezultată din curba este 1. Observăm din figura că prima influență și învelișul frontal al funcțiilor de greutate nu sunt modificate. Toate curbele încep undeva în jur de  $\tau=1.4$  ore. Cea mai semnificativă diferență este că descreșterea după atingerea maximei devine mai redusă. În cazul f, când izolația are aceeași grosime de ambele părți, funcția greutății a scăzut la 10% din maximă la  $\tau=268$  ore. Obținem o construcție cu un comportament redus de răspuns. Dala de beton cu capacitate ridicată de încălzire este protejată de izolația termică la ambele părți.

### 5.3.5. Concluzii

Dinamica pierderii căldurii a unui zid din material compozit a fost analizată folosind o nouă teorie a dinamicii rețelelor termice prezentată într-o lucrare anterioară. Pierderea de căldură în cazul unei temperaturi interioare constante este egală cu conductibilitatea termică în stare statică a peretelui înmulțită cu diferența dintre temperatura interioară și o medie a temperaturilor exterioare înregistrate anterior.

Funcția de greutate este obținută din soluția etapei răspuns. Temperatura la exterior este modificată de la zero la unu, în timp ce suprafața interioară este menținută la zero. Fluxul de căldură la interior va începe de la zero și va crește la valoarea stării statice după o perioadă mai lungă. Derivata funcției de răspuns va începe de la zero, va atinge maximă și va scădea încet la zero într-un mod armonios. Derivata din funcția de greutate (într-un mod matematic exact). Funcția de greutate filtrează temperatura exterioară la o temperatură exterioară potrivită.

Sunt comparați cei trei pereți cu aceeași rezistență termică. Constau dintr-un strat de izolație și gipscarton, caramida sau beton. Sunt prezentate funcțiile de răspuns și funcțiile de greutate. Perioadele de timp ale dinamicii de pierdere de căldură sunt obținute din funcția greutății pentru zidul aferent. Maximă se observă la 1.7, 4.8 și 5.5 ore, respectiv, pentru zidurile subțiri, intermediare și de rezistență. Intervalul de timp, unde funcția de greutate depășește maximă, definește „o

fereastra” în care temperaturile anterioare sunt cantarite peste fracție. Pentru partea 0.4, aceasta fereastra se încadrează între 0.5 și 4h pentru zidul de rigips, între 2 și 15 ore pentru zidul de caramida, și între 2 și 20 ore pentru zidul din beton. Sunt prezentate câteva exemple ale succesiunii temperaturilor exterioare și temperaturile efective (filtrate) aferente pentru diferite ziduri

Dinamica pierderii de căldură a unui perete este determinată în totalitate de funcția de greutate și de rezistența termică totală a peretelui. Efectul ordinii între straturile peretilor este discutabil. Problema, obținerii formei dorite a unei funcții de greutate prin schimbarea componentelor peretilor, este analizată mai sus. Prin acoperirea dalei de beton cu izolație la ambele părți, obținem un perete cu un comportament de răspuns redus.

## 5.4. Comparație între diferitele tehnici pentru determinarea extinderii umidității la profilele de umiditate

### 5.4.1. Metode pentru determinarea extinderii umidității

Majoritatea metodelor pentru rezolvarea problemelor reciproce ale transportului umezelii se bazează pe măsurarea profilelor de umezeală, cu aproximare în 1-D,  $u(x,t)$ . Stabilirea experimentului de bază este o problemă foarte comună: un instrument în formă de tijă are una dintre părți în contact direct cu apa, iar cealaltă parte este lăsată în contact cu aerul. Părțile laterale sunt izolate împotriva umidității și a vaporilor (aburilor) pentru a asigura transportul umidității 1-D. Profilele de umiditate sunt apoi măsurate la anumite intervale de timp, folosindu-se o metoda corespunzătoare, ca de exemplu NMR, atenuarea cu raze X, atenuarea cu raze Y, capacitanța, microunde, etc.

În cadrul soluției practice a problemelor inverse de transport a umidității, se preferă, de obicei, *metodele tranzitorii* deoarece prin folosirea *metodelor constante* se face economie de timp, dar cerințele pentru etanșarea împotriva vaporilor sunt mai stricte decât pentru metodele tranzitorii și, în plus, pentru anumite materiale nu se poate obține nici un rezultat deoarece starea constantă a profilului de umiditate este sub forma unei distribuiri constante a umidității. În cadrul acestei lucrări, vom prezenta patru metode tranzitorii care sunt foarte des utilizate în cadrul unor laboratoare.

#### 5.4.1.1. Metoda Matano

Cea mai utilizată metodă pentru determinarea coeficientului de extindere a umidității este *metoda Matano* (Matano, 1933). Pentru calcularea lui  $K$  este necesar să se cunoască un profil de umiditate și data la care s-a început experimentul, corespunzător acestei curbe. Dacă distribuția de umiditate  $u(x)$  în perioada  $t$  se cunoaște, se poate afla coeficientul de extindere a umezelii în funcție de relația

$$k(u(x)) = \frac{1}{2tu'(x)} \int_x^\infty \xi u'(\xi) d\xi, \quad (5.13)$$

unde  $u'(x)$  este derivata conținutului de umiditate în funcție de variabila de spațiu  $x$ .

#### 5.4.1.2. Metoda gradientului

Această metodă (Kaspar, 1984) se bazează pe măsurarea a două profile de umiditate la momente diferite  $t_1 < t_2$ :  $u(x, t_1)$ ,  $u(x, t_2)$ , calculând fluxul de umiditate și aplicând legea Fick în 1-D. Extinderea umidității corespunzător conținutului de umiditate  $u_0$  este calculată astfel:

$$k(u_0) = \frac{2 \int_{x_0}^\infty (u(x, t_2) - u(x, t_1)) dx}{(t_1 - t_2) \left( \frac{\partial u(x_0, t_2)}{\partial x} + \frac{\partial u(x_0, t_1)}{\partial x} \right)}, \quad (5.14)$$

$$\text{unde } u_0 = \frac{(u(x_0, t_2) + u(x_0, t_1))}{2}$$

#### 5.4.1.3 Metoda diferenței

Această metodă a fost dezvoltată inițial pentru determinarea conductivității termice (Cerny și Toman, 1997). Pentru calcularea extinderii umidității, se poate folosi un tratament similar. Astfel am obținut

$$k\left(x - \frac{\Delta x}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) = k\left(x + \frac{\Delta x}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right) \frac{A}{C} - \frac{B}{C}, \quad (5.15)$$

$$\text{Unde } A = u(x + \Delta x, t) - u(x, t) + u(x + \Delta x, t + \Delta t) - u(x, t + \Delta t)$$

$$B = \frac{(\Delta x)^2}{2\Delta t} (u(x, t + \Delta t) - u(x, t)),$$

$$C = u(x, t) - u(x - \Delta x, t) + u(x, t + \Delta t) - u(x - \Delta x, t + \Delta t)$$

și  $\Delta x$  este intervalul de spațiu,  $\Delta t$  este intervalul de timp.

Ecuția (3) este o relație recursivă pentru determinarea extinderii umidității în funcție de umiditate. Aplicația necesită cunoașterea valorii umidității de exemplu pentru  $u \rightarrow 0$ .

## 5.4.1.4. Metoda dublei integrări

Metoda dublei integrări (Drchalova, 1983, Drchalova și Cerny, 1998), implică câteva profile de umiditate pentru calcularea extinderii umidității. Formula care rezultă este:

$$k(v) = \frac{\int_0^{x_0(v,\tau)} d\xi u(\xi, \tau) - \int_0^{x_0(v,0)} d\xi u(\xi, 0) - v[x_0(v, \tau) - x_0(v, 0)] - Q(\tau)}{\int_0^\tau dt \frac{\partial u(x_0(v, t), t)}{\partial x}} \quad (5.16)$$

unde  $v$  este o valoare aleasă, constantă, a conținutului de umiditate,

$$Q(\tau) = \int_0^l dx (u(x, \tau) - u_2) \quad (5.17)$$

$l$  este lungimea probei,  $u_2$  este conținutul inițial de umiditate.

### 5.4.2. Experiment

Măsurătorile au fost realizate pentru două materiale uzuale în construcții, în special **AAC** (beton autonivelant) și **BCA HANSA**. AAC a fost produs de Ytong în fabrica Laussig (Germania) ca și cantități speciale pentru măsurătorile realizate în câteva laboratoare din Europa, America și Japonia (coordonator dr. Mark Bomberg, Universitatea Concordia, Montreal). Probele din AAC, sub forma unei tije, au dimensiunile 20x40x290mm și cele din BCA, 19x33x238mm. Metoda capacității pentru determinarea conținutului de umiditate necesită o suprafață perfect plană. De aceea, s-a adăugat aditiv împotriva strângerii în contact cu apa și rezistent la vapori, în părțile laterale. Probele din AAC, din cauza volumului mare al porilor, s-au măsurat în poziție orizontală, în vederea excluderii forței gravitaționale pe transportul umidității.

Un burete vâscos, oferind un contact perfect a suprafeței probei cu apa, a fost pus într-o cameră umplută cu apă Perspex și aplicată pe o parte a probei. Buretele a absorbit apa de la o suprafață liberă fiind cu 1cm sub partea inferioară a probei. Apa din cameră a fost menținută la un nivel constant folosindu-se un plutitor. Dacă nivelul apei din camera de umplere scade din cauza absorbției apei de către probă, nivelul apei în camera plutitorului scade în același fel, acul plutitorului deschide gaura din capacul camerei plutitorului și apa din biuretă curge spre gaură în camera plutitorului până când acul închide din nou gaura din cauza creșterii nivelului apei. În acest fel, se furnizează apă în mod continuu probei măsurate.

BCA-ul a fost măsurat în poziție verticală. Măsurătoarea în sine constă în măsurarea profilelor de umiditate de-a lungul probei la intervale de timp corespunzătoare (în funcție de rapiditatea de absorbție a materialului) și urmărinduse fazele corespunzătoare de spațiu (5 mm în cazul nostru). Conținutul de umiditate a fost determinat într-un mod nedistructiv printr-un dispozitiv de măsurare a capacității umidității (Semerak și Cerny, 1997) cu electrozi sub forma a două plăci paralele de dimensiuni 20 x 40mm. Dispozitivele sunt realizate pe baza determinării modificării impedanței în proporție de 250-350 kHz. Instrumentul de citire a umidității este proporțional cu capacitatea condensatorului electric de măsurare (materialul său izolator este analizat). Metoda prezintă erori mari în proporția umidității ridicate, și are o sensibilitate mărită la ruginirea suprafeței analizate.

Pentru o aplicare corespunzătoare a metodei de capacitantă în vederea măsurării conținutului de umezeală, determinarea curbei de calibrare pentru fiecare probă este, de obicei, necesară. S-a folosit profilul final de umiditate în acest scop, care a fost, de asemenea, determinat și de metoda gravimetrică. Proba a fost tăiată în bucăți cu lățimea de 1cm, și datele de pe dispozitivul de măsurare au fost atribuite conținutului de umiditate pentru segmente separate de 1cm determinate prin metoda gravimetrică.

### 5.4.3. Rezultate și discuții

Figurile 1 și 4 prezintă profilele de umiditate măsurate pentru două probe AAC ( $P_1, P_2$ ) și două probe de BCA ( $C_3, C_4$ ). Aceste profile au fost folosite pentru determinarea extinderii umidității prin cele patru metode prezentate mai sus, în special metoda Matano, metoda Gradientului, metoda Diferenței și metoda Dublei integrări.

Metoda Matano a fost folosită, tot timpul, pentru profilul cu cea mai lungă perioadă de la începerea procesului de absorbție, care a fost determinată pentru toate mostrele prin metoda gravimetrică. De aceasta dată pentru mostra  $P_1$  34500, pentru  $P_2$  95880 pentru  $C_3$  4920 și pentru  $C_4$  6360s.

Metoda Gradientului și metoda Diferenței necesită două profile de umiditate: în cazul probei AAC,  $P_1$ , s-a folosit pentru calcularea extinderii umezelii al treilea și al patrulea profil,  $t_1=20100$  și  $t_2=23700$ , pentru  $P_2$ , de asemenea, al treilea și al patrulea profil,  $t_1=22980$  și  $t_2=30180$ , pentru BCA  $C_3$  al șaptelea și al optulea profil,  $t_1=3900$  și  $t_2=4500$ , și pentru  $C_4$  al treilea și al patrulea profil cu  $t_1=5580$  și  $t_2=6000$ .

Metoda Dublei integrări s-a aplicat în cazul AAC  $P_1$  pentru toate cele 7 profile măsurate (perioada de timp fiind aproximativ între 3.5 și 9.5 ore de la începerea experimentului), pentru  $P_2$  pentru 6 curbe (perioada aproximativă este de 3 la 26 ore). Procesul de umiditate pentru ambele probe de BCA a durat aproape 1.5 ore, pentru  $C_3$  s-au folosit 9 profile și pentru  $C_4$ , 5 profile. Umiditatea profilelor AAC determinată prin metoda capacității a început la aproximativ 4cm față de partea aparență, fiind în contact direct cu apa, datorându-se dimensiunilor camerei cu apă

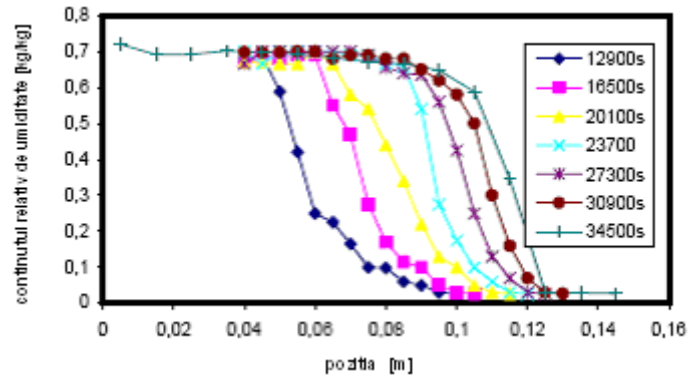


Fig.5.20. Profilele de umiditate pentru proba AAC : P<sub>1</sub>

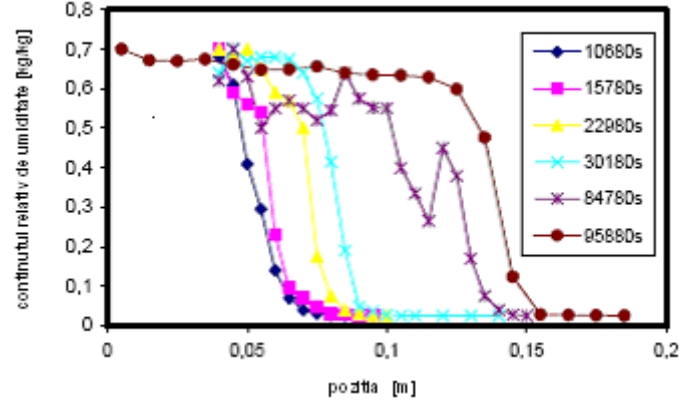


Fig.5.22. Profilele de umiditate pentru proba AAC : P<sub>2</sub>

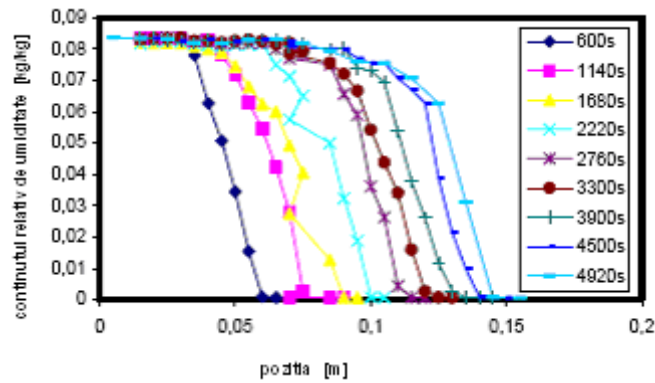
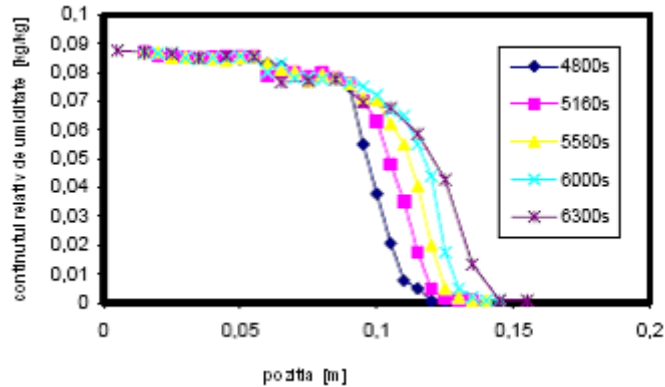


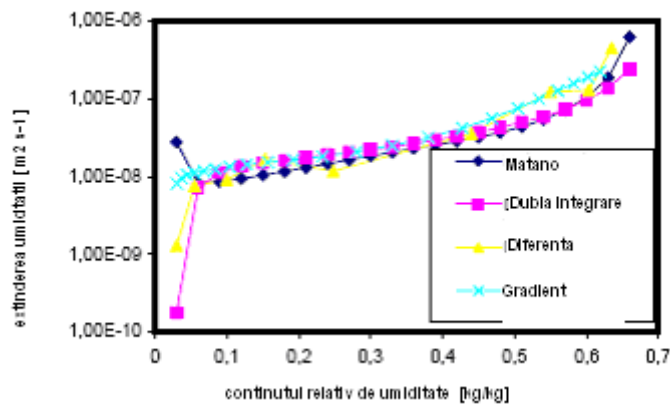
Fig.5.23. Profilele de umiditate pentru proba BCA: C<sub>3</sub>



Fig.5.24. Profilele de umiditate pentru proba BCA : C<sub>4</sub>

Valorile experimentale ale profilelor de umiditate pentru metodele Matano, Gradientului, Dublei integrări au fost approximate de metoda filtrării liniare cu greutate Gaussian (Hamming,1962), pentru metoda Diferenței nu s-a folosit nici o dată aproximativă și s-a calculat extinderea umidității folosind datele neprelucrate. Valorile extinderii umidității au fost determinate pentru AAC între 3% și 63%, în funcție de greutate (valoarea de saturație de aproximativ 70%), pentru BCA între 0.5% și 8%, în funcție de greutate (valoarea de saturație aproximativ 9%).

Rezultatele calculate pentru extinderea umidității sunt prezentate în figurile 5.25-5.28. Putem observa că diferențele între cele trei metode, care au fost realizate cu date aproximative, în special metoda Matano, Gradientului și a Dublei integrări, sunt relativ scăzute, până la 20%. Datele obținute prin metoda Diferenței nu au fost atât de clare ca și cele obținute din celelalte trei metode, dar diferențele totale comparate cu alte metode au fost surprinzător de scăzute ținând cont că nu s-au folosit date aproximative, și au depășit doar foarte puțin rata erorii, comparativ cu alte metode.

Fig.5.25. Extinderea umidității probei AAC : P<sub>1</sub>

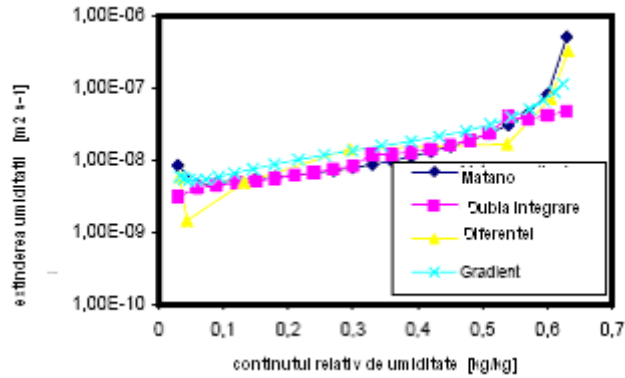


Fig.5.26. Extinderea umidității probei AAC: **P<sub>2</sub>**

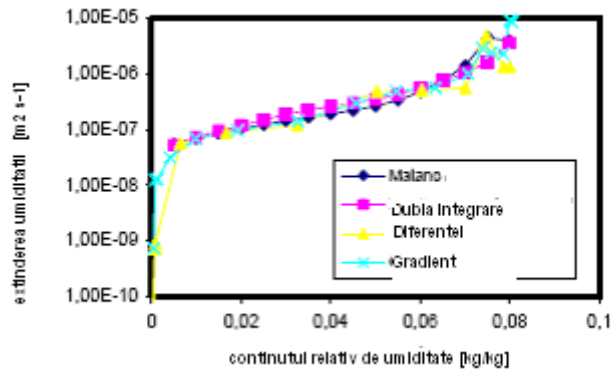


Fig.5.27. Extinderea umidității probei din BCA: **C<sub>3</sub>**

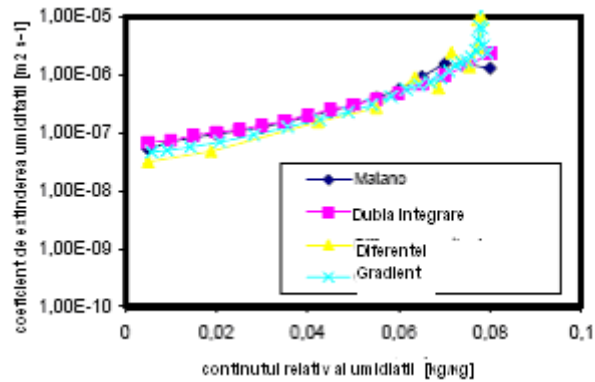


Fig.5.28. Extinderea umidității probei din BCA: **C<sub>4</sub>**

În general, pentru toate metodele s-au observat diferențe mari în categoria de umiditate foarte scăzută și foarte ridicată ceea ce nu este surprinzător deoarece orice aproximare a datelor este mai puțin exactă la limitele de aproximare, undeva la mijlocul intervalului.

Ținând cont de exactitatea rezultatelor obținute prin metodele particulare, putem afirma că în cazul nostru special, metoda standard Matano ar trebui, probabil, considerată cea mai exactă deoarece s-au folosit doar date determinate de metoda gravimetrică care clar a necesitat o precizie mai mare decât cele obținute prin metoda capacității unde este necesară calibrarea pentru calcularea conținutului de umiditate. Oricum, această declarație nu poate fi considerată general valabilă. Dacă s-ar folosi date din metoda capacității, deficiențele metodelor „o singură curbă” ar apărea într-un mod mult mai clar, așa cum s-a analizat mai înainte (Cerny 1996). Se poate anticipa că, de exemplu, în categoria intervalelor foarte scurte și foarte lungi de timp, exactitatea rezultatelor ar scădea.

Cea mai mare stabilitate din punctul de vedere al preciziei numerice, sensibilitatea datelor eronate aleatorii și generalitățile ar trebui să demonstreze metoda Dublei integrări (Cerny 1996). Acest lucru a fost confirmat de datele noastre în cadrul acestei lucrări deoarece diferențele în calcularea extinderii umidității între metoda Matano cu date foarte exacte și metoda Dublei integrări cu date mai puțin exacte (s-au folosit câteva curbe obținute din metoda capacității) au fost relativ mici.

Metoda Gradientului, în general, duce la obținerea unor date de extindere a umidității, aproape la fel de exacte ca și cele obținute prin metoda Matano dacă datele de intrare ale preciziei comparabile sunt folosite (Cerny 1996). În cazul nostru particular, metoda Matano ar trebui considerată ca fiind mult mai sigură așa cum s-a menționat anterior. Exactitatea datelor obținute prin metoda Gradientului depinde, în mare parte, de alegerea corectă a doua profile de umiditate necesare pentru calcularea extinderii umidității. Dacă profilele sunt apropiate unul de altul în timp exactitatea datelor referitoare la umiditate este rezonabilă (care în mod aparent a fost și cazul nostru), apoi de asemenea metoda Gradientului poate fi considerată ca fiind sigură. Acest lucru a fost demonstrat de datele noastre în fig.5-8.

Metoda Diferenței a dus la date aproximativ bune referitoare la extinderea umidității. De asemenea nu s-a făcut nicio prelucrare a datelor introduse. Fig.5-8 arată că dacă se realizează prelucrarea extinderii umidității față de acționarea umidității obținută prin această metodă, rezultatele vor fi foarte apropiate de cele obținute prin celelalte trei metode.

Comparând datele de extindere a umidității obținute pentru diferite specimene ale aceluiași material, putem observa că pentru AAC avem diferențe până la 100%, care depășesc rata de eroare a metodelor folosite. Acest lucru se întâmplă în mod aparent din cauza neomogenității materialului. Pe de altă parte, respectivele diferențe pentru BCA au fost doar până la 20%, care este comparabil cu diferențele între metodele particulare.

#### 5.4.4. Concluzii

Rezultatele menționate în această lucrare arată că toate metodele analizate, în special metoda Matano, metoda Gradientului, metoda Dublei integrări și metoda Diferenței dau extindere similară a umidității față de curbele umidității calculate la profilele de umiditate. De aceea, se poate concluziona că toate sunt potrivite pentru aplicații practice. Oricum, toate au anumite limite, care ar trebui respectate.

Metoda Matano, care poate fi considerată metoda standard, ar trebui folosită pentru profilele de umiditate măsurate cu o exactitate foarte exactă, de preferat prin metoda gravimetrică. De asemenea intervalele de timp foarte scurte și foarte lungi ar trebui evitate.

Metoda graficului ar trebui folosită pentru profilele de umiditate foarte apropiate una de alta în timp, astfel încât curba de umiditate poate fi determinată cu destulă exactitate.

Metoda Diferenței ar trebui folosită pentru date ale umidității mult mai exacte dacă se aplică datele neprelucrate; se poate anticipa că folosind această metodă pentru prelucrarea datelor s-ar obține aceleași rezultate optime ca și în cazul celorlalte metode.

Metoda Dublei integrări are o poziție specială între celelalte metode. Avantajul acestei metode constă în folosirea unor profile de umiditate pentru perioade diferite, ceea ce face posibile anumite compensații ale erorilor experimentale. De aceea poate fi folosită nu doar pentru datele foarte exacte, ci și pentru date mai puțin exacte. În plus, metoda nu se reduce la perioade scurte de timp, ca de exemplu, metoda Matano, având încă un avantaj. Universalitatea metodei Dublei integrări oferă perspective foarte bune pentru alte aplicații.

## **5.5 Modelarea sistemelor hibride cu rețelele optimizate R-C**

### **5.5.1. Introducere**

În ultimele decenii s-au făcut eforturi considerabile în vederea reducerii consumului de energie în clădiri, de exemplu pentru clădiri izolate termic, prin îmbunătățirea calitatii sticlei pentru ferestre și prin folosirea energiei termice înmagazinate a construcției. În vederea creșterii eficienței energiei în clădiri, sunt necesare noi sisteme de creștere a temperaturilor și de răcire. O soluție promițătoare este dezvoltarea sistemelor hibride.

Sistemele hibride sunt componente ale clădirii sau combinații ale diferitelor componente din clădire care utilizează transferul de căldură și proprietățile capacității de încălzire ale întregii construcții pentru a realiza o temperatură potrivită în încăperea. Transferul de căldură de la aceste sisteme către încăperea se realizează în special prin radiație. Suprafața încăperii este menținută încălzită și la o temperatură constantă, astfel poate fi oferit un confort termic optim. Nu vor exista curenți de aer în urma circulației aerului ex. convectoare sau arderea prafului.

Pentru simularea dinamică a unui astfel de sistem sunt implicate câteva mecanisme de transfer a căldurii și trebuie analizate simultan. Modelele existente fixe-unică care descriu sistemele hibride nu sunt satisfăcătoare pentru scopurile proiectării. Sunt necesare modele eficiente pentru studierea tuturor sistemelor cu simulare.

### **5.5.2. Metoda modelării macroelementelor (MEM)**

S-a dezvoltat o metodă pentru modelarea matematică, pentru analizarea condițiilor termice a unei componente a clădirii și pentru descrierea transportului de căldură multidimensional. În cadrul noii metode procedura de analiză pentru execuția zidului și tavanului a fost extinsă în vederea includerii unei mase debit în

constructie. De aceea este posibil să se modeleze chiar și componentele hibride ale clădirii cu rețea rezistor-capacitor (RC) optimizată de către un număr limitat de macroelemente. Aceasta abordare MEM poate fi împărțită în următoarele etape de bază:

#### 5.5.2.1. Analiza sistemului

Analiza partilor solide ale construcției este realizată în domeniul de frecvență și poate fi realizată prin metoda analitică. Răspunsurile sistemului sunt calculate direct prin metodele analitice sau, dacă acest lucru nu este posibil, construcția este implementată într-un program de diferență complet pentru a calcula răspunsurile sistemului. Pentru analiză sunt făcute toate simplificările posibile (ex. simetria). Rezultatul analizei balanței transferului de căldură între două valori izotermice arbitrare 0 și 1, de exemplu suprafețele pe ambele fețe ale unui zid cu mai multe straturi, este sub formă unei frecvențe dependente de matrice (Carslaw Jaeger 1959, Johannesson 1981):

$$\begin{bmatrix} \tilde{T}_1 \\ \tilde{q}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_\omega \cdot \begin{bmatrix} \tilde{T}_0 \\ \tilde{q}_0 \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

#### 5.5.2.2. Transformarea

Nucleul metodei MEM este transformarea proprietăților construcției într-o rețea de rezistențe și capacități. O rețea RC este optimizată astfel încât, pentru o configurație nodică dată, răspunsurile sistemului de la rețeaua RC sunt, pentru o anumită bandă de frecvență, cât mai apropiate posibil de calculațiile anterioare ale construcției clădirii. Pentru configurația aleasă a rețelei RC a unei construcții date, o matrice de transfer a căldurii pentru fiecare frecvență poate fi exprimată în termenii unor părți rezistente și de capacitate (Beuken 1936, Rouvel și Zimmermann 1997, Akander 2000). Deviația răspunsurilor sistemelor între modelul detaliat și rețeaua RC poate fi calculată și deviația pentru modelul simplificat poate fi studiată în domeniul de frecvență. Balanța de căldură a masei debit în interiorul construcției este descrisă de un set de ecuații diferențiale. Rezolvând ecuația, pentru o modificare liniară a temperaturii suprafeței (tevi/canalului) în direcția scurgerii, la fiecare segment de calculație există posibilitatea de a folosi segmente mult mai largi pentru o eroare dată.

#### 5.5.2.3. Implementarea

Modelul simplificat rezultat este încadrat în Formatul Intermediar (NMF) (Sahlin 1996). Acest format include o definiție model bazată pe ecuații. Un component continuu, care poate fi descris de un sistem de ecuații algebrice diferențiale, poate fi modelat direct cu propria ecuație. Codul NMF este tradus și modelele din prezentul sunt implementate în programele dinamice de simulare așa

cum ar fi TRNSYS sau IDA (Sahlin 1996). Acesta ofera o metoda de examinare a sistemelor hibride si interactiunea lor cu restul cladirii. Modelele rezultate pot fi puse la dispozitie sub aceasta forma pentru cercetatori si proiectanti.

### **5.5.3. Studii de caz pentru abordarea MEM**

Pana in prezent au fost studiate, in cadrul unor proiecte mai ample pentru sisteme de incalzire cu randament scazut la o constructie cu rezervor de caldura impamantat, doua configuratii diferite (LOWTE 2002) :prima este o gaura dubla de aerisire sudata si o constructie de geam, a doua este un rezervor de caldura forat cu asa numita teava C.

#### **5.5.3.1. Gaura dubla de aerisire executata in perete**

Executia este prezentata in figura 1, dreapta: este impartita in doua segmente de zid opace in partea inferioara si un segment de geam in partea superioara. Ambele segmente au forată o gaura dubla, cu un sistem de aerisire ascendent in vidul interior si un sistem de aerisire descendent in vidul exterior. Curentul de aer este generat de ventilator si apa catre unitatea schimbatorului de caldura la partea inferioara a peretelui. Cu aceasta instalatie speciala un jet de aer este incalzit in cadrul schimbatorului de caldura la partea inferioara a vidului interior si incalzeste camera, astfel furnizand caldura pentru incapere.

Constructia include ferestre cu parti transparente si distribuirea temperaturii odata cu jetul de aer va fi semnificativ influentata de razele soarelui. Rezultatele in urma unui model fix in scopul proiectarii sunt mentionate in (Schmidt, Johannesson 2001).

Un proiect de masuratori in laborator este in prezent in studiu pentru functionarea sistemului mai detaliat si pentru a verifica rezultatele in urma simularii.

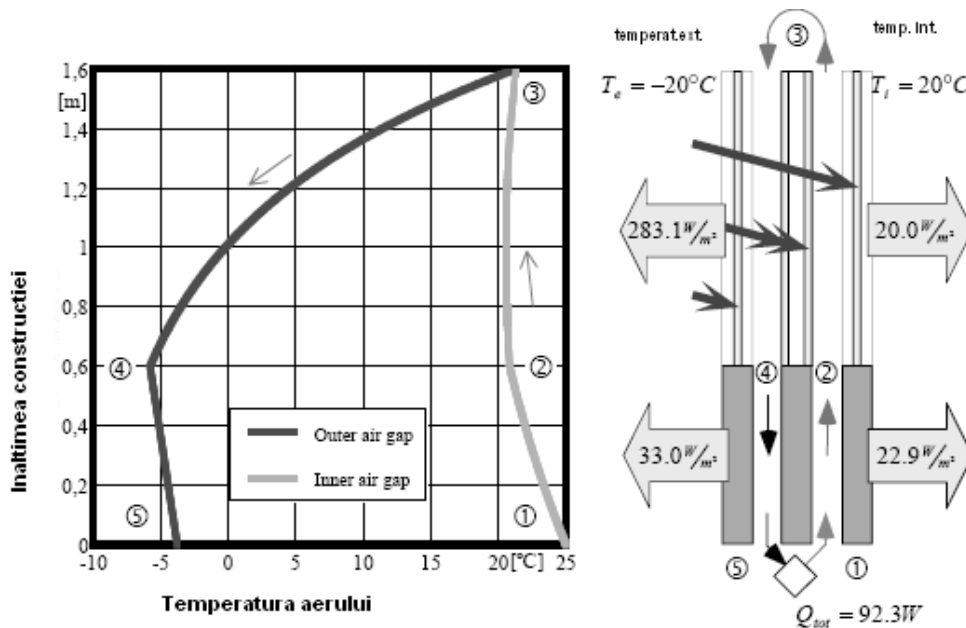


Fig.5.29. Rezultatele obtinute in urma modelului static analitic al unui perete cu vid dublu si executarea ferestrelor cu 4 ochiuri

### 5.5.3.2. Foraj pentru stocarea caldurii

Obiectivul acestui studiu de caz este verificarea proprietatilor dinamice a unei stocari de caldura in pamant cu ajutorul unui foraj prevazut cu asa numita teava C, o teava coaxiala de scurgere (Schmidt 2001). Apa, ca si transportor de caldura, curge descendent in conducta interioara si ascendent in conducta exterioara. Se poate aplica izolatatie intre cele doua cursuri. Terenul este vazut ca o piesa cilindrica a pamantului ( fig. 5.30).

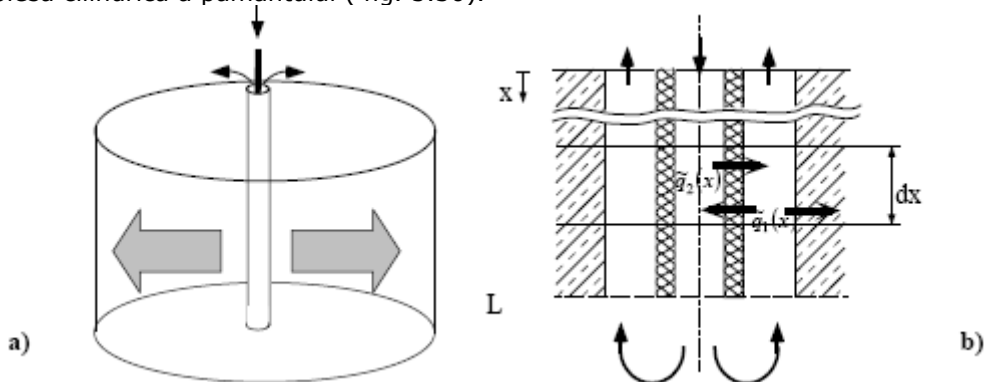


Fig.5.30. Foraj pentru stocare caldura prevazut cu o teava C

### 5.5.3.2.1. Analiza

Analiza s-a realizat din punct de vedere analitic. Proprietățile termice ale perimetrului gaurii de admisie au fost calculate ca și o soluție pentru transmiterea căldurii radiale în cilindre. Funcția transferului de căldură între admisie și scurgere la suprafața terenului au fost modelate ca și un sistem al ecuațiilor diferențiale (Schmidt 2001).

Fig.5.31 prezintă rezultatele analizei pentru toată căldura stocată.

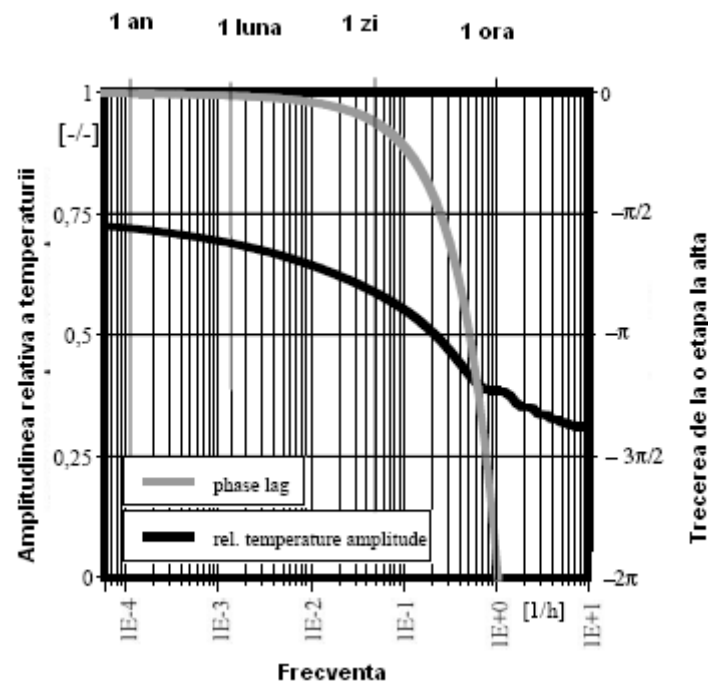


Fig.5.31. Amplitudinea temperaturii la ieșirea din gaura forată față de frecvența temperaturii admise inclusiv schimbul de căldură între țevi  $q_2 \neq 0$ .

### 5.5.3.2.2. Transformarea într-o rețea optimă RC

Când răspunsul frecvenței a fost stabilit se poate dezvolta o rețea optimă RC. Pentru a deriva un model pentru o parte a unui corp cu funcționare pentru frecvențele înalte și joase, este aleasă o rețea „5 noduri jumătate” (Akander 2000).



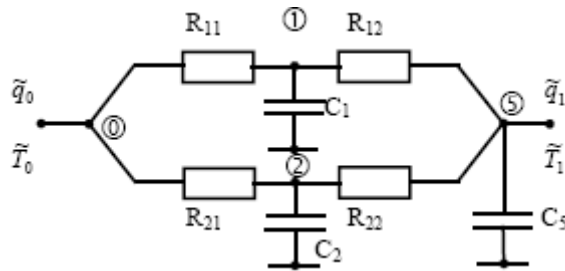


Fig.5.34. O retea RC „5 noduri jumătate” pentru a modela raspunsul termic la suprafata 0 cu un corp cu o limita adiabatica la 1

Incepand de la doua frecvente principale de optimizare (perioada de 1 an si 1 zi) fiecare dintre cele doua paralele, rețelele T (doi rezistori si un capacitor) sunt estimate pentru o buna functionare: una pentru frecventa inalta si alta pentru frecventa joasa. C<sub>5</sub> este dat ca si parte ramasa a capacitatii totale de incalzire. Solutia este imbunatatita printr-un numar de etape ce se repeta. Devierea intre modelul de retea RC optimizata si solutia analitica este estimata pentru un numar de frecvente relevante.

Este aleasa cea mai potrivita configuratie sau stabilire a rezistentei si capacitantei cu cea mai mica eroare de calcul in conformitate cu ecuatia 5.19. Pentru o configuratie se realizeaza o verificare in domeniul frecventei asa cum se arata in Fig. 5.35.

$$Err = \frac{\sum_i^n \left| \frac{Y_{analytic}(\omega_i) - Y_{RC\_configuration}(\omega_i)}{Y_{analytic}(\omega_i)} \right|}{n_{\omega_i}} \quad (5.19)$$

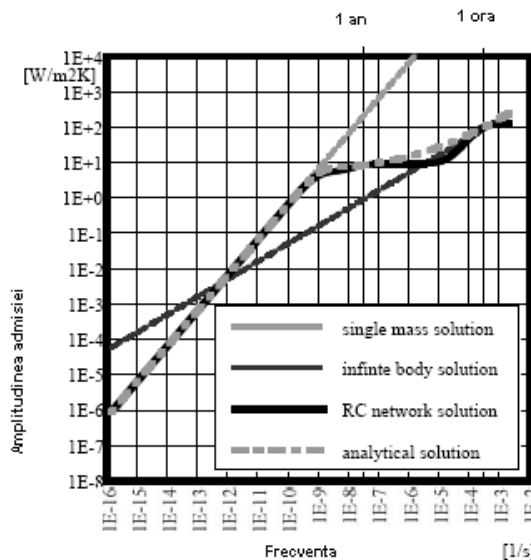


Fig.5.35. Amplitudinea admisiei pentru un perete forat in pamant dand solutia analitica si a Retelei RC si asimptotele pentru masa unica si o linie exteriora nelimitată

Cu acest grup de valori sunt posibile calculatiile R și C în domeniul timpului. Ca și exemplu, rezultatele unei etape a temperaturii la suprafața interioară a tevi este prezentată aici în sfera timpului. Răspunsul temperaturii cu referire la rețeaua „5 noduri jumătate” este prezentată, în conformitate cu fig.5.34. Temperaturile la suprafața și la nodul 0 în scara de timp aleasă sunt aproape egale. Pentru cele două rețele paralele, sunt diferite prezentate pentru frecvența înaltă rețea T (nod 2) și pentru frecvența joasă rețea T (nod 1). Proprietățile masei cu acțiunea redusă în gaura forată sunt modelate la nodul 5.

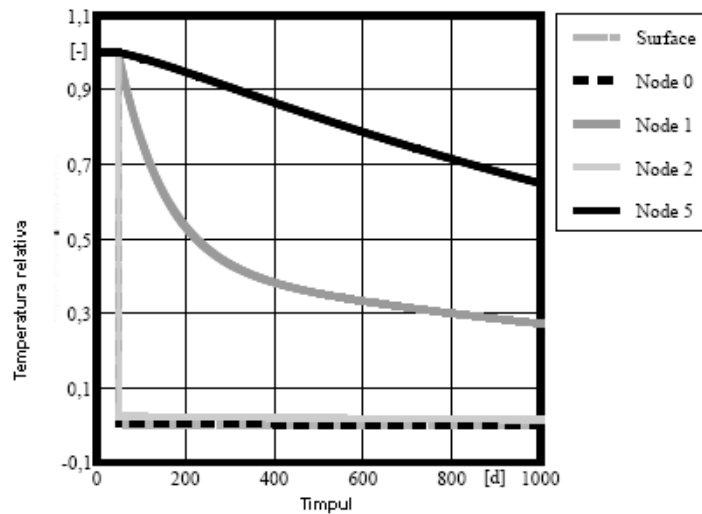


Fig.5.36. Calcularea răspunsului sistemului în domeniul timpului pentru rețeaua optimizată RC a unei temperaturi relativ normale etapă „1” la suprafața.

Pentru transformarea forajului este împărțit într-un număr finit de elemente. Pentru fiecare element, este formulată o matrice a transferului de căldură, racordând rețeaua RC optimizată la masa fluxului din tevi. Folosindu-ne de presupunerea că temperatura peretelui tevi se modifică liniar, odată cu teava, fiecare element poate acoperi o bucată mai mare de foraj. Elementele devin „macroelemente”, numărul necesar de elemente pentru model este redus.

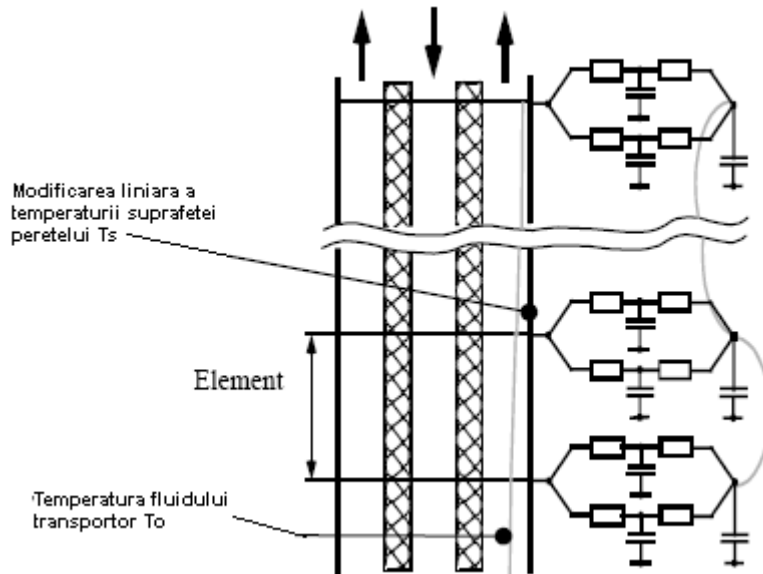


Fig.5.37. Modelul posibilei transformării a metodei macro element model cu 5 noduri jumătate, rețele RC pentru o gaură forată

Modelarea tevii se realizează printr-o balanță a energiei pentru fiecare element. Ca și exemplu balanța transferului de căldură presupunând nici o modificare a căldurii între tevi, rezultă:

$$\frac{\partial T_0(x,t)}{\partial x} - \frac{O \cdot h}{u \cdot \rho \cdot c \cdot A} T_0(x,t) + \frac{1}{u} \frac{\partial T_0(x,t)}{\partial t} = - \frac{O \cdot h}{u \cdot \rho \cdot c \cdot A} T_s(x,t) \quad (5.20)$$

incluzând:  $T_s = a \cdot x + b$  (5.21)

$$T_0(x) = \left[ T_{inlet} - \left( \frac{a}{\frac{O \cdot h}{u \cdot \rho \cdot c \cdot A}} + b \right) \right] \cdot e^{\frac{O \cdot h}{u \cdot \rho \cdot c \cdot A} x} + a \cdot x + \frac{a}{\frac{O \cdot h}{u \cdot \rho \cdot c \cdot A}} \cdot b \quad (5.22)$$

și dacă nu se ține cont de termenul de stocare:

Această transformare a unei găuri forate, o construcție hibridă a clădirii, într-un număr al unei configurații discrete RC, racordat printr-un sistem de ecuații

diferentiale este numita *metoda macro-element*. O soluție pentru ecuațiile simultane pentru transferul de căldură între fluxuri este realizată similar cu soluția pentru realizarea vidului dublu.

#### 5.5.4. Concluzii

Lucrarea introduce o metodă generală pentru secțiunile model cu corpuri bidimensionale împrejmuite de o conductă cu masa flux care poate fi o aplicație atât pentru conductele împământate, cât și pentru componentele hibride de construcție. Se demonstrează, ca rezultatele exacte pot fi obținute cu un număr limitat de noduri necesare. Numărul stabilit de noduri cerut pentru metoda MEM curată calea pentru includerea acestor componente în sisteme de simulare mai generale, într-un mod eficient.

#### 5.5.5. Lista simbolurilor

<u>Simbol</u>	<u>Cantitate</u>	<u>Unitate</u>
$\omega$	Ciclu frecvență	$\frac{1}{s}$
$\rho$	Densitate	$\frac{kg}{m^3}$
$a$	Factor	
$A$	Suprafață	$m^2$
$b$	Factor	
$c$	Capacitate specifică de încălzire	$\frac{J}{Kg \cdot K}$
$C$	Capacitanță	$\frac{J}{m^3 \cdot K}$
$Err$	Eroare, deviere model	-
$i$	Elemente false	-
$L$	Adâncime, lungime foraj	$m$
$m$	Masă	$kg$
$O$	Perimetru	$m$

---

$q$	Flux specific de caldura	$\frac{W}{m^2}$
$Q$	Flux caldura	$W$
$r$	Distanta	$m$
$R$	Rezistenta	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$t$	Timp	$s$
$T$	Temperatura	$K$
$u$	Presiune	$m/s$
$x$	Coordonate amplasament	$m$

**Indici**

$e$	Imprejmuire exterioara
$i$	imprejmuire interioara
$admisie$	admisie
$s$	suprafata
$tot$	Total



## 6. CONTRIBUȚII PERSONALE

### 6.1. Aprecieri generale

Studiile teoretice și experimentale au vizat, în principal, următoarele aspecte:

1. Descrierea complexă a aerogelului de la fabricație și compoziție chimică până la punere în operă ca material de construcție.
2. Crearea unei baze de date aerogel-industria construcțiilor (alcătuire, proprietăți, stadiul realizărilor în domeniu, posibilități de utilizare, soluții viabile etc).
3. Analizarea și confirmarea performanțelor aerogelului ca material de construcție
4. Stabilirea prin măsurători și calcule a performanțelor termice și fonice ale unor produse cu aerogel încorporat, în diverse condiții de aplicare
5. Sinteza stadiului cunoașterii în domeniul construcțiilor cu aerogel încorporat, ca urmare a documentării efectuate. Prezentarea câtorva soluții tehnice ce utilizează aerogelul ca material de construcție existente la ora actuală pe plan mondial
6. Evaluarea soluțiilor cunoscute pe plan mondial ca elemente vitrate de anvelopă
7. Identificarea beneficiilor de utilizare a aerogelului, prin analizarea unor soluții constructive cu ajutorul unor modele și metode de analiză energetică a clădirilor, stabilirea performanțelor tehnice, energetice, ecologice, dar și economice, având în vedere prețul actual ridicat al aerogelului, ale soluțiilor respective
7. Analizarea și confirmarea beneficiilor pe care materialele de construcții ce au în componență aerogeluri le aduc clădirilor, preponderent celor ce au în alcătuire suprafețe vitrate foarte mari.
8. Descrierea și analiza comportării unor clădiri ce au fost reabilitate higrotermic prin încorporare de aerogel în elementele anvelopei
9. Analizarea unor construcții și mecanisme frecvente de degradare termică prin metode și modele matematice. Pe baza evaluării acestor mecanisme se pot determina analitic principalele cauze care duc la apariția acestor probleme.
10. Dezvoltarea cunoașterii științifice în domenii de actualitate prin elaborarea și publicarea a 16 articole științifice și întocmirea a 2 rapoarte de cercetare în domeniul reabilitării higrotermice a clădirilor de locuit.

Pentru concretizarea dezideratelor enumerate anterior, echipa de cercetare a realizat câteva studii de caz și studii experimentale reprezentative pentru punerea în evidență a modului de comportare a clădirilor cu suprafețe vitrate mari din elemente cu aerogel încorporat. Principalele contribuții personale au vizat:

1. Studii experimentale pentru confirmarea performanțelor de izolare termică ale diferitelor tipuri de aerogel. Determinarea conductivității termice  $\lambda$ .
  2. Realizarea unui program experimental pe un cub din policarbonat celular cu aerogel granulat încorporat în pereți (dimensionat și fabricat de autoare) care a condus la punerea în evidență a nivelului ridicat de izolare termică a aerogelului, a inerției sale termice substanțiale, chiar în grosimi mici ale stratului, precum și a aspectelor favorabile determinate de decalajul oscilațiilor de temperatură.
- Studiu de caz: Confecționare cub din panouri celulare de policarbonat cu trei pereți  $g_T=40$  mm,  $g_p=1$  mm. Încorporare aerogel granulat alb-opac cu  $\lambda = 0,018$  W/mK în pereții celulari ai cubului, obținându-se un coeficient de transfer termic calculat  $U=0,54$  W/m<sup>2</sup>K.

S-a studiat comportamentul termic al cubului în condiții de temperatură exterioară variată, dorindu-se simularea unei clădiri supusă diferitelor condiții atmosferice (s-a măsurat evoluția temperaturilor în interiorul și pe fețele laterale ale cubului).

3. Studii de caz în domeniul suprafețelor vitrate pentru acoperișuri și aplicații de calcul pentru evidențierea economiilor de energie și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>,

4. Studii de caz în evaluarea bazată pe performanță și reabilitarea energetică a unor clădiri. Aplicații de calcul cu Metoda Costului Global (MCG).

5. Identificarea unor posibilități de utilizarea aerogelului și produselor din aerogel în reabilitarea termoenergetică a suprafețelor vitrate sau pline ale clădirilor.

În cele ce urmează sunt redată aspectele esențiale din timpul pregătirii elementelor experimentale și din timpul încercărilor propriu-zise. Sunt prezentate observații cu privire la comportarea fiecărui element încercat, insistându-se asupra efectelor înregistrate.

Interpretarea rezultatelor încercărilor experimentale constă în analiza detaliată a rezultatelor experimentale obținute și formularea concluziilor. Sunt prezentate tabele și diagrame semnificative care caracterizează comportarea elementelor încercate, făcându-se o comparație grafică și valorică a principalelor caracteristici de rezistență a elementelor studiate, și a temperaturilor înregistrate pe parcursul măsurătorilor.

## 6.2. Analizarea și confirmarea performanțelor aerogelului compact



Fig.6.1. Aerogel compact (airglass)

Determinările experimentale au condus la următoarele observații:

Tab.6.1. Caracteristici aerogel compact	Dimensiuni placă	7.00x7.00 cm
	Arie placă	~50 cm <sup>2</sup>
	Grosime placă	~1.4 cm
	Volum placă	~70 cm <sup>3</sup>
	Masă totală placă	~11.5 g
	Densitate placă	(0.16 – 0.17) gcm <sup>-3</sup>
	Tip aerogel	hidrofil
	Viteză sunet	~190 m/s
	Rel. dielectrical constant, $\epsilon_r$	1.07
	Conductivitatea termică, $\lambda$	0.017 W/mK
	Conținutul de dioxid de siliciu	~99.9%
	Indice de refracție	~1.033
	Radiație Rayleigh	Lumină albăstruie
	Dimensiune medie a granulelor	5 – 10 nm
Dimensiune medie a porilor	20 – 30 nm	



- Aerogelurile compacte aparțin familiei materialelor solide nanoporoase-mărimea porilor unui aerogel se situează în domeniul aproximativ 10 nm, porozitatea depășind 95% ceea ce face să fie materialul solid cel mai ușor din lume.



Fig.6.2. Aspectul de fum înghețat al aerogelului compact

- Aerogelul compact are aspectul unui fum înghețat
- Este translucid, arată precum sticla și are compoziția chimică asemănătoare, dar e de peste 1000 ori mai ușor
- Materialul poate transmite aproximativ 80% din spectrul solar (grosimea 10 mm); lumina transmisă este dispersată uniform.



Fig.6.3. Radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală

- Conținând 95% aer el este transparent. Culoarea este dată de dispersia Rayleigh alungimilor de undă scurte a luminii vizibile prin structura dendritică nanodimensională. Radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală
- Aerogelurile compacte sunt hidrofile, dar prin tratamente chimice pot deveni hidrofobe.



Fig.6.4. Conductivitatea termică a aerogelului compact atinge valori excepționale

- Conductivitatea termică atinge valori excepționale  $\lambda \approx 0.017 \text{ W/mK}$  ,
- Chiar dacă fabricația are ca material de bază cuarțul, aerogelul are o greutate de 70 - 200 de  $\text{kg/m}^3$  pe litru. Conținutul scăzut de solide și dimensiunea porilor îl face extrem de eficient la transferul de căldură prin conducție și convecție.
- Sunt foarte stabile chimic, netoxice, noncombustibile și rezistă la degradare UV.

### 6.3. Analizarea și confirmarea performanțelor aerogelului granulat opac



Fig.6.5. Aerogel granulat (nanogel)

- Nanogelul (aerogelul granulat) este o particulă de siliciu amorf de 0,5 la 4 mm în diametru, care conține pori de dimensiuni nanometrice astfel că peste 90% la sută din volumul său este ocupat de aer,
- Nanogelul este hidrofob



Fig.6.6. Aerogelul granulat este hidrofob



Fig.6.7. Aerogelul granulat este hidrofob, iar cel compact hidofil

Fig.6.8. Radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală

- o Conținând peste 90% aer aerogelul granulat este semitransparent. Culoarea este dată de dispersia Rayleigh a lungimilor de undă scurte a luminii vizibile prin structura dendritică nanodimensională. Radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală



Fig.6.9. Aerogelul granulat nu este inflamabil și rezistă la temperaturi foarte înalte

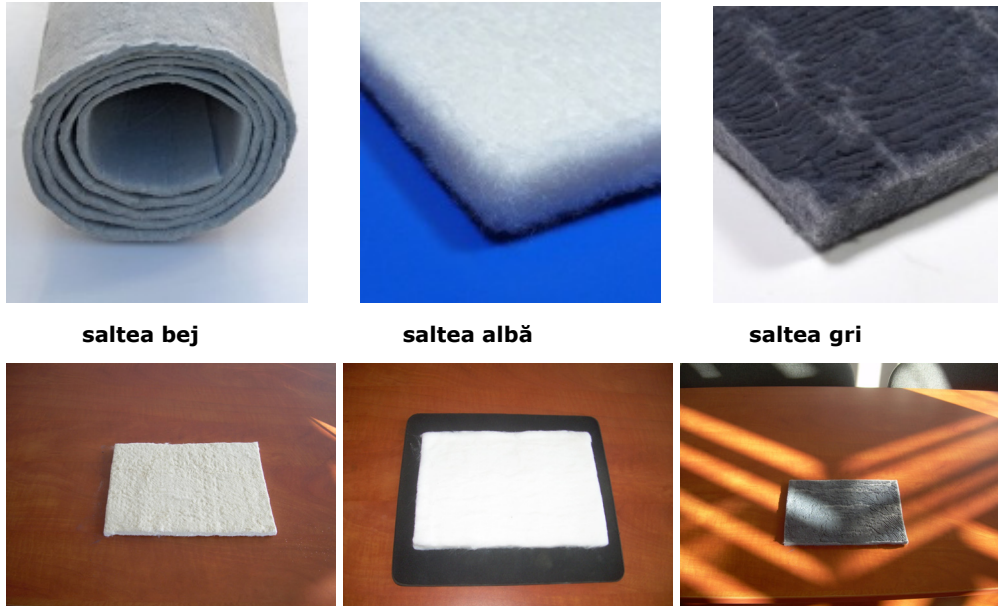
- nu sunt inflamabile și rezistă la temperaturi foarte înalte
- punctul de topire se situează la cca 1200°C



Fig.6.10. Aerogelul granulat nu este inflamabil și rezistă la temperaturi foarte înalte

<b>Fișă de observație aerogel granulat alb opac</b>	
<b>Proprietăți</b>	<b>Date tehnice</b>
Culoare	Alb, opac
Conductivitate termică	0.018 W/mK
Densitate	120 kg/m <sup>3</sup>
Comportare la umiditate	Foarte bună (Superhidrofob)
Permeabilitate la vapori	2-3 μ
Comportare la foc	B1
Stabilitate termică	-200°C/+200 °C
Tab.6.2. Caracteristicile aerogelului granulat	

## 6.4. Analizarea și confirmarea performanțelor saltelelor din aerogel



saltea bej

saltea albă

saltea gri

Fig.6.11. Diferite tipuri de saltele flexibile din aerogel

### 6.4.1. Saltea flexibilă de aerogel bej



Fig.6.12. Saltea flexibilă din aerogel bej



Fig.6.13. Determinarea conductivității saltelei de aerogel bej

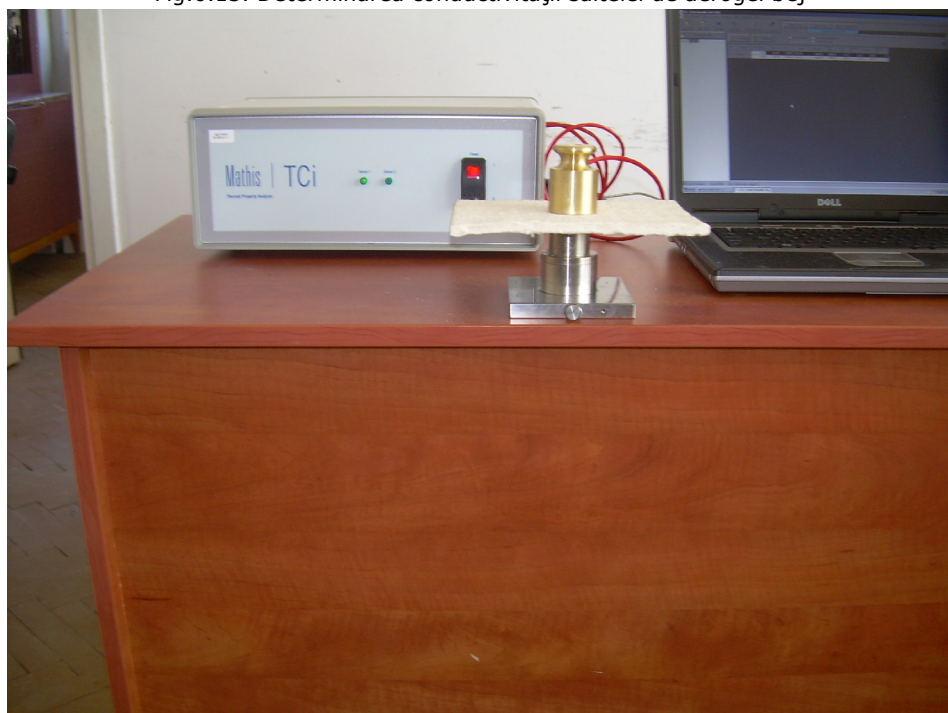


Fig.6.14. Determinarea conductivității saltelei de aerogel bej



Fig.6.15.Studierea comportamentului la foc a saltelei de aerogel bej

Fișă de observație saltea aerogel bej	
Date tehnice	Valoare
Culoare	Bej mat
Grosime	10 mm
Culoare	Bej
Conductivitate termică	0.013 W/mK
Comportare la umiditate	Hidrofob
Permeabilitate la vapori	5,5 $\mu$
Densitate	318 kg/m <sup>3</sup>
Permeabilitate la aer	Da
Comportare la foc	B1
Stabilitate termică	-200°C/+200 °C
Temperatura maximă de punere în operă	+650°C
Temperatura minimă de punere în operă	-40°C
Rezistența la compresiune	70 KPa
Tab.6.3. Caracteristici aerogel compact	

Temper [°C]	25	100	200	300	400	500	600
Conduct. termică $\lambda$ [W/mK]	0,013	0,023	0,028	0,035	0,046	0,064	0,089
Tab.6.4. Conductivitatea saltelei de aerogel bej la diferite temperaturi							

### 6.4.2. Saltea flexibilă de aerogel albă



Fig.6.16. Saltea flexibilă din aerogel albă



Fig.6.17. Saltea flexibilă din aerogel albă



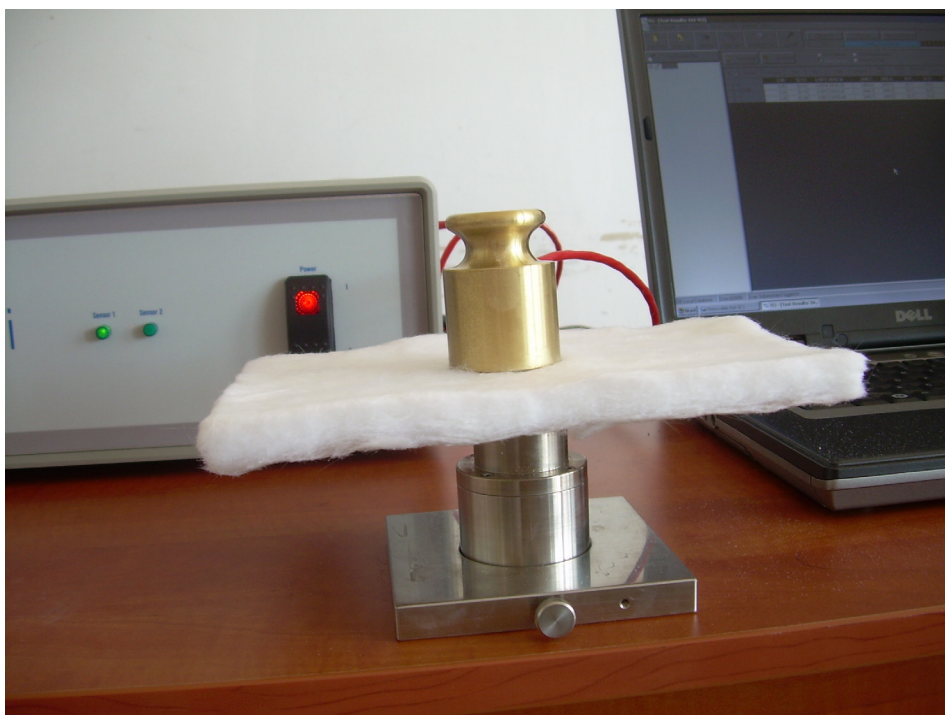


Fig.6.18. Determinarea conductivității saltelei de aerogel albă



Fig.6.19. Determinarea conductivității saltelei de aerogel albă

<b>Fișă de observație saltea aerogel albă</b>	
<b>Date tehnice</b>	<b>Valoare</b>
Culoare	Alb mat
Grosime	10 mm
Conductivitate termică	0.013 W/mK
Comportare la umiditate	Hidrofob
Permeabilitate la vapori	5,5 $\mu$
Densitate	164 kg/m <sup>3</sup>
Permeabilitate la aer	Da
Comportare la foc	B1
Stabilitate termică	-200°C/+200 °C
Rezistența la compresiune	70 KPa
Tab.6.5. Caracteristici saltea aerogel albă	

#### 6.4.3. Saltea flexibilă de aerogel gri



Fig.6.20. Saltea flexibilă din aerogel gri

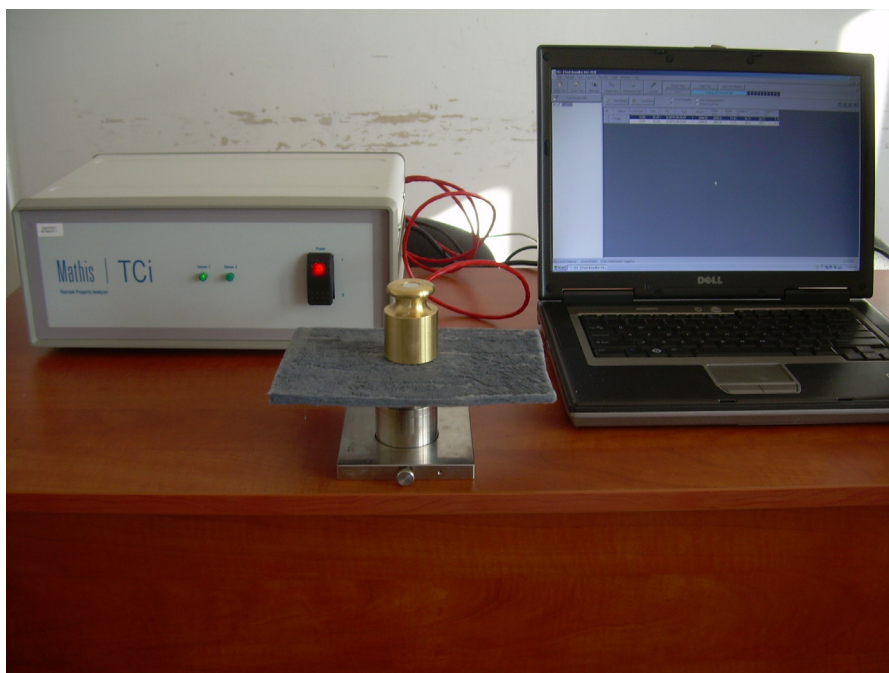


Fig.6.21. Determinarea conductivității saltelei de aerogel gri



Fig.6.22. Determinarea conductivității saltelei de aerogel gri

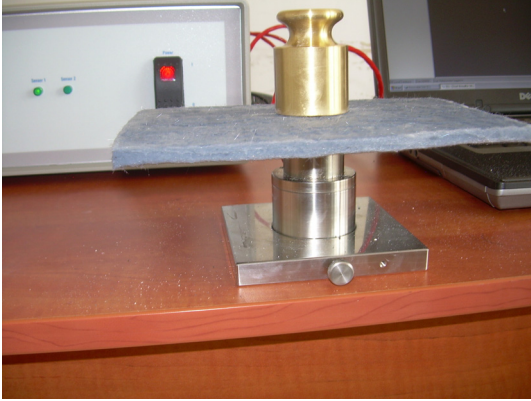


Fig.6.23. Senzor determinare conductivitate

<b>Fișă de observație saltea aerogel gri</b>	
<b>Date tehnice</b>	<b>Valoare</b>
Culoare	Gri mat
Grosime	10 mm
Conductivitate termică	0.013 W/mK
Comportare la umiditate	Hidrofob
Permeabilitate la vapori	5,5 $\mu$
Densitate	180 kg/m <sup>3</sup>
Permeabilitate la aer	Da
Comportare la foc	A2 după EN 13501-1
Stabilitate termică	-200°C/+200 °C
Temperatura maximă de punere în operă	+650°C
Temperatura minimă de punere în operă	-40°C
Rezistența la compresiune	70 KPa
Tab.6.6. Caracteristici saltea aerogel gri	

<b>Temper [°C]</b>	25	100	200	300	400	500	600
<b>Conduct. termică <math>\lambda</math> [W/mK]</b>	0,013	0,023	0,028	0,035	0,046	0,064	0,089
Tab.6.7. Conductivitatea saltelei de aerogel gri la diferite temperaturi							

## 6.5. Concluzii

În urma studiilor teoretice și practice asupra diferitelor tipuri de aerogel sau saltele cu aerogel, efectuate parțial în cadrul Laboratorului de fizica construcțiilor al Departamentului de Construcții Civile și parțial la laboratoare ale unor firme din Germania, au fost confirmate următoarele aspecte:

- Aerogelurile aparțin familiei materialelor solide nanoporoase-mărima porilor unui aerogel se situează în domeniul aproximativ 10 nm, porozitatea depășind 95% ceea ce face să fie materialul solid cel mai ușor din lume.
- Nanogel (aerogelul granulat) este o particulă de siliciu amorf de 0,5 la 4 mm în diametru, care conține pori de dimensiuni nanometrice astfel că peste 90% la sută din volumul său este ocupat de aer,
- aerogelurile sunt translucide, arată precum sticla și au compoziția chimică asemănătoare, dar sunt de peste 1000 ori mai puțin dense ( 1,9 mg/cm<sup>3</sup> - aerogel record, 2,2 g/cm<sup>3</sup>-sticla de siliciu , 1,2 mg/cm<sup>3</sup>- aerul )
- au aspectul unui fum înghețat
- conductivitatea termică  $\lambda \approx 0.004 - 0.020 \text{ W/mK}$  , în funcție de tipul aerogelului sau de proporția în care este încorporat în materialele compozite
- nu sunt toxice
- nu sunt inflamabile și rezistă la temperaturi foarte înalte
- punctul de topire se situează la cca 1200°C
- din punct de vedere chimic aerogelul este compus din cuarț și o mare cantitate de aer, ceea ce îl face fragil. Totuși poate să reziste la o greutate mai mare de 2000 ori decât greutatea proprie, fără să intre în colaps.
- Conținând 95% aer el este transparent. Culoarea este dată de dispersia Rayleigh a lungimilor de undă scurte a luminii vizibile prin structura dendritică nanodimensională. Radiația Rayleigh conduce la o transparență albastruie pe un fond întunecat, un fond alb determină o transparență pală
- Materialul poate transmite aproximativ 80% din spectrul solar (grosimea 10 mm);lumina transmisă este dispersată uniform.
- Din cauza naturii sale higroscopice, aerogelul se simte uscat și acționează ca un deshidratant puternic. Persoanele care manipulează timp îndelungat aerogelul, trebuie să poarte mănuși de protecție pentru a evita deshidratarea mâinilor.
- Aerogelurile compacte sunt hidrofile, dar prin tratamente chimice pot deveni hidrofobe.
- Nanogelul și saltelele de aerogel sunt hidrofobe
- Chiar dacă fabricația are ca material de bază sticla, aerogelurile au o greutate de 70 - 200 kg/m<sup>3</sup>. Conținutul scăzut de solide și dimensiunea porilor le face extrem de eficiente la transferul de căldură prin conducție și convecție.
- Aerogelul este foarte stabil chimic, netoxic, noncombustibil și rezistă la degradare UV.
- respinge apa, fiind un material hidrofob și nu facilitează dezvoltarea de mușegăi.
- Fiind foarte inert, aerogelul poate fi recuperat și refolosit, la sfârșitul duratei de viață utilă pentru a începe o viață nouă în multe aplicații posibile.
- Aerogelul cel mai recomandat pentru utilizare în construcții este silico-aerogelul cu adaos de carbon, deoarece carbonul absoarbe radiațiile infraroșii în transferul de căldură :  $\lambda = 0,018 \text{ W/mK}$  la 25°C .

- Saltelele flexibile de aerogel prezintă proprietăți excepționale de izolare termică, chiar și în grosimi foarte mici ale stratului (10 mm):  $\lambda = 0,013$  W/mK la 25°C. Porii minusculi în nanostructura dioxidului de siliciu contribuie esențial în acest aspect, precum și la atingerea unei densități extrem de reduse (150-300 kg/m<sup>3</sup>). În egală măsură este pozitiv influențat nivelul de izolare fonică al materialului și permeabilitatea la aer și vapori.
- Saltelele sunt superhidrofobe și prin aceasta resping orice formă de umiditate, stabile la temperaturi înalte și rezistente în timp
- Impregnarea cu grafit a saltelelor gri are ca scop îmbunătățirea performanțelor de izolare și stabilității la temperaturi înalte

Având în vedere toate aceste aspecte, am considerat că ar prezenta un deosebit interes aflarea răspunsurilor la câteva întrebări esențiale :

Care este impactul aerogelului asupra elementelor de construcție din beton armat, din zidărie, material plastic sau metal? Sunt suprafețele vitrate cu aerogel încorporat o alternativă mult superioară suprafețelor vitrate tradiționale din sticlă sau policarbonat ?Ce efecte ar putea avea introducerea aerogelului granulat în beton sau mortar ?Care sunt avantajele și dezavantajele soluțiilor cu aerogel încorporat? Ar putea fi izolațiile cu aerogel un răspuns la problemele de condens ale clădirilor? Sunt ele o soluție în realizarea casei pasive?

Pentru a găsi răspunsuri la toate aceste întrebări am realizat și le descriem , în cele ce urmează, o serie de studii de caz, experimentale și teoretice, precum și câteva analize ale unor construcții în care s-au folosit efectiv în reabilitarea higrotermică, chiar dacă doar timid, anumite elemente de construcție cu aerogel încorporat.

## 6.6. Studiu de caz: cub

Studiu de caz:

- Confecționare cub din panouri celulare de policarbonat cu trei pereți,  $g_T=40$  mm,  $g_p=1$  mm,
- Încorporare aerogel granulat alb-opac :  $\lambda = 0,018$  W/m.K
- **$U=0,54$  W/m<sup>2</sup>K**
- Pentru punerea în evidență a pierderilor de căldură capacul cubului a fost umplut superficial cu aerogel și compactat doar ușor

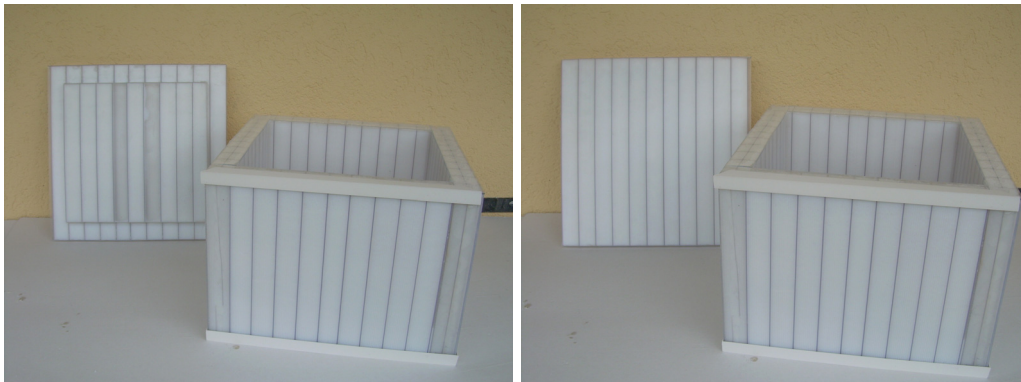


Fig.6.24. Cub din panouri celulare de policarbonat cu nanogel alb opac încorporat



Fig.6.25. Cub din panouri celulare de policarbonat cu nanogel alb opac încorporat

- S-a studiat comportamentul termic al cubului în condiții de temperatură exterioară variate, dorindu-se simularea unei clădiri supusă diferitelor condiții atmosferice (s-a măsurat evoluția temperaturilor în interiorul și pe fețele laterale ale cubului).

Experimentul a demonstrat nivelul ridicat de izolare termică a aerogelului, inerția sa termică chiar și în grosimi mici ale stratului, precum și decalajul oscilațiilor de temperatură, foarte important în asigurarea confortului în interiorul clădirilor.



Fig.6.26. Studiarea comportamentului termic al cubului în diferite condiții de temperatură

Experiment banal în aparență, el a oferit dacă nu răspunsuri certe, cel puțin câteva repere de orientare importante la câteva întrebări esențiale ce preocupă specialiștii în construcții:

1. Ce alternative se pot dezvolta pentru suprafețele vitrate din sticlă sau policarbonat care să elimine efectele negative ale încălzirii sau răcirii, dar care să nu afecteze efectele benefice ale utilizării luminii naturale în clădire?
2. Ce posibilități de îmbunătățire a performanțelor de izolare termică a tâmplăriei se pot dezvolta?
3. Ce soluții pentru eliminarea condensului mai pot fi adoptate?
4. Sunt izolațiile cu aerogel o posibilitate în realizarea casei pasive?

5.Cum se comportă în exploatare o clădire cu suprafețe vitrate mari în care s-a încorporat aerogel?Ce avantaje aduce față de cea cu suprafețe vitrate obișnuite?

### 6.6.1. Pregătirea experimentului

Pregătirea experimentului, constând în confecționarea cubului din plăci celulare de policarbonat cu grosimea de 40 mm, umplerea sa cu aerogel granulat alb opac, compactarea și parte din măsurători s-au efectuat în hala de producție și laboratorul de cercetare ale firmei Brücker-KG din Bad Camberg, Germania.



Fig.6.27. Operații pregătitoare

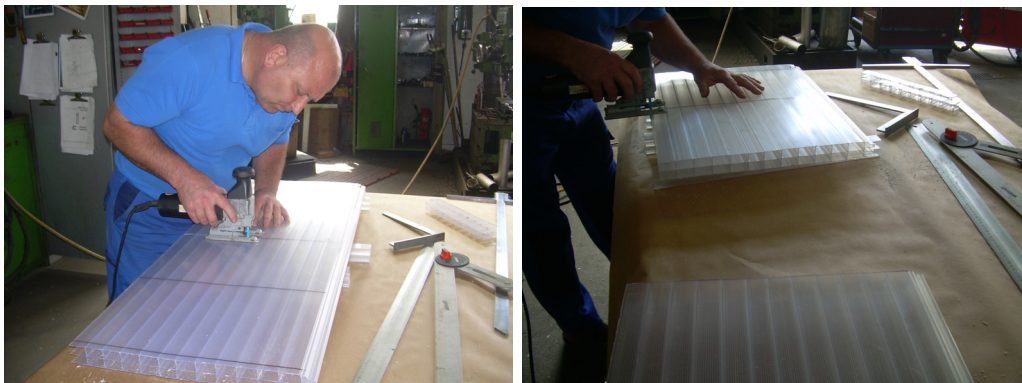


Fig.6.28. Tăierea panourilor din policarbonat





Fig.6.29. Montarea cubului



Fig.6.31. Montarea cubului

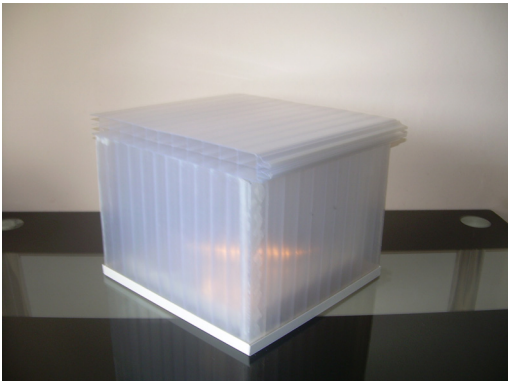


Fig.6.32. Montarea cubului

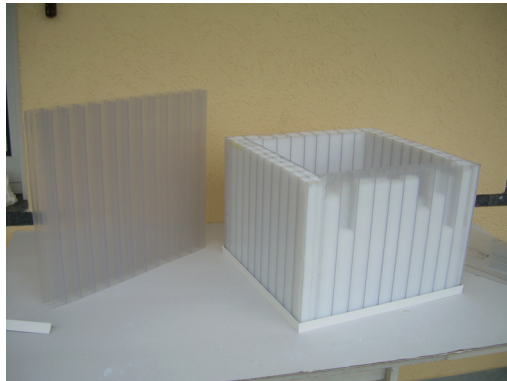


Fig.6.33. Umplerea cubului cu nanogel

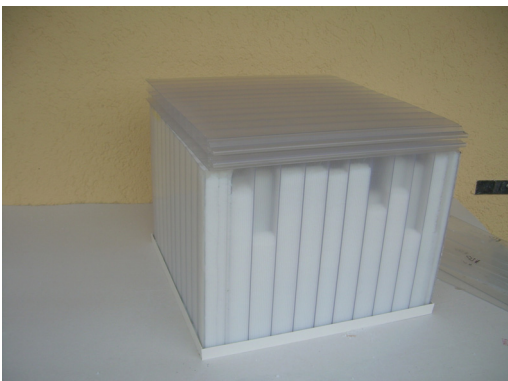


Fig.6.34. Umplerea cubului cu nanogel granulat alb opac și compactarea



### 6.6.2. Desfășurare experiment

Studiul comportare termică cub policarbonat: a fost analizată evoluția temperaturii în interiorul și pe fețele laterale ale cubului în condiții diferite de temperatură exterioară. S-a studiat cubul atât neumplut cu aerogel (doar policarbonat) , cât și după umplerea fețelor cu aerogel granulat (nanogel). De asemenea s-a analizat pentru relevanța comparației, comportamentul unui cub din sticlă obișnuită și variația temperaturii în vecinătatea unei suprafețe vitrate din sticlă termoizolatoare.

#### 6.6.2.1. Studiu cub neumplut

Studiul temperaturilor interioare: cubul cu pereții neumpluți cu nanogel a fost analizat în condiții de temperatură diferite.

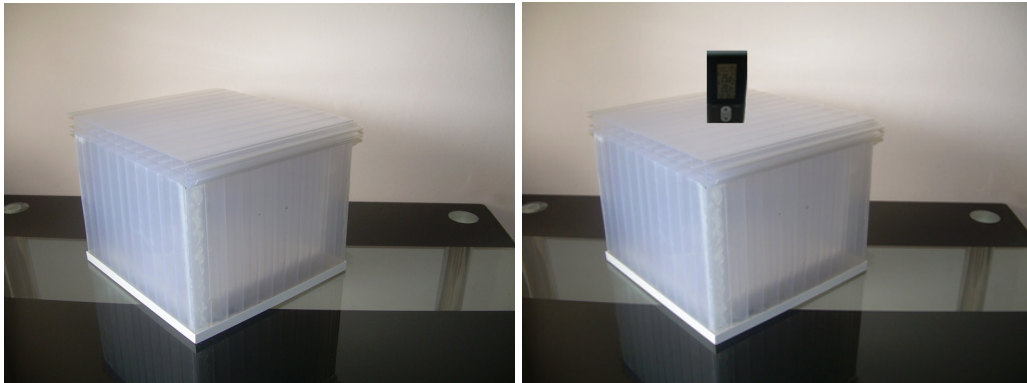


Fig.6.35. Studiul comportamentului termic al cubului din policarbonat neumplut cu nanogel în diferite condiții de temperatură

##### 6.6.2.1.1 Temperatură exterioară negativă constantă

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
16 <sup>00</sup>	-25	+20
16 <sup>15</sup>	-25	+ 6
16 <sup>30</sup>	-25	- 5
16 <sup>45</sup>	-25	- 11
17 <sup>00</sup>	-25	- 14
17 <sup>15</sup>	-25	- 17
17 <sup>30</sup>	-25	- 20
18 <sup>30</sup>	-25	- 25

Tab.6.8. Comportament termic cub

#### Concluzii:

- o Introdus și menținut la o temperatură constantă de -25 °C, din cauza inerției termice reduse a policarbonatului și nivelului scăzut de izolare termică, temperatura în interior a scăzut rapid încă din primele 15 minute, în aproximativ 2 ore și jumătate atingând temperatura mediului exterior

## 6.6.2.1.2 Temperatură exterioară pozitivă constantă

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
18 <sup>30</sup>	+35	-25
18 <sup>45</sup>	+35	-12
19 <sup>00</sup>	+35	- 2
19 <sup>15</sup>	+35	+11
19 <sup>30</sup>	+35	+ 18
19 <sup>45</sup>	+35	+27
20 <sup>00</sup>	+35	+30
20 <sup>30</sup>	+35	+35
21 <sup>30</sup>	+35	+38
22 <sup>30</sup>	+35	+40
23 <sup>30</sup>	+35	+40,5
6 <sup>30</sup>	+35	+42
18 <sup>30</sup>	+35	+44

Tab.6.9. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- o Introdus și menținut la o temperatură constantă de +35 °C, cubul înghețat se încălzește rapid în primele 2 ore, atingând în acest interval scurt temperatura mediului exterior,
- o Chiar la o temperatură exterioară constantă, temperatura în interiorul cubului crește în continuare, din cauza efectului de seră, la început lent cu aproximativ 5-6 grade în 3 ore, apoi, aproape nesemnificativ, cu 3-4 grade în 19 ore.
- o Creșterea rapidă a temperaturii interioare, la fel ca și scăderea în cazul anterior, demonstrează inerția termică redusă a panourilor celulare din policarbonat, ceea ce conduce la un efect negativ al unei astfel de soluții asupra confortului termic în spațiul adiacent

## 6.6.2.1.3 Temperatură exterioară pozitivă alternativă

Supus unor temperaturi exterioare pozitive variabile (alternativ însorire puternică-înnorare) cubul a prezentat următorul comportament:

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
9 <sup>00</sup>	+23,6	+25,3
11 <sup>30</sup>	+33,2	+36,1
12 <sup>00</sup>	+28,9	+34,1
12 <sup>30</sup>	+23,1	+29,1
12 <sup>45</sup>	+20,5	+25,9
13 <sup>00</sup>	+17,9	+23,4
13 <sup>30</sup>	+21,2	+23,8
14 <sup>00</sup>	+24,1	+25,9
15 <sup>00</sup>	+32,3	+39,8
16 <sup>30</sup>	+21,8	+27,8
17 <sup>00</sup>	+23,1	+27,3
18 <sup>30</sup>	+18,5	+23,7
19 <sup>00</sup>	+19,2	+21,2
19 <sup>30</sup>	+16,2	+18,3

Tab.6.10. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- Temperatura la interior este permanent cu 3-6 grade C mai ridicată decât temperatura exterioară, ceea ce în sezonul cald constituie un dezavantaj
- Creșterile de temperatură exterioare se transmit rapid la interior, scăderea temperaturii interioare se produce, însă, foarte lent, chiar la o scădere a temperaturii exterioare cu 4-5 grade C. Acest fenomen, în condiții reale și pe vreme caldă, are un efect foarte negativ asupra confortului termic al ocupanților spațiului respectiv.

## 6.6.2.1.4 Temperatură exterioară pozitivă crescătoare

Ora	Temperatura la fața exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
8 <sup>00</sup>	+13,0	+13,0
9 <sup>00</sup>	+25,5	+29,6
12 <sup>30</sup>	+29,9	+36,5
12 <sup>45</sup>	+33,3	+39,9
13 <sup>00</sup>	+30,5	+38,9
14 <sup>45</sup>	+28,0	+38,0
16 <sup>00</sup>	+25,1	+33,7

Tab.6.11. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- Supus la temperaturi exterioare pozitive crescătoare, temperatura la interior crește, din cauza efectului de seră, ajungând cu 4-10°C mai ridicată decât cea exterioară într-un interval foarte scurt de timp (4-5 ore). Aspectul cel mai defavorabil constă în încălzirea rapidă și răcirea lentă a spațiului. Nu se poate beneficia de efectele pozitive ale decalajului oscilațiilor de temperatură la interior. Efect negativ asupra confortului termic

## 6.6.2.2. Studiu cub de sticlă obișnuită

Pentru relevanța comparației s-a procedat și la studierea temperaturilor interioare pentru un cub din sticlă obișnuită, cu grosimea pereților tot de 40 mm, care a fost analizat în condiții de temperatură similare cubului din policarbonat celular fără aerogel încorporat.

Fig.6.36. Cub de sticlă obișnuită  $g_{\text{pereți}}=40$  mm

## 6.6.2.2.1 Temperatură exterioară negativă constantă

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
20 <sup>00</sup>	-25	+20
20 <sup>15</sup>	-25	+ 4
20 <sup>30</sup>	-25	- 1
21 <sup>00</sup>	-25	- 10
21 <sup>15</sup>	-25	- 17
21 <sup>30</sup>	-25	- 23
21 <sup>45</sup>	-25	-25

Tab.6.12. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- o Introdus și menținut la o temperatură constantă de -25 °C, din cauza inerției termice aproape inexistentă, temperatura în interior a scăzut încă din primele 15 minute cu 21 grade, în mai puțin de 2 ore atingând temperatura mediului exterior

## 6.6.2.2.2 Temperatură exterioară pozitivă constantă

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
21 <sup>45</sup>	+35	-25
22 <sup>00</sup>	+35	-10
22 <sup>15</sup>	+35	- 1
22 <sup>30</sup>	+35	+16
22 <sup>45</sup>	+35	+ 28
23 <sup>00</sup>	+35	+32
23 <sup>15</sup>	+35	+36
00 <sup>30</sup>	+35	+41
1 <sup>30</sup>	+35	+45
2 <sup>30</sup>	+35	+46
3 <sup>30</sup>	+35	+46,5
6 <sup>30</sup>	+35	+48
21 <sup>45</sup>	+35	+48

Tab.6.13. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- o Introdus și menținut la o temperatură constantă de +35 °C, cubul înghețat se încălzește rapid în prima oră, depășind, în mai puțin de 1 oră și jumătate, temperatura mediului exterior
- o Chiar la o temperatură exterioară constantă, temperatura în interiorul cubului crește în continuare, din cauza efectului de seră, în primele 2 ore cu 5-6 grade pe oră, apoi lent cu 0,5-1 grad în următoarele 4-5 ore
- o După aproximativ 6 ore de menținere a cubului la temperatură constantă +35 °C, temperatura la interior este cu 13-14 grade mai ridicată
- o Creșterea rapidă a temperaturii interioare, la fel ca și scăderea în cazul anterior, demonstrează inerția termică aproape inexistentă a sticlei și influența nefavorabilă a efectului de seră, ceea ce conduce la un efect termic extraordinar de negativ al unei astfel de soluții asupra confortului spațiului adiacent

Ilustrând transpunerea experimentului în realitate, putem concluziona că acest efect termic neplăcut are loc într-o zi de vară, în spatele unei ferestre precum cea din figura de mai jos, supusă însoririi puternice timp de câteva ore.



Fig.6.37. Fereastră cu geam obișnuit

#### 6.6.2.2.3 Temperatură exterioară pozitivă variabilă

Ora	Temperatura la fața exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
11 <sup>30</sup>	+40,1	+35,6
13 <sup>00</sup>	+29,1	+31,7
16 <sup>00</sup>	+45,5	+47,9
16 <sup>30</sup>	+39,6	+47,3
17 <sup>00</sup>	+41,0	+47,7
18 <sup>00</sup>	+27,2	+35,7
19 <sup>00</sup>	+23,4	+27,8

Tab.6.14. Comportament termic cub

#### Concluzii:

- o Supus unor temperaturi exterioare pozitive variabile (alternativ însorire puternică-înnorare) în cubul de sticlă s-au înregistrat în toată perioada observării temperaturi cu 2-8°C mai ridicate decât cele exterioare, fenomen care, în condiții reale de locuire în sezonul cald, are un efect foarte negativ asupra confortului termic al ocupanților spațiului respectiv. Nu se poate beneficia de efectele pozitive ale decalajului oscilațiilor de temperatură la interior

## 6.6.2.2.4 Temperatură exterioară pozitivă crescătoare

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
11 <sup>00</sup>	+34,4	+30,6
12 <sup>00</sup>	+34,8	+40,3
13 <sup>00</sup>	+39,5	+49,8
15 <sup>00</sup>	+43,6	+51,3
16 <sup>00</sup>	+41,5	+50,1
17 <sup>00</sup>	+34,8	+40,1
18 <sup>30</sup>	+29,9	+35,6
19 <sup>30</sup>	+26,6	+33,0

Tab.6.15. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- o Supus la temperaturi exterioare pozitive crescătoare, temperatura la interior crește foarte mult și foarte repede, din cauza efectului de seră, ajungând cu 8-10°C mai ridicată decât cea exterioară într-un interval foarte scurt de timp (1-2 ore). Aspectul cel mai defavorabil constă în încălzirea rapidă și răcirea lentă a spațiului. Nu se poate beneficia de efectele pozitive ale decalajului oscilațiilor de temperatură la interior. Efect negativ asupra confortului termic

## 6.6.2.3. Studiu cub umplut cu aerogel granulat alb opac

## 6.6.2.3.1 Temperatură exterioară negativă constantă

Studiu termic (temperaturi interioare): Cub policarbonat umplut cu aerogel granulat alb-opac la temperatură exterioară negativă foarte scăzută (cub încălzit)

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
9 <sup>00</sup>	-25	+16,8
9 <sup>30</sup>	-25	+16,6
10 <sup>00</sup>	-25	+13,9
10 <sup>30</sup>	-25	+10,6
11 <sup>00</sup>	-25	+ 8,7
11 <sup>30</sup>	-25	+ 3,7
12 <sup>30</sup>	-25	+ 1,5
14 <sup>30</sup>	-25	- 8,7
15 <sup>30</sup>	-25	- 11,7
16 <sup>30</sup>	-25	-13,4
17 <sup>30</sup>	-25	-16,2
18 <sup>30</sup>	-25	-17,8
20 <sup>00</sup>	-25	-18,7
<b>22<sup>30</sup></b>	-25	<b>-18,6</b>
<b>6<sup>30</sup></b>	-25	<b>-20,4</b>
<b>7<sup>30</sup></b>	-25	<b>-20,6</b>
9 <sup>00</sup>	-25	-21,2

Tab.6.16. Comportament termic cub

*Concluzii:*

- o Temperatura în interior scade lent în primele 3 ore, mai rapid în următoarele 5, dar chiar după 24 ore, temperatura la interior se menține mai ridicată cu aprox.4°C decât la exterior

## 6.6.2.3.2 Temperaturi exterioare pozitive, foarte puțin variabile

Studiu termic (temperaturi interioare): Cub policarbonat umplut cu aerogel alb-opac la temperaturi exterioare pozitive ridicate, foarte puțin variabile.



Fig.6.38. Studiu termic cub cu nanogel încorporat

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
8 <sup>00</sup>	+23,3	+23,3
8 <sup>30</sup>	+31,6	+24,7
9 <sup>00</sup>	+32,2	+25,8
9 <sup>30</sup>	+33,1	+27,0
10 <sup>30</sup>	+33,5	+29,5
12 <sup>00</sup>	+34,1	+30,2
13 <sup>00</sup>	+33,9	+31,4
14 <sup>00</sup>	+33,7	+32,2
14 <sup>30</sup>	+34,0	+32,4
15 <sup>30</sup>	+33,7	+32,8
17 <sup>30</sup>	+33,4	+33,0
19 <sup>00</sup>	+32,9	+32,9

Tab.6.17. Comportament termic cub

**Concluzii:**

- Temperatura în interior este permanent mai mică decât temperatura exterioară
- Abia după cca 6 ore temperaturile tind să se echivaleze, dar chiar și atunci cele interioare nu le depășesc pe cele exterioare



## 6.6.2.3.3 Temperaturi exterioare pozitive variabile (alternativ însorire+înnorare).

Studiu termic (temperaturi interioare): Cub policarbonat umplut cu aerogel alb-opac la temperaturi exterioare pozitive, crescătoare și descrescătoare (alternativ însorire+înnorare).



Fig.6.39. Studiu termic cub cu nanogel încorporat

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
7 <sup>00</sup>	+21,3	+16,8
9 <sup>00</sup>	+37,2	+19,4
9 <sup>30</sup>	+26,8	+19,6
10 <sup>00</sup>	+42,1	+19,8
10 <sup>30</sup>	+38,8	+21,7
11 <sup>30</sup>	+40,9	+23,3
12 <sup>30</sup>	+33,6	+26,7
13 <sup>30</sup>	+43,5	+28,8
14 <sup>00</sup>	+45,9	+32,7
14 <sup>30</sup>	+43,6	+31,6
15 <sup>00</sup>	+42,1	+30,3
16 <sup>30</sup>	+39,1	+29,6
17 <sup>30</sup>	+37,8	+28,2
18 <sup>30</sup>	+28,6	+24,2

Tab.6.18. Comportament termic cub

**Concluzii:**

- Cu toate că în grosime mică (40 mm) "peretele" prezintă inerție termică ridicată: la variații destul de semnificative ale temperatur. exterioare, temperatur. interioare variază foarte puțin
- Temperatura la interior rămâne permanent mai redusă cu minim 4-5°C decât la exterior

## 6.6.2.3.4 Temperaturi exterioare pozitive, ușor crescătoare

Studiu termic (temperaturi interioare): Cub policarbonat umplut cu aerogel granulat alb-opac la temperaturi exterioare pozitive medii, ușor crescătoare (cub rece)



Fig.6.40. Studiu termic cub cu nanogel încorporat

Ora	Temperatura exterioară (°C)	Temperatura în cub (°C)
9 <sup>00</sup>	+18	-21,2
9 <sup>30</sup>	+20	-20,4
10 <sup>00</sup>	+20,1	-19,4
10 <sup>30</sup>	+20,1	-18,6
10 <sup>30</sup>	+20,1	-13,1
11 <sup>00</sup>	+20,1	-6,3
11 <sup>30</sup>	+20,1	-4,5
12 <sup>00</sup>	+20,1	-2,5
14 <sup>30</sup>	+20,9	+10,9
15 <sup>30</sup>	+21,4	+13,8
16 <sup>30</sup>	+21,5	+15,5
17 <sup>30</sup>	+22,1	+17,1
18 <sup>30</sup>	+22,1	+17,8
19 <sup>00</sup>	+22,1	+18,1
21 <sup>00</sup>	+22,1	+18,3

Tab.6.19. Comportament termic cub

**Concluzii:**

- Temperatura în interior crește lent în prima oră, mai rapid în următoarele 8, dar chiar după 12 ore, temperatura la interior se menține mai scăzută cu aprox.4°C decât la exterior, crescând în continuare foarte lent.

### 6.6.3 Concluzii experiment: Studiarea pierderilor de căldură pe termografie

Cubul cu o temperatură interioară de  $32,9^{\circ}\text{C}$  s-a introdus într-o incintă cu temperatura  $(-4)^{\circ}\text{C}$  și s-a menținut timp de 1 oră, după care s-au efectuat termografiile la 7 minute și după aprox.2 ore cu camera cu termoviziune FLIR



Fig.6.41. Camera cu termoviziune FLIR

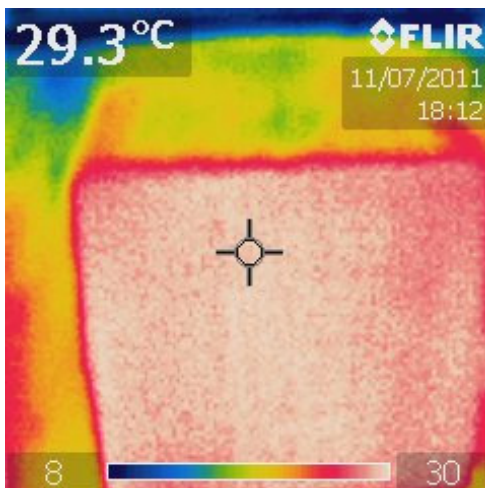


Fig.6.42. Termografie cub după 1 oră

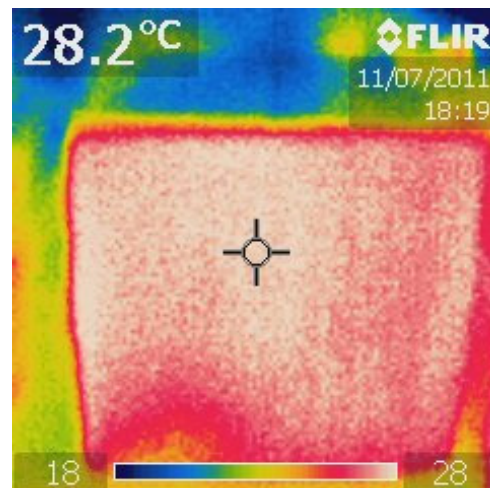


Fig.6.43. Termografie cub după 1 oră+7minute

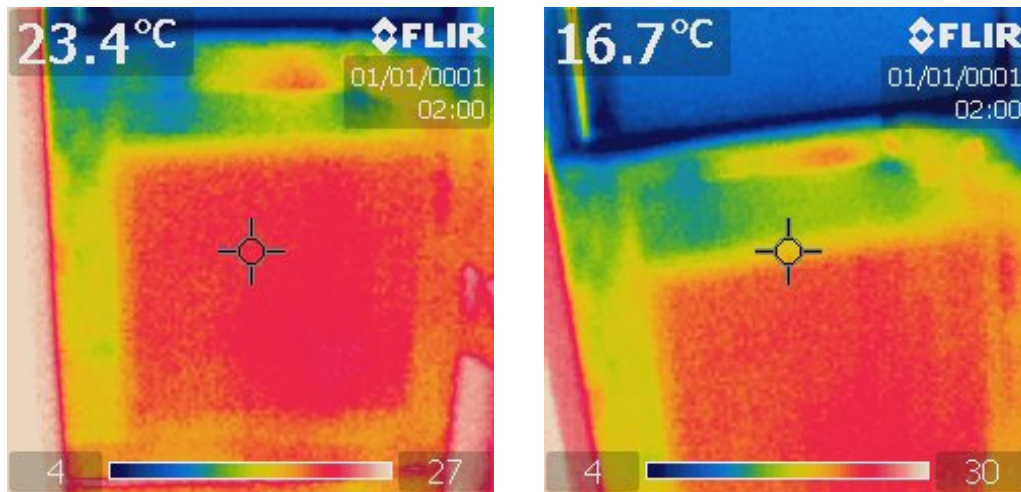


Fig.6.44. Termografie cub după 3 ore

**Concluzii:**

- După cum rezultă din termografiile din figură, performanța de foarte bun izolator termic a aerogelului se confirmă, pierderile mari de căldură având loc doar prin capacul cubului care a fost intenționat realizat cu defecte, nu și prin pereți ( $T_{\text{capac}}=23,4^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{pereți}}=16,7^{\circ}\text{C}$ )
- Temperatura corpului a scăzut în 3 ore doar cu aproximativ  $6^{\circ}\text{C}$ , la o diferență de temperatură între exterior și interior de aprox.  $28^{\circ}\text{C}$
- În timpul verii, condițiile meteorologice sunt caracterizate de un cer degajat, temperatura ridicată, flux solar important, vânt slab, durată mare de însorire. Ferestrele cu sticla clară reprezintă locul prin care intra fluxul energetic solar. În anumite condiții, are loc o creștere importantă a temperaturii interioare, ceea ce duce la crearea "efectului de seră". În combinație cu policarbonatul celular, prezența aerogelului permite atenuarea acestui efect, cu întreg cortegiul sau de consecințe neplăcute, diminuând disconfortului datorat temperaturii ridicate și ameliorând confortul vizual, prin înlăturarea senzației de orbire, respectiv limitând costurile energetice necesare climatizării. Protecția termică în timpul verii, va fi cu atât mai ridicată cu cât factorul solar "g" și coeficientul "U" vor fi mai scăzuți. Cantitatea de energie solară intrată, va fi limitată prin utilizarea nanogelului care are o putere de absorbție energetică mare și reflexie energetică mare către exterior.
- Sticla permite patrunderea radiațiilor solare. În interiorul încăperilor, radiațiile solare sunt absorbite de diferite obiecte de decor, de podea și de pereți. Încalzirea astfel obținută este preluată de razele infraroșii, însă geamurile nu permit trecerea acestor raze în afara, astfel ca încăperile sunt supra-încalzite. Acest efect este cunoscut sub denumirea de efect de seră. Aerogelul, însă, reflectă și absoarbe părți ale radiației solare, minimizând efectul de seră.

### 6.7. Confirmarea performanțelor aerogelului granulat, economiile de energie și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>

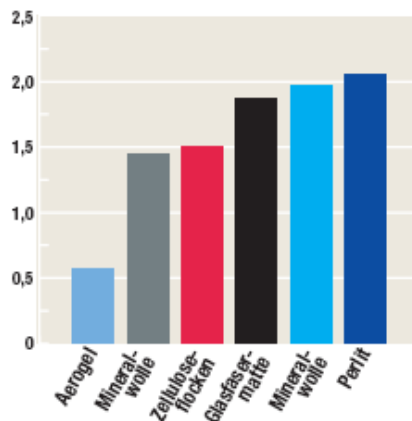
Aerogelul granulat Nanogel este unul dintre cei mai buni izolatori termici disponibili astăzi pe piață. Acesta are o valoare lambda cuprinsă în intervalul 0,017-0.020 W / mK. Această valoare este de 2-3 ori mai mică decât produsele fabricate din PUR expandat, polistiren, etc și de peste 50 ori mai mică decât a sticlei obișnuită  $\lambda = 1,0 \text{ W/m.K}$ . El prezintă și numeroase alte avantaje, inclusiv de a fi translucid și a permite trecerea luminii.

<b>Materialul</b>	Aerogel granulat	Aerogel compact	Polistiren	Poliuretan (PUR)	Plăci fibro-lemnoase	Vată minerală
<b>Conductivitatea termică <math>\lambda</math> [W/mK]</b>	0,018	0,017	0,033	0,028	0,040-0,050	0,042
<b>Materialul</b>	Saltele aerogel	Vată de sticlă	Plută	Lână	Perlit expandat	Sticla obișnuită
<b>Conductivitatea termică <math>\lambda</math> [W/mK]</b>	0,013	0,032-0,050	0,035-0,060	0,035-0,040	0,040-0,070	1,00

Tab.6.20. Conductivitățile principalelor materiale izolatoare

Fig.6.45.

Comparatia valorilor U pentru diferite materiale izolatoare  $g=25 \text{ mm}$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )



Grosimea plăcii de polycarbonat [mm]	U [W/m²K]
16	1,31
20	1,20
25	0,91
40	0,54
50	0,48
70	0,28

Tab.6.21. Coeficient transfer termic U pentru diferite grosimi

Așa cum se poate observa în Tab.6.21 încorporând aerogel în structura ferestrelor sau a suprafețelor vitrate se pot atinge valori de izolare termică cum puține există în industria construcțiilor. Aceste valori pot fi mai bune decât cele obținute printr-un geam dublu sau chiar triplu cu argon sau kripton Tab.6.22. :

Tip geam termopan 24 mm	Configurație	Valoare U EN 673 [W/m <sup>2</sup> K]
Low-E+Float, 24 mm	G4-16(Argon)-G4	1,2
Low-E+Float	G4-16-G4	1,4
Float+Float	G4-16-G4	2,7
Solar 4S+Float	G4-16(Argon)-G4	1,1
4 Anotimpuri+Float	G4-16(Argon)-G4	1,1
Fumuriu+ Low-E	G4-16-G4	1,4
Krizet(Mat)+Float	G4-16-G4	2,7
Ornament(orce model) +Float	G4-16-G4	2,7
Ornament(orce model) +Low E	G4-16(Argon)-G4	1,2
Reflexiv Bronze+Low E	G4-16(Argon)-G4	1,2

Tab.6.22. Parametri de izolare pentru principalele tipuri de geamuri

În Tab.6.23. sunt redate valorile principalilor parametri pentru diferite panouri din policarbonat celular în varianta fără nanogel și cu nanogel încorporat. După cum se poate observa, beneficiile utilizării aerogelului în structura panourilor, rezultate prin calcul sau măsurători directe, sunt evidente.

Grosime/numar pereți [mm]	Culoare	U [ W/m <sup>2</sup> K ]	Transmisie lumină [%]	G [%]	Izolare Fonică [dB]
<b>Fără nanogel</b>					
16/2	Transparent	2,5	74	86	19
16/2	Infraroșu	2,5	55	35	19
16/3	Transparent	2,4	74	82	19
16/3	Infraroșu	2,4	55	35	19
20/3	Transparent	2,1	78	83	19
20/3	Infraroșu	2,1	78	38	19
25/3	Transparent	1,5	71	66	21
25/3	Infraroșu	1,5	38	35	21
40/7	Transparent	1,1	55	61	22
50/9	Transparent	0,98	50	52	26
50/9	Infraroșu	0,98	31	18	26
70/9	Transparent	0,78	36	32	29
<b>Cu nanogel</b>					
16/2	Transparent	1,4	64	60	21
16/2	Infraroșu	1,4	45	28	21
16/3	Transparent	1,3	64	59	21
16/3	Infraroșu	1,3	45	35	21
20/3	Transparent	1,1	47	58	21
20/3	Infraroșu	1,2	40	25	21
25/3	Transparent	0,9	55	59	24
25/3	Infraroșu	0,9	34	27	24
40/7	Transparent	0,54	24	32	26
50/9	Transparent	0,48	30	25	30
50/9	Infraroșu	0,48	20	30	30
70/9	Transparent	0,28	8	10-12	35

Tab.6.23. Parametri de izolare pentru principalele tipuri de panouri din policarbonat

Prin urmare, anvelopele în care sunt inserate particule de aerogel, sunt o soluție strategică pentru a integra avantajele excepționale ale aerogelului în suprafețele vitrate ale clădirilor reabilite și de a înlocui, acolo unde performanțele materialului justifică, tipurile de sticlă folosită în mod obișnuit și descrise anterior, sticla, la randul ei, prezentând și dezavantaje. Simultan, dată fiind transparența aerogelului, se poate răspunde și noilor reglementări naționale și europene stricte în privința nivelului de iluminare naturală, având în vedere nivelul ridicat de difuzie a luminii a acestui material.

Uniunea Europeană a aprobat Protocolul de la Kyoto care vizează reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră (în principal de CO<sub>2</sub>) cu 8% până în 2008-2012, față de 1990. Știind că aproximativ 40% din emisiile de CO<sub>2</sub> din sectorul de construcții sunt cauzate de consumul mare de energie, Nanogel aerogel este o modalitate foarte bună de a economisi energie prin reducerea semnificativă a pierderilor de căldură prin anvelopa clădirii (încălzire în perioada de iarnă și folosirea aerului condiționat, vara).

Coefficientul de transfer termic U exprimat în W/m<sup>2</sup>K este un bun indicator. Dacă o fereastră simplă cu grosimea sticlei 4 mm are o valoare U= 5,7 W/m<sup>2</sup>K, o fereastră dublă 4/12/4 valoarea U=2,9 W/m<sup>2</sup>K, una din policarbonat alveolar de 16 mm valoarea U=2,4 W/m<sup>2</sup>K, Nanogel aerogel permite reducerea valorii U la un nivel inegalabil și de neimaginat până acum pentru o suprafață vitrată: 0,46 până la 0,30 W/m<sup>2</sup> K pentru grosimi mari.

Tab.6.24. rezumă câteva valori U pentru diferite tipuri de suprafețe vitrate și alternative bazate pe umplerea cu aerogel Nanogel și rezultate prin calcul.

Soluții	Fără aerogel		Cu aerogel		Reducere Valoare U[W/m <sup>2</sup> K]
	Grosime	Valoare U[W/m <sup>2</sup> K]	Grosime	Valoare U[W/m <sup>2</sup> K]	
<b>Policarbonat</b>					
Policarbonat alveolar	10	3	10	1,93	-1,07
Policarbonat alveolar	16	2,4	16	1,31	-1,09
Policarbonat alveolar	25	1,5	25	0,89	-0,61
Policarbonat alveolar	32	1,4	32		-1,41
Policarbonat alveolar	40	1,1	40	0,54	-0,99
<b>Sticla profil U</b>					
Sticla profil U		2,84	16	1,8	-1,04
Sticla profil U		2,84	25	1,25	-1,59
Sticla profil U- emisivitate redusă		1,8	16	1,2	-0,6
Sticla profil U- emisivitate redusă		1,8	25	1,1	-0,7
<b>Panouri de poliester întărit cu fibră de sticlă Kalwall</b>					
Densitate redusă	70	2,57			
Densitate medie	70	1,25			
Densitate ridicată	70	0,56		0,28	-0,28
<b>Panouri de poliester scobalit</b>	50			0,46	0,46
<b>Sticla</b>					
Vitraj simplu	4	5,7			
Vitraj simplu	8	5,7			
Vitraj dublu, aer	4/12/4	2,9	4/12/4	1,4	-1,5
Vitraj dublu, aer	4/14/4	2,9			

Vitraj dublu, aer	4/16/4	2,72			
Vitraj dublu, aer	4/20/4	2,7	4/20/4	0,9	-1,8
Vitraj dublu, emisivitate redusă, aer	4/12/4	1,7	4/12/4	1,4	-0,3
Vitraj dublu, emisivitate redusă, aer	4/14/4	1,5			
Vitraj dublu, emisivitate redusă, aer	4/16/4	1,4			
Vitraj dublu, emisivitate redusă, aer	4/20/4	1,43	4/20/4	0,9	-0,53
Vitraj dublu, emisivitate redusă, Argon	4/10/4	1,4			
Vitraj dublu, emisivitate redusă, Argon	4/12/4	1,3	4/12/4	1,4	0,1
Vitraj dublu, emisivitate redusă, Argon	4/14/4	1,2			
Vitraj dublu, emisivitate redusă, Argon	4/16/4	1,13			
Vitraj dublu, emisivitate redusă, Argon	4/20/4	1,15	4/20/4	0,9	-0,25
Vitraj dublu,4/12/4 aer comparat cu nanogel	4/12/4	2,9	4/12/4	1,4	-1,5
Vitraj dublu,4/12/4 aer comparat cu nanogel	4/12/4	2,9	4/20/4	0,9	-2
Vitraj dublu,4/12/4 aer comparat cu nanogel	4/12/4	2,9	4/30/4	0,6	-2,3
Vitraj dublu,4/12/4 aer comparat cu nanogel	4/12/4	2,9	4/60/4	0,3	-2,6

Tab.6.24. Parametri de izolare pentru diferite tipuri de suprafețe vitrate

Conform statisticilor europene, se consideră că o reducere a valorii U cu 1,0 W/m<sup>2</sup>K reduce emisiile de CO<sub>2</sub> cu aproximativ 30 kg/mp/an. O suprafață de 1,00m<sup>2</sup> din policarbonat alveolar de 25mm grosime, cu o valoare de izolare termică U= 0.89 / W m<sup>2</sup> K, raportat la o suprafață vitrată simplă U=5,7 / W m<sup>2</sup> K, ar reduce emisiile nete de CO<sub>2</sub> cu 144,3 kg/ an. Reducere netă a emisiilor de CO<sub>2</sub> după deducerea emisiilor generate de producerea aerogelului (35,00 kg/mp/an) ar fi 109,3 kg/ an.

Reducere valoare U [W/m <sup>2</sup> K]	Economia anuală de energie [m <sup>2</sup> ] suprafață vitrată	
	Ulei [l]	Gaz-[m <sup>3</sup> ]
0,1	0,9- 1,3	1,0- 1,5
0,5	1,5- 6,5	5,0- 7,5
1	9,0-13,0	10,0-15,0
1,5	13,5-19,5	15,0-22,5
2	18,0-26,0	20,0-30,0
2,5	22,5-32,5	25,0-37,5
3	27,0-39,0	30,0-45,0
3,5	31,5-45,5	35,0-52,5
4	36,0-52,0	40,0-60,0
4,5	40,5-58,5	45,0-67,5

Tab.6.25. Economii de energie datorate reducerii valorii U

Exemple de calcul al economiilor anuale de energie obținute prin înlocuirea vitrajului standard cu un panou plin cu Nanogel aerogel:  
Ipoteză: Costul de gaz: 0.55 € / m<sup>3</sup>, costul de ulei: 0,70 € / litru.



Opțiunea 1: 4 mm, geam simplu, cu o valoare  $U=5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Opțiunea 2: Panou policarbonat+Nanogel 16 mm grosime, cu o valoare  $U=1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Suprafață de calcul: 1000 mp

Diferență:  $4,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Economie anuală de energie / mp: 40.5 - 58.5 litri de ulei de combustibil sau de  $45-67.5 \text{ m}^3$  de gaz

Economii anuale: Combustibil: 34600 €; de gaz: € 30,800

Între 112 și 134 de tone de reducere a emisiilor de  $\text{CO}_2$  pe an

Supraf. [m <sup>2</sup> ]	Dif. de val. U [W/m <sup>2</sup> K]	Ulei			Gaz		
		Econ. Ulei [l]	Econ. Bani [Euro]	Reduc. CO <sub>2</sub> [Kg]	Econ. Gaz [m <sup>3</sup> ]	Econ. Bani [Euro]	Reduc.CO <sub>2</sub> [Kg]
1000	1,0	11000	7700	29700	12500	6875	25000
1000	2,6	28000	19600	75600	33000	18150	66000
1000	3,8	42000	29400	113400	48000	26400	96000
1000	4,5	49500	34650	<b>133650</b>	56000	30600	<b>112000</b>

Tab.6.26.Economii anuale de combustibil, gaz și reducerea emisiilor de  $\text{CO}_2$

Valorile din tabel, corespunzătoare reducerilor de emisii  $\text{CO}_2$ , sunt valori nete, adică s-au avut în vedere emisiile la producerea combustibililor respectivi.

Știind că România are milioane de metri pătrați de geamuri simple, milioane de metri pătrați de ferestre cu geamuri termopan clasic, aceasta ne da o idee despre reducerea uriașă a emisiilor de gaze cu efect de seră care ar putea fi realizată în timp, prin utilizarea suprafețelor vitrate de înaltă performanță, ce au în alcătuire aerogel.

## 6.8. Studii experimentale în domeniul suprafețelor vitrate pentru acoperișuri

### 6.8.1. Noțiuni generale

Pentru iluminarea naturală a spațiilor interioare, cupolele și luminatoarele s-au impus de mai multă vreme. Utilitatea lor multiplă constă în faptul că permit iluminatul spațiilor interioare fără cheltuieli energetice, iar când este cazul, pot fi utilizate pentru ventilație și, în plus, în caz de incendiu pentru evacuarea fumului. Montarea acestora se amortizează de regulă în câțiva ani doar prin economisirea energiei electrice, înlocuită cu iluminatul natural.

Coeficientul "g" de trecere a energiei. Expunerea pasivă la radiația solară se face pe întregul spectru care compune radiația luminoasă: razele UV, invizibile și radiația termică de infraroșu. Coeficientul care măsoară transmiterea radiației solare este coeficientul "g" de transmitere a energiei. Mărimea acestuia este puternic influențată de calitatea materialelor, grosimea și culoarea materialelor utilizate. Coeficientul de trecere a energiei g măsoară transmisia energiei totale prin suprafața vitrată. În funcție de scopul vizat, valoarea acestuia poate conduce la

diverse interpretări: o valoare  $g$  mai mare înseamnă utilizarea termică suplimentară și gratuită a radiației solare, dar pe timp de vară un confort termic redus; un  $g$  cu valoare mică înseamnă reducerea încălzirii încăperilor din timpul verii din cauza radiației solare. Gradul de transmisie de energie  $g$  este o mărime ce caracterizează elementele transparente de construcții, din punct de vedere al transportului de energie. Valoarea  $g$ , ca transmisia de energie totală, este suma dintre radiația solară directă și caldura transmisă la interior prin radiație și convecție. Ex. Un geam simplu alb cu  $g = 0.85$  sau 85%, înseamnă că 85% din energia radiată poate fi transmisă în camera din spatele sticlei. Sticla cu protecție solară cu  $g = 0,30 - 0,50$ , înseamnă că doar 30% - 50% din energia radiată este transmisă în spațiul din spatele sticlei. Această sticlă este adesea folosită la realizarea fațadelor complet vitrate fără protecție solară pentru a reduce căldura radiată la interior.

Coeficientul "t" de trecere a luminii. Pentru proiectarea iluminatului de zi, determinant este coeficientul "t", care reprezintă coeficientul de trecere a luminii. Acest factor este influențat de calitatea materialului ales, grosimea acestuia și culoarea suprafeței de trecere a luminii.

Coeficientul "k" de conductivitate termică. Coeficientul de transfer a căldurii "k" pentru cupole și luminatoare este determinat de grosimea materialelor alese, capacitatea de transfer a căldurii, distanța între membrane precum și de transferul de căldură între partile interioare și exterioare.

Utilizarea anumitor materiale pentru cupole și luminatoare este determinată de influența simultană a celor trei coeficienți menționați anterior. Acești coeficienți se influențează și reciproc. Coeficientul de trecere a luminii permite o iluminare suficient de puternică, dar însoțită și de transfer de energie. Pierderea termică prin transmisie este în schimb mare deci coeficientul "k" devine nefavorabil. Iarna, când soarele strălucește, o cantitate mare de energie solară se poate valorifica, vara în schimb se poate năste o încălzire prea puternică și nedorită. Fata de aceasta o construcție care dispune de o suprafață cu un coeficient de trecere mai redus al luminii poate duce la o transmitere a unei cantități mai reduse de lumină și energie.

		Trecerea luminii (%)	Valoare $g$ (%)	Valoare $k$ (Kcal/m <sup>2</sup> K)
Cupola cu acril	Cu 1 strat	80-95	70-90	4,9-6,0
	Cu 2 straturi	65-80	50-80	2,5-3,5
	Cu 3 straturi	50-70	30-60	1,8-2,4
Fasie luminatoare	Cu 2 straturi	60-80	65-75	2,9-3,3
	Cu 3 straturi	50-70	55-70	2,4-2,7

Tab.6.27. Coeficienți caracteristici suprafețelor vitrate

Gradul de reflexie a luminii. Proportia de lumină vizibilă (pentru câmpul de radiație 380 nm la 780 nm), ca procent, pe care suprafața superioară a sticlei o reflectă. Un grad ridicat de reflexie a luminii, înseamnă o reducere a efectului de orbire la interior.

Valoarea transmisiei luminii. Indică, în procente, proporția în care lumina vizibilă (pentru gama de radiații de la 380 nm la 780 nm), este lăsată să treacă prin sticlă, și este dependentă de grosimea sticlei și de stratul de acoperire. O mai mare valoare de transmitere a luminii, înseamnă o mai mare utilizare a luminii naturale.

Element de construcție	GROSIME (cm)	VALOARE U (W/m <sup>2</sup> K)
Acrilglas (plexiglas)	5 mm	5,3
Fereastra simpla	4 mm	5,9
Fereastra dubla		3,0
Fereastra cu sticla termoizolatoare	2,4	1,3
Element transparent din policarbonat	5	0,83
Fereastra in standard de casa pasiva		0,5-0,8

Tab.6.28.Coeeficient de transfer termic U pentru diferite suprafețe vitrate

*Coeeficientul de transfer termic U* măsoară pierderile de căldură ale suprafeței vitrate. Cu cât mai mică valoarea U, cu atât e mai bună izolarea. Peretele vitrat poate fi facut cu o sticla simpla sau cu sticla dubla, in al doilea caz obtinandu-se o mai buna izolatie termica. Principiul sticlei duble este de a inchide intre doua foi de sticla un strat de aer imobil si uscat, in scopul de a limita schimburile termice prin convecție si de a profita de slaba conductivitate termica a aerului aflat între cele doua foi de sticla . Pentru ameliorarea coeficientului "U", trebuie eliminate transferurile termice prin conductie, convecție si radiatie. Cum exista posibilitatea sa se actioneze asupra coeficientilor de schimb superficial, ameliorarea acestui coeficient se va face prin diminuarea schimburilor între cele doua componente ale geamului dublu, in felul urmator:

- transferurile prin radiatie - pot fi diminuate utilizand sticla cu o acoperire slab emisiva, ca de exemplu sticla cu acoperire pirolitica sau sticla cu acoperire sub vid.
- transferurile prin conductie si convecție - pot fi diminuate prin inlocuirea aerului dintre cele doua foi de geam printr-un gaz mai greu,cu o conductivitate termica mai mica (argon, in general).

*Confortul termic.* Corpul uman schimba caldura cu mediul inconjurator prin radiatie. Astfel, o senzatie de frig poate fi simtita in apropierea unui perete cu temperatura scazuta, chiar si intr-o incapere cu o temperatura confortabila. Iarna, datorita unui coeficient "U" scazut, temperatura fetei interioare a peretelui vitrat va fi mult mai ridicata si astfel efectul de "perete rece" va fi diminuat. Astfel, se va putea sta in apropierea ferestrelor fara a avea senzatie de disconfort, si de asemenea se diminueaza riscurile de condens.

In timpul verii, conditiile meteorologice sunt caracterizate de un cer degajat, temperatura ridicata, flux solar important, vant slab, durata mare de insorire. Ferestrele cu sticla clara reprezinta locul prin care intra fluxul energetic solar. In anumite conditii, are loc o crestere importanta a temperaturii interioare, ceea ce duce la crearea "efectului de sera". Sticla de control solar permite atenuarea acestui efect, cu intreg cortegiul sau de consecinte neplacute, respectiv limitarea costurilor energetice necesare climatizarii, diminuarea disconfortului datorat temperaturii ridicate, si ameliorarea confortului vizual, prin inlaturarea senzatiei de orbire. Protectia termica in timpul verii, va fi cu atat mai ridicata cu cat factorul solar "g" si coeficientul "U" vor fi mai scazuti. Cantitatea de energie solara intrata, va fi limitata prin utilizarea de sticla cu o putere de absorbtie energetica mare, sau cu o reflexie energetica mare catre exterior.

Calitatea unei suprafețe vitrate nu poate fi evaluată doar prin valoarea excepțională a unuia sau altuia dintre parametrii descriși anterior. O suprafață vitrată eficientă trebuie să satisfacă corespunzător toți acești parametrii, diferit de la caz, la caz , în funcție de destinația clădirii respective.

Aerogelul este un material care combină în mod excepțional toți parametri arătați, iar cele câteva exemple analizate în cele ce urmează, demonstrează capacitatea acestuia de a înlocui mult mai eficient variantele clasice de suprafață vitrată, atât din punct de vedere al parametrilor de confort termic, cât și din considerente economice.

### **6.8.2. Clădiri private reabilitate cu elemente de construcție cu aerogel granulat translucid încorporat, Selters, Germania**

#### 6.8.2.1. Cupolă grădină de iarnă

S-au înlocuit panourile de sticlă obișnuită ale cupolei , care erau supuse pe tot parcursul zilei însoririi puternice, cu panouri din sticlă termoizolatoare cu aerogel granulat translucid încorporat. Anterior reabilitării, temperatura la interior pe timpul verii era de nesuportat (în zilele cu temperaturi de peste 30°C, sub cupolă înregistrându-se temperaturi cuprinse între 40-45°C) , iar pe timp de iarnă consumându-se o cantitate semnificativă de energie pentru asigurarea temperaturii optime dezvoltării plantelor sau relaxării proprietarilor. În plus , efectele neplăcute de orbire din cauza radiației solare.

După reabilitare temperatura a scăzut pe timpul verii la maximum (22-27)°C, iar iarna nu este necesară încălzire suplimentară. Lumina în spațiul adiacent este plăcută și difuză, fără efect de orbire.



Fig.6.46. Reabilitarea unei cupole din sticlă pentru „grădina de iarnă”

### 6.8.2.2. Copertină terasă

S-a înlocuit panoul de protecție a terasei realizat din foi ondulate de acril cu panouri celulare din policarbonat umplute cu aerogel granulat translucid  $g=25$  mm.



Fig.6.47. Reabilitarea unei copertine pentru terasă la o casă privată

Înainte de reabilitare, temperatura sub parasolar în zilele călduroase de vară era cu cel puțin 8-10 °C mai ridicată decât cea reală, fiind practic imposibil ca terasa să fie utilizată pentru relaxare în acest timp. De asemenea nivelul luminii naturale transmise, era mult diminuat comparativ cu spațiul exterior.



Fig.6.48. Reabilitarea unei copertine pentru terasă la o casă privată



Fig.6.49. Copertină după reabilitare cu panouri din policarbonat cu nanogel translucid încorporat

După reabilitare , temperatura sub copertină în zilele călduroase este cu cel puțin 4-6 °C mai scăzută decât cea exterioară, iar seara când afară se răcorește, terasa beneficiază de o temperatură deosebit de plăcută, cca. 3-4 °C mai mult decât în mediul înconjurător. Lumina este plăcut difuzată pe tot parcursul zilei, în plus nuanța albastruie a aerogelului la vreme de seară , înfrumusețează atmosfera. De asemenea, s-a îmbunătățit semnificativ aspectul estetic al terasei și fațadei.



Fig.6.50. Copertină după reabilitare cu panouri din policarbonat cu nanogel translucid încorporat

## 6.8.2.3. Reprezentanță Renault



Fig.6.51. Acoperiș vitrat înainte de reabilitare

Proiectul constă în înlocuirea unei suprafețe vitrate simplă din sticlă, 20 ani vechime cu panouri din policarbonat 16 mm umplute cu nanogel granulat. Important pentru beneficiar este ca izolația termică să păstreze temperaturi constante atât în timpul verii, cât și iarna. La fel de importante sunt bunele condiții de iluminare pe tot parcursul zilei. Experimentul s-a făcut doar într-un corp al clădirii, corpul de birouri, urmând ca în cazul unor rezultate favorabile să se extindă soluția pentru toate celelalte părți ale construcției, respectiv sala de expoziție și atelierul de reparații.



Fig.6.52. Acoperiș vitrat după reabilitare

Înlocuirea suprafețelor opace cu suprafețe translucide ar fi deosebit de benefică, în primul rând pentru că s-ar beneficia de iluminare naturală pe tot parcursul zilei, ceea ce ar conduce la o îmbunătățire a confortului, dar și la reducerea cheltuielilor cu iluminatul. Prin soluția aleasă, se dorește asigurarea unei temperaturi optime la interior, atât iarna, cât și vara, îndeosebi eliminarea radiației de căldură și fenomenele de umbră sau orbire. De asemenea se urmărește reducerea cheltuielilor de încălzire, iluminare și ventilare-climatizare, care la o suprafață construită de aproximativ 1200 m<sup>2</sup> sunt deosebit de ridicate.

Panourile alese au dimensiuni: 0,50 m x 1,50 m - 16 mm Lexan Thermoclear IR 16 mm umplut cu nanogel, coeficient transfer termic:  $U=1.31 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , transmisie a luminii: 45%, transmisie energie 35%, izolare fonică 21 dB .

Grosime (mm)	U [W/m <sup>2</sup> .K]	Transmisia luminii (%)	Transmisie energie (%)	Izolarea fonică (db)
10	1,93	62	68	20
16 IR	1,31	45	35	21
25	0,89	55	59	24

Tab.6.29.Principali parametri de izolare pentru panouri policarbonat

Performanța măsurată după instalarea panourilor policarbonat umplute cu aerogel:

	Temperatura aerului	Temperatura de contact (°C)		Lumina (Lux)
		Sticlă	Poliester + nanogel	Poliester + nanogel
Exterior	27	40	27	70.000
Interior	24	34	20	5.000

Tab.6.30. Performanța măsurată după instalarea panourilor policarbonat umplute cu aerogel



Fig.6.53. Acoperiș vitrat după reabilitare

Încăpere	Iluminare (lux)
Holuri/Toalete	100-150
Restaurante/cantine	200
Biblioteci/Săli de clasă	300
Birouri	500
Săli de proiectare	500-750
Săli de înaltă precizie	1500

Tab.6.31. Valori recomandate pentru iluminare



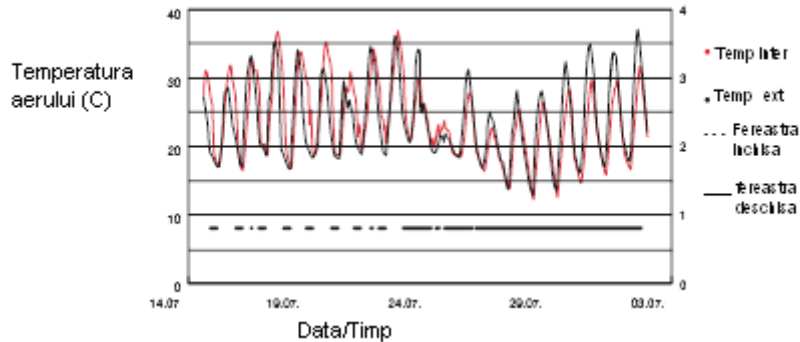
Structura	Grosime [mm]	Culoare	U [W/m <sup>2</sup> K]	Transmisia luminii (%)	Transmisia directa a radiatiei solare (%)	Izolare fonica (dB)
	10	Transparent	3,00	82	76	-
	10	Alb	3,00	62	60	-
	10	Infrarosu	3,00	63	43	-
	10+nanogel	Transparent	1,93	71	66	-
	10+nanogel	Alb	1,93	53	52	-
	10+nanogel	Infrarosu	1,93	51	35	-
	16	Transparent	2,40	74	82	19
	16	Alb	2,40	63	61	19
	16	Infrarosu	2,40	55	35	19
	16+nanogel	Transparent	1,31	64	59	21
	16+nanogel	Alb	1,31	52	52	21
	16+nanogel	Infrarosu	1,31	45	35	21
	25	Transparent	2,20	71	66	21
	25	Alb	2,20	60	58	21
	25	Infrarosu	2,20	38	35	21
	25+nanogel	Transparent	0,91	55	59	24
	25+nanogel	Alb	0,91	47	47	24
	25	Infrarosu	0,91	34	27	24

**\*Infrarosu-ofera transparenta ridicata pentru lumina, dar filtreaza o mare parte din caldura radiata**

Tab.6.32.Principali parametri de izolare pentru panori policarbonat

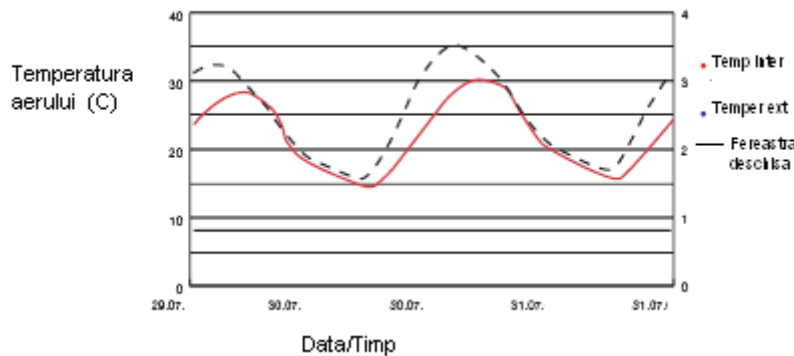
Material	Valoare U (W/m <sup>2</sup> K)	Transmis lumina (%)	Factor solar (%)	Factor acustic (%)
Policarbonat 25 mm+nanogel	0,89	55	59	24
Poliester 50 mm+nanogel	0,48	30	25	30
Polycarbonat 70 mm+nanogel	0,26	10-12	8	35
Profil U din sticlă +nanogel 25 mm	1,10	30	30	46
Geam dublu+nanogel 30 mm	0,60	51	8mm sticlă ext / 8 mm sticlă int	
Geam dublu +nanogel 60 mm	0,30	29	8mm sticlă ext / 8 mm sticlă int	

Tab.6.33. Principali parametri de izolare pentru elemente vitrate cu nanogel încorporat



Tab.6.34. Analiza temperaturilor în spațiul reabilitat

Temperatura internă a fost măsurată timp de 10 zile în luna iulie la temperatura mediului ambiant 30-35 °C. Atunci când se combină aerisirea pe timpul nopții cu cea pe timpul zilei într-o proporție de aproximativ 40%, temperatura interioară a crescut doar cu 2 - 4°C peste temperatura exterioară. Dacă fereastra a rămas deschisă toată ziua, cu excepția ploaie, temperatura internă a fost, în medie, întotdeauna în jur de 4 °C sub temperatura de afara. Cea mai mare încălzire a sălii s-a înregistrat în jurul orei 17, adică aproape de terminarea programului. Testele au arătat că climatul interior pe timp de vară poate fi semnificativ îmbunătățit printr-o ventilație optimă. Acest lucru a permis utilizatorilor sălii ca la temperaturi exterioare de vârf de cca 33 °C, în sală să se beneficieze de temperaturi mai mici de 26 °C.



Tab.6.35. Analiza temperaturilor în spațiul reabilitat

După înlocuirea suprafeței vitrate vechi de 30 ani cu panouri performante 16 mm Lexan Thermoclear IR 16 mm umplut cu nanogel, s-au reușit numeroase performanțe, precum: utilizarea maximă a luminii zilei, cu pierderi minime de căldură și radiație de căldură redusă, repartizarea uniformă a luminii în clădire, efectele neplăcute datorate luminii directe a soarelui au fost înlăturate, iar problemele tipice de orbire au fost minimizate, aproape înlăturate, îmbunătățindu-se foarte mult confortul vizual. Folosirea sistemelor de lamele protectoare a devenit inutilă, deci s-au redus investițiile și costurile de întreținere. Atmosfera este mai

plăcută și mai productivă, efecte psihologice și fiziologice pozitive datorate influenței luminii zilei asupra ocupanților. Pe lângă toate acestea se adaugă și caracterul ecologic al noilor materiale utilizate, prin posibilitatea de reutilizare a aerogelului după terminarea duratei de viață, implicat economii de energie și costuri, reducere a emisiilor de CO<sub>2</sub>, confort îmbunătățit, costuri mai mici pentru ventilație și aer condiționat, curenții de aer rece au fost reduși la minimum -> confort îmbunătățit, costuri reduse pentru ventilație și aer condiționat, precum și o izolare fonică sporită.

Fotografiile făcute într-o zi însorită arată că lumina naturală este distribuită foarte uniform în sală. Măsurătorile aplicate luminozității pe suprafața pardoselii, plafon și perețele de beton din spatele sălii au arătat valori situate în același domeniu. Acest lucru oferă condiții favorabile de lucru în întreaga încăpere.

#### 6.8.2.4. Atelier reparații

S-au înlocuit luminatoarele din geam obișnuit  $g = 8$  mm cu panouri curbate din policarbonat celular  $g = 25$  mm umplute cu aerogel granulat translucid.

Temperatura în spațiul adiacent este mai redusă pe timp de vară cu cca. 5-8°C decât cea exterioară, atelierul beneficiază de lumină naturală pe tot parcursul zilei, temperatura crește ușor spre seară, după terminarea programului. Pe timp de iarnă, temperatura este plăcută, consumurile de energie au scăzut atât vara cu aerul condiționat, cât și iarna pentru încălzire.



Fig.6.54. Sticla obișnuită conduce la zone supraluminate și zone umbrite



Fig.6.55. Aerogelul translucid difuzează uniform lumina

În cazul suprafeței vitrate transparente lumina soarelui se propagă direct, existând suprafețe supraluminate, apare efectul de orbire, un contrast puternic între zonele luminoase și cele umbrite. Apare necesitatea utilizării lamelelor de protecție împotriva soarelui, ceea ce determină costuri suplimentare de realizare și întreținere ulterioară, precum și creșterea duratei de execuție.

În cazul suprafeței vitrate cu aerogel încorporat lumina naturală este difuzată uniform, nu există zone umbrite și zone intens luminate, atmosfera interioară este deosebit de plăcută și lumina solară nu produce efect de orbire.

### 6.9. Evaluarea bazată pe performanță și reabilitarea energetică a unei clădiri : studii de caz privind analiza comparativă a costurilor globale

Acest capitol prezintă aplicații de calcul prin care se realizează analiza comparativă între două variante posibile de realizare a unei locuințe P+1E, respectiv varianta izolării termice a clădirii cu polistiren și varianta izolării termice cu materiale pe bază de aerogel (saltele gri), mult mai costisitoare inițial.

Another solutions consisting in the application of multiple layers of 9 mm flexible aerogel insulation , externally and internally on the walls. The most important benefit is the reduction of the U value of the walls improved from 1 W/m<sup>2</sup>.K to 0.2 W/m<sup>2</sup>.K.

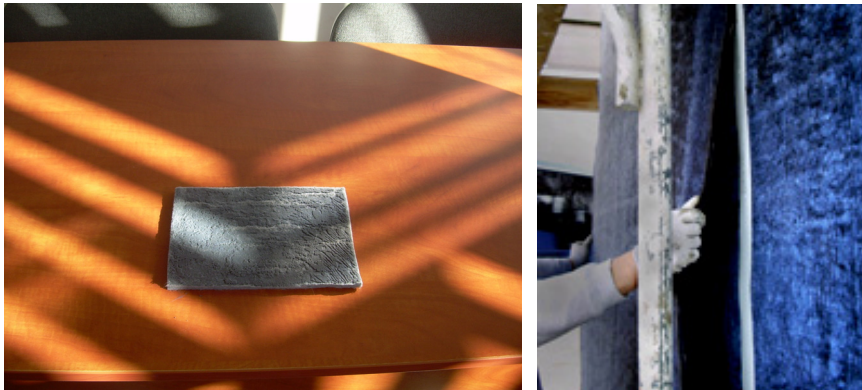


Fig.6.56. Reabilitare clădire cu saltele flexibile gri de aerogel



Fig.6.57. Reabilitare clădire cu saltele flexibile gri de aerogel

*Panel system with nanogel insulation.* An aerogel solution consists of a layer of 9 mm flexible insulation that was used externally and internally on the walls and also internally on the floors. Externally – traditional rendering systems were applied with a standard metal mesh incorporated to protect the system. The 9 mm flexible insulation allowed the panels to be thin enough to fit within the existing window casements. It provided the same insulating value as other conventional exterior insulation, which would have required extending the casements outward due to the material's thickness. Using thin insulation eliminated the need to modify window and

roof fixtures, which would have been necessary with conventional exterior insulation. The increased transmission loss of the new wall has greatly reduced the noise level within the home.

U-Value and energy savings from installation of panel systems with nanogel insulation:

- U-value reduction: 0.54 W/m<sup>2</sup>K, (0.98 - 0.44 W/m<sup>2</sup>K), a 55% reduction
- Energy reduction: 3,500 kWhr/yr
- Carbon emission reduction: 950 kg/yr



Fig.6.58. Clădirea după reabilitare cu saltele flexibile gri de aerogel

Aplicațiile de calcul demonstrează că varianta mai scumpă inițial este mai avantajoasă, datorită cheltuielilor ulterioare mult mai reduse, în principal, datorită reducerii consumurilor energetice. Mergând mai departe, comparația cu performanțele unei clădiri pasive demonstrează că pot fi realizate îmbunătățiri spectaculoase ale performanțelor termice într-o clădire și reduceri considerabile ale costului global prin reducerea cheltuielilor ulterioare.

### 6.9.1. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E

Obiectul analizei:

Două variante:

-**V<sub>1</sub>**: casă **P+1E**, **S=200mp**, cu **pereții exteriori izolați termic cu polistiren**, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

-**V<sub>2</sub>**: casă **P+1E**, **S=200mp**, cu **pereții exteriori izolați termic cu panouri flexibile pe bază de nanogel** g=9 mm, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

Nr. crt.	Date inițiale <i>Variante</i>	<b>V<sub>1</sub>: casă P+1E, S=200mp,</b> izolată termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)			<b>V<sub>2</sub>: casă P+1E, S=200mp,</b> izolată termic cu nanogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)		
		Structură	Izolare termică polistiren	Sistem mixt	<i>Structură</i>	Izolare termică cu aerogel	Sistem mixt
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	100 000 Euro	4000 Euro	70 000 Euro	100 000 Euro	14 000 Euro	70 000 Euro
3	Valoare rămasă	80 000 Euro	-	60 000	80 000 Euro	-	60 000
4	Costuri de întreținere și reparații	5 000 Euro	-	3 000 Euro	5 000 Euro	-	3 000 Euro
5	Costuri de înlocuire	-	-	-	-	-	-
6	Costul energiei de funcționare	1800 Euro/an			1296 Euro/an		

Tab.6.36. Costul energiei de funcționare

Costuri structură 500 Euro/mp

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt

Costuri reabilitare termică polistiren 20 Euro/mp

Costuri reabilitare termică cu saltele din nanogel 80 Euro/mp

Costul energiei de funcționare 150 Euro/lună/ cu izolare polistiren/ sistemul mixt

În urma izolării cu panouri flexibile pe bază de nanogel, consumul de energie se reduce cu 3,5 kWh/ m<sup>2</sup>/an față de varianta tradițională, adică:

Costul energiei de funcționare 108 Euro/lună/ cu izolare aerogel/ sistemul mixt

**Date auxiliare de calcul:**

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de **a=10%**, iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de **e=5%**. Costurile se exprimă în valori prezente, deci **data reper** este **momentul luării deciziei**.

**Rezolvarea problemei:**

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea **valorilor actualizate** ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

**1. Perioada de analiză 20 ani**

**2. Valoarea actualizată a costurilor inițiale:**

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

$$174.000 \text{ Euro} \times 1 = 174.000 \text{ Euro} \text{ și } 184.000 \text{ Euro} \times 1 = 184.000 \text{ Euro}$$

**3. Valoarea actualizată a valorii rămase:**

Factorul de actualizare corespunzător este **F<sub>2</sub>** pentru **a = 10%** și **t = 20 ani** și se cere valoarea prezentă a sumelor respective.

Deci, pentru **V<sub>1</sub>**:

140 000 Euro  $\times 0,149 = 20\ 860$  Euro

Deci, pentru  $V_2$ :

140 000 Euro  $\times 0,149 = 20\ 860$  Euro

**4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:**

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

Deci, pentru  $V_1$ :  $1\ 800$  Euro  $\times 32.95 = 59\ 310$  Euro

iar pentru  $V_2$ :  $1\ 296$  Euro  $\times 32.95 = 42\ 703$  Euro

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

**Costul global al  $V_1$**  în valori actualizate va fi:

$CG_1 = 174.000$  Euro  $+ 0 + 0 + 59\ 310$  Euro  $- 140\ 000$  Euro  $= 93\ 310$  Euro

**Costul global al  $V_2$**  în valori actualizate va fi:

$CG_2 = 184\ 000$  Euro  $+ 0 + 0 + 42\ 703$  Euro  $- 140\ 000$  Euro  $= 86\ 703$  Euro

**Concluzia:**

$$CG_2 < CG_1$$

Rezultă că  $V_2$  este mai avantajoasă decât  $V_1$ , deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.

### 6.9.2. Calculul costului global al unei locuințe proprietate personală P+1E

Obiectul analizei:

Două variante:

- $V_1$ : casă P+1E, S=200mp, cu pereții exteriori izolați termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)

- $V_2$ : casă P+1E, S=200mp, reabilitată termic pe toată anvelopa cu materiale pe bază de nanogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară) și adusă la nivelul de casă pasivă

O casă pasivă are un grad ridicat de izolare termică și un număr minim de punți termice și infiltrații scăzute și utilizează resursele solare și recuperarea căldurii pentru a îndeplini aceste nivele de conservare a energiei. Pentru a îndeplini cerințele standard de casă pasivă, clădirile pasive sunt capabile să se lipsească de sistemele de încălzire convenționale. Acest fapt nu implică lipsa totală a încălzirii, multe din casele pasive incluzând un sistem care să furnizeze energia necesară încălzirii la parametri reduși. Necesarul de energie termică al unei astfel de clădiri trebuie să fie de maximum  $15$  kWh/m<sup>2</sup> anual, spre deosebire de  $250-400$  kWh/m<sup>2</sup> anual pentru o clădire obișnuită, neizolată.

Nr. crt.	Date inițiale <i>Variante</i>	<b>V<sub>1</sub>: casă P+1E, S=200mp,</b> izolată termic cu polistiren, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)			<b>V<sub>2</sub>: casă P+1E, S=200mp,</b> izolată termic cu aerogel, dotată cu sistem de încălzire mixt (convențional + energie solară)		
		Structură	Izolare termică polistiren	Sistem mixt	<i>Structură</i>	Izolare termică cu aerogel	Sistem mixt
1	Perioada de analiză	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani	20 ani
2	Valoare inițială	100 000 Euro	4000 Euro	70 000 Euro	100 000 Euro	28 000 Euro	70 000 Euro
3	Valoare rămasă	80 000 Euro	2 000	60 000	80 000 Euro	25 000	60 000
4	Costuri de întreținere și reparații	5 000 Euro	-	3 000 Euro	5 000 Euro	-	3 000 Euro
5	Costuri de înlocuire	-	-	-	-	-	-
6	Costul energiei de funcționare	1 800 Euro/an			600Euro/an		

Tab.6.37. Costul energiei de funcționare

Costuri structură 500 Euro/mp

Costuri sistem de încălzire 350Euro/mp / sistemul mixt

Costuri reabilitare termică polistiren 20 Euro/mp

Costuri reabilitare termică cu saltele din nanogel 80 Euro/mp

Costuri măsuri suplimentare pentru aducerea la stadiul de casă pasivă 70 Euro/mp

Costul energiei de funcționare 150 Euro/lună/ cu izolare polistiren/ sistemul mixt

În urma aducerii în stadiul de casă pasivă costul energiei de funcționare scade foarte mult, adică:

Costul energiei de funcționare 40 Euro/lună/ cu izolare aerogel/ sistemul mixt

**Date auxiliare de calcul:**

Se presupune că rata de actualizare adecvată este de **a=10%**, iar prețul combustibilului crește cu o rată anuală de **e=5%**. Costurile se exprimă în valori prezente, deci **data reper** este **momentul luării deciziei**.

**Rezolvarea problemei:**

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea valorilor actualizate ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

1. *Perioada de analiză 20 ani*

2. *Valoarea actualizată a costurilor inițiale:*

Deoarece se consideră că aceste sume se consemnează la data reper, nu este necesară actualizarea. Deci:

174.000 Euro x 1 = 174.000 Euro și 198.000 Euro x 1 = 198.000 Euro

3. *Valoarea actualizată a valorii rămase:*

Factorul de actualizare corespunzător este  $F_2$  pentru  $a = 10\%$  și  $t = 20$  ani și se cere valoarea prezentă a sumelor respective.

Deci, pentru **V<sub>1</sub>**:

142 000 Euro x 0,149 = 21 158 Euro



Deci, pentru  $V_2$ :

165 000 Euro  $\times$  0,149 = 24 585 Euro

**4. Valoarea actualizată a costurilor de întreținere și reparații:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**5. Valoarea actualizată a costului de înlocuire:**

S-a considerat că din acest punct de vedere nu există diferențe importante între cele două variante și de aceea această componentă s-a eliminat din calculul costului global la ambele variante.

**6. Valoarea actualizată a costului combustibilului:**

Factorul de actualizare este  $F_7=32.95$  corespunzător pentru  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  ani și  $e = 5\%$ .

Deci, pentru  $V_1$ : 1 800 Euro  $\times$  32.95 = 59 310 Euro

iar pentru  $V_2$ : 600 Euro  $\times$  32.95 = 19 770 Euro

Costurile globale ale celor două variante se obțin prin însumarea **valorilor actualizate** ale costurilor de la pozițiile 2, 4, 5 și 6 minus rândul 3, pe o perioadă de 20 ani.

**Costul global al  $V_1$**  în valori actualizate va fi:

$CG_1 = 174.000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 59\,310 \text{ Euro} - 21\,158 \text{ Euro} = 212\,152 \text{ Euro}$

**Costul global al  $V_2$**  în valori actualizate va fi:

$CG_2 = 198\,000 \text{ Euro} + 0 + 0 + 19\,770 \text{ Euro} - 24\,585 \text{ Euro} = 193\,185 \text{ Euro}$

**Concluzia:**  $CG_2 < CG_1$

*Rezultă că  $V_2$  este mai avantajoasă decât  $V_1$ , deși costă mai mult inițial, datorită, în principal, consumului redus de combustibil.*

*După cum se poate observa cu toate că, în momentul luării deciziei,  $V_1$  este mai ieftină cu 28 000 Euro decât  $V_2$ , conform Costului global, după 20 ani proprietarul va avea un avantaj de aproximativ 19 000 Euro.*

### 6.9.3. Application: comparative analysis of global costs house P

This chapter presents a calculation applications through which is realized the comparative analysis between two possible methods of realizing a building P, respectively the method of thermal insulation of the building with polystyrene and the method of thermal insulation with materials based on aerogel, much more expensive initially. The application demonstrates, using theoretical calculation method of the global costs, that the expensive method initially is more advantageous, considering the low costs afterwards, mainly, because of reduced energetic consumption.

The calculation of global costs for a owned house P

Analyze object:

202 Contribuții personale- 6

Two variants:  
**-V<sub>1</sub>**: house P, S=80m<sup>2</sup>, exterior walls thermal insulated with polystyrene, provided with mix heating system (conventional + sun energy)  
**-V<sub>2</sub>**: house P, S=80m<sup>2</sup>, exterior walls thermal insulated with 9 mm flexible nanogel panels , provided with mix heating system (conventional + sun energy)

Costs of structure 500 Euro/m<sup>2</sup>  
 Costs of heating system 350Euro/m<sup>2</sup> / mix system  
 Costs of polystyrene thermal rehabilitation 20 Euro/m<sup>2</sup>  
 Costs of flexible nanogel panels thermal rehabilitation 80 Euro/m<sup>2</sup>.

No	Initial data Variants	<b>V<sub>1</sub></b> : house P, S=80m <sup>2</sup> , thermal insulated with polystyrene, provided with mix heating system (conventional + sun energy)		
		Structure	Thermal insulation with polystyren	Mix system
1	The analyze period	20 years	20 years	20 years
2	Initial value	40,000 Euro	1,600 Euro	28,000 Euro
3	Unexpended value	32,000 Euro	-	20,000
4	Costs for maintenance and repairing	3,000 Euro	-	1,500 Euro
5	Replacement costs	-	-	-
6	Cost of functioning energy	1,600 Euro/year		

Tab.6.38. Cost of functioning energy

Clădirea neizolată avea un consum de energie de cca 350 kWh/ m<sup>2</sup>/an, adică 28,000 kwh/an, respectiv un cost al energiei de funcționare de 2,250 Euro/an. Prin reabilitarea termică în varianta tradițională, cu polistiren , consumul scade cu aproximativ 30%, respectiv la 19,600 Kwh/an, adică 1,600 Euro/an.

În urma izolării cu panouri flexibile pe bază de nanogel, consumul de energie se reduce cu 3,500 kWh/ an față de varianta tradițională, adică la 16,000 kwh/an.

No	Initial data Variants	<b>V<sub>2</sub></b> : house P, S=80m <sup>2</sup> , thermal insulated with 9 mm flexible nanogel panels , provided with mix heating system (conventional + sun energy)		
		Structure	Thermal insulation with nanogel	Mix system
1	The analyze period	20 years	20 years	20 years
2	Initial value	40,000 Euro	6,400 Euro	28,000 Euro
3	Unexpended value	32,000 Euro	-	20,000
4	Costs for maintenance and repairing	3,000 Euro	-	1,500 Euro
5	Replacement costs	-	-	-
6	Cost of functioning energy	1,280 Euro/year		

Tab.6.39. Cost of functioning energy

Rezultă :Cost of functioning energy 1280 Euro/year with nanogel insulation/ mix system S-a considerat preț de referință pentru 1 Kwh=0.08 Euro.

Auxiliary data of calculation

It is supposed that the actualization interest is  $a=10\%$ , and the fuel cost rises with an annual installment  $e=5\%$ . The costs are expressed in present values, so the mark date is *the moment of decision*.

Handling the problem:

The global costs of the two systems are obtained by adding the actualized values of the costs from the positions 2,4,5,6, minus row 3, during a 20 years period.

1.The analyze period 20 years

2.Actualized value of the initial costs:

Because it is considered that these sums are registered at mark date, the actualization isn't necessary. In conclusion:

69,600 Euro  $\times 1 = 69,600$  Euro and

74,400 Euro  $\times 1 = 74,400$  Euro

3.The actualized value of the unexpended value:

The actualization corresponding factor is  $F_2$  for

$a = 10\%$  and  $t = 20$  years [2] and it is requested the present value of the respective sum.

So, for the  $V_1$ :

52,000 Euro  $\times 0.149 = 7,748$  Euro

and for the  $V_2$ :

52,000 Euro  $\times 0.149 = 7,748$  Euro

4.The actualized value of maintenance and repairing costs:

It have been considered from this point of view that there are no differences between the two variants and that is why that component it was eliminated from the calculation of global cost at both variants. 5.The actualized value of the replacement cost:It have been considered from this point of view that there are no differences between the two variants and that is why that component it was eliminated from the calculation of global cost at both variants. 6.The actualized value of fuel cost:

The actualization corresponding factor is [2]  $F_7=32.95$  for  $a = 10\%$ ,  $t = 20$  years and  $e = 5\%$

So, for the  $V_1$ :

1,600 Euro  $\times 32.95 = 52,720$  Euro

and for the  $V_2$ :

1,280 Euro  $\times 32.95 = 42,176$  Euro

The global costs of the two systems are obtained by adding the actualized values of the costs from the positions 2,4,5,6, minus row 3, during a 20 years period.

The global cost of the  $V_1$  in actualized values will be:

$GC_1 = 69,600 \text{ Euro} + 0 + 0 + 52,720 \text{ Euro} - 7,748 \text{ Euro} = 114,572 \text{ Euro}$

The global cost of the  $V_2$  in actualized values will be:

$GC_2 = 74,400 \text{ Euro} + 0 + 0 + 42,176 \text{ Euro} - 7,748 \text{ Euro} = 108,828 \text{ Euro}$

**Conclusion:  $GC_2 < GC_1$**

It results that the  $V_2$  is more advantageous than the  $V_1$  one although it costs more than initially – because of-mainly-the reduced consume of fuel.

#### 6.9.4. Concluzii

As energy-efficiency standards for buildings become increasingly stringent, using a traditional insulation material often means having to accept increasingly thick layers of insulation in walls, floors, and roofs. This consumes valuable floor space in new construction. In renovation projects, if it is even possible to increase insulation thickness at all, significant aesthetic and functional compromises are often required to retrofit more insulation on the inside or outside of the building envelope. Performance benefits of Nanogel products in building insulation include: ultra-low thermal conductivity - as low as 0.015 W/mK (R-9.6 per inch) , hydrophobicity - repels water , non-combustible , resists settling, superior acoustic insulation , durable over time. With a thermal efficiency that is 2 to 4 times greater than traditional materials such as polystyrene, mineral wool, and cellulose, Nanogel delivers more insulation performance with less thickness. Along with high efficiency windows and daylighting systems, the use of Nanogel in walls, floors, and roofs can help a building meet even the most difficult requirements of the Passive House.

Nanogel panels are highly insulating, diffuse-light-transmitting systems available. Translucent structural composite sandwich panels are formed by permanently bonding specially formulated fiberglass-reinforced translucent faces to a grid core constructed of interlocked, structural aluminum composite I-beams. When filled with Nanogel, these

*Nanogel panels* combine exceptionally high insulation with effective light diffusion. Reduces energy consumption. Their exceptional performance delivers for a 2 ¾ inch (70 mm)-thick panels: a european U-value equal to 0.3 W/m<sup>2</sup>K or a american R-value equal to 20 ( R= 0.05 Btu/hr/ft<sup>2</sup>/°F), light transmission from 12% to 20%, solar heat gain coefficient: from 0.12 to 0.22, acoustic insulation: 35 STC.

That kind of data demonstrates to be a specific material in construction field: it insulates thermal and against noise much better than the mineral wool and styropor (expanded polystyrene) and has a thermal resistance much higher than the aluminum. This material has lots of interesting properties which could lead to possible application for windows insulation, at solar collectors, refracting walls, components in air conditioning equipments. The aerogels are transparent, appears like glass, allowing for some light to pass through, that will lead to boldly architectural possibilities. The researchers demonstrated that for producing aerogels in an imponderable environment could be produced particles with more uniform dimensions and will be reduced the effect of Rayleigh dispersion in silicone-aero gel, that makes aerogel less blue and more transparent. The higher transparency of silicone-aerogel will extend the utilization as thermal insulation material for windows and lightings, for façade stained glass walls, reducing the heat loss. It will be a possibility for execution of super-insulated window which will eliminate the deficiencies of the existent windows: the spaces between sheet and window to be filled with aerogel, a very porous window foam and transparent. The window as transparent construction element, may contribute to the passive utilization of the solar energy and may influence positively the energetic balance of a building. The thermal insulation measures of opaque part of the building, are absolutely necessary. The same importance has also the optimization of the thermal insulation properties of the stained glass part from a building, in parallel with improvement of material transparency. By an attentive construction method, harmonized with climatic conditions, the energy consumption for heating may be highly reduced comparatively with traditionally methods, that without affecting the interior comfort. The aero gel is a remarkable thermal insulator because it almost eliminates the

three transmission methods of the heating (transport, convection and radiation). It is a good convective conductor because the air can't circulate inside the network. The silicone-aerogels are, especially, good insulator at transport because the silicone it is a low heating conductor. On the other hand the metal - aerogels are less efficient insulators. The carbon aerogel it is a very good insulator at radiation because the carbon absorbs the infrared radiations in the transfer of heating. The most insulating aerogel is the silicone aero gel with additional carbon. Also, the opac walls may be covered with super insulator transparent material. The solar radiation goes to the wall surface and is converted in heat. Because of aerogel special properties of insulation, a big part of heat it is transmitted to the building. It is important to study the impact of aero gel for the construction elements from reinforced concrete, masonry or metal. Some other efficient solution may became useful: insulations with aerogel ( $\lambda \approx 0,017 - 0.007 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ).

In the same time the roofs, the platforms over the last level and over the underground level will have a good thermal insulation. A special importance has also the analyze of possibilities of joinery manufacture from aerogel ( frames etc.) especially analyzing their efficiency comparatively with the existent joinery. The granular aerogels may be used for insulation in natural light. A defined aspect among these strong points, it still remains, the problem of costs for material.



## 7. CONCLUZII GENERALE

### 7.1. Concluzii tehnice

Datorită principalelor sale proprietăți, ilustrate în fig.7.1, aerogelul, indiferent dacă granulat, compact sau încorporat în diverse alte soluții tehnice, se prezintă ca un material cu un potențial de utilizare în industria construcțiilor deosebit de ridicat :

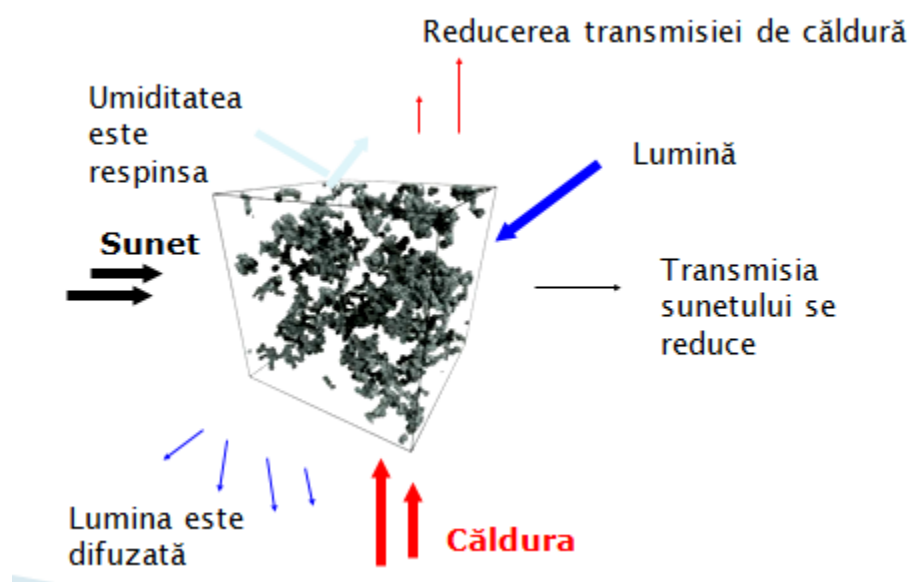


Fig.7.1. Ilustrarea proprietăților de bază ale aerogelului

Aerogelul este un material superușor pe bază de silicați, care cântărește numai 70-200 kg/m<sup>3</sup>, oferă o izolație termică și fonică excelentă, în timp ce este un material transparent. Nanogelul este numele de brand sub care Cabot Corporation produce și comercializează aerogelul granulat la Frankfurt, Germania. Materialul se compune din particule neregulate de silicați ce conțin foarte mult aer, cu un diametru cuprins 0,5-4 mm cu care se umplu diverse fațade și panouri izolatoare termic, precum polycarbonat, poliester întărit cu fibră de sticlă și panouri din sticlă izolatoare profil U. Poate fi translucid sau alb opac. Conductivitatea termică  $\lambda=0,018$  W/m<sup>2</sup>K la 25°C, ceea ce îl face mult mai eficient decât produsele alternative. În același timp nanogelul permite trecerea luminii în proporție de până la 80% pe cm grosime și reține radiația de energie, astfel încât ocupanții unei astfel de construcții beneficiază de confortul oferit de lumina naturală fără a fi afectați de radiațiile solare puternice ce produc temperaturi ridicate la interior. Datorită nanogelului, lumina ce pătrunde în interiorul clădirii este difuză, uniformă și lipsită de căldură, iar prin aceasta deosebit de plăcută. Nu există zone puternic însorite sau umbrite. De cele

mai multe ori sistemele de umbrire, precum lamelele sau jaluzele nu sunt necesare, astfel încât costurile de investiții sunt semnificativ reduse.

Particulele amorfe de silicați sunt stabile chimic, stabile la acțiunea radiațiilor ultraviolete, netoxice și neinflamabile, hidrofobe și inactice la ciuperci sau mușcari. Proprietățile materialului sunt durabile și nu sunt influențate de înclinarea sub care sunt montate elementele de construcție în care este integrat. Nanogelul este ecologic, putând fi reciclat după scoaterea din funcțiune a elementelor de construcție respective sau reintegrat în alte elemente noi.

Înserarea nanogelului în suprafețele vitrate poate aduce beneficii de necontestat. Temperatura sub un acoperiș vitrat, neizolat, este pe vreme însorită foarte ridicată, lumina solară puternică generează efect de seră, efect de orbire sau de strălucire-umbrire, ceea ce afectează ocupanții încăperii în mod neplăcut. Fațadele vitrate au de cele mai multe ori culoare închisă, ceea ce împiedică pătrunderea luminii naturale la interior. Prin umplerea panourilor de fațadă cu nanogel în diferite grosimi, se pot obține temperaturi plăcute la interior, chiar și în zile foarte însorite, se pot înlătura efectele de seră, orbire sau strălucire, se pot atinge coeficienți de transfer termic remarcabili, precum 1,3,...0,89...0,48...etc, adică o izolare termică a suprafețelor vitrate neatinsă până în prezent. Și izolarea fonică se îmbunătățește remarcabil, zgomotul deranjant al străzii sau ploii este înlăturat. Se reduc cheltuielile de încălzire, iluminare, ventilare sau climatizare, costurile de montare sau întreținere a sistemelor de protecție și umbrire. Nu sunt de neglijat nici efectele socio-psiologice generate de calitatea luminii naturale asupra ocupanților clădirilor.

În urma studiilor experimentale și teoretice s-au constatat următoarele:

- Se confirmă calitatea aerogelului de excepțional izolator, ca material destinat realizării suprafețelor vitrate:  $\lambda = 0,017-0,020$  W/mK la 25°C,
- Se confirmă performanța excepțională de izolare termică a saltelelor flexibile de aerogel  $\lambda = 0,013$  W/mK la 25°C
- Spre deosebire de sticla obișnuită sau panourile de policarbonat fără aerogel încorporat, a căror inerție termică este aproape nulă, aerogelul are o inerție termică relativ ridicată, chiar și în grosimi reduse, ceea ce produce efecte benefice în privința confortului în spațiul adiacent suprafeței vitrate respective, iar prin corelarea gradului de ocupare a clădirii cu evoluția termică a suprafețelor vitrate cu aerogel încorporat, se pot realiza reduceri semnificative ale consumurilor de energie pentru încălzire sau răcire, a emisiilor de CO<sub>2</sub>, precum și a costurilor de întreținere a clădirii. Este de la sine înțeles, având în vedere premisele de fabricație ale cubului cu nanogel încorporat studiat, ca la o realizare profesionistă a suprafeței vitrate cu nanogel încorporat, rezultatele să fie mult superioare.
- Avantajele obținute prin utilizarea elementelor de suprafață vitrată cu aerogel translucid încorporat, sau a materialelor destinate izolării suprafețelor pline, precum saltele flexibile de aerogel sau granulat opac sunt multiple:
- Caracteristici și avantaje pentru arhitecți și constructori: suprafețe vitrate mari, libertatea de arhitectură, neumbrirea, lipsa de investiții, absența fenomenului de orbire, reducerea costurilor de încălzire, absența curenților de aer, zgomotului de ploaie sau grindină, mai bun confort de locuire, creșterea izolării acustice, sporirea productivității, mai mare libertate estetică
- Excelente avantaje legate de fizica construcțiilor: combinație de transmisie a luminii și izolație, mai bună difuzie a luminii, nici o schimbare de culoare, izolare termică mărită, nu există curenți de aer, confort mai bun la costuri



- mai mici, modificarea punctului de rouă, izolație fonică superioară, greutate foarte redusă.
- Utilizarea luminii naturale prin acoperiș și fațadă pe toată durata zilei cu pierderi minime de căldură,
  - O foarte ridicată transmisie a luminii (pana la 80% pe cm),
  - Reducerea transmiterii radiațiilor solare (mai puțină căldură în timpul verii),
  - Împrăștierea excelentă a luminii (lumina difuzată se împarte în mod egal în clădire.
  - Corespunzător se reduce efectul de orbire și confortul luminos în încăpere este mult îmbunătățit.
  - Stabilitate la radiații ultraviolete și rezistență la umezeală (nu favorizează apariția ciupercilor sau mușcăiului, proprietățile fizice sunt permanente),
  - Este incombustibil și nu fumegă,
  - Greutate redusă ( $70-200 \text{ kg/m}^3$ ),
  - Porozitatea foarte mare și structura fină a aerogelului asigură îmbunătățirea proprietăților de izolare acustică. Datorită structurii sale solide reduse, există puține vibrații în faza solidă. Undele sonore sunt transmise la o viteză redusă de efectele de fricțiune ( $100 \text{ m/s}$ , comparativ cu  $340 \text{ m/s}$  în aer).
  - Proprietățile de izolare acustica sunt deosebit de importante la frecvențe joase ( $40-500\text{Hz}$ ), reducând zgomote ca sunetul de avioane sau camioane. Urechea umană poate distinge o scădere de 3 dB, astfel, o scădere de 5 dB este extrem de perceptibilă (ca în cazul unui panou din policarbonat 25 mm grosime, în cazul căruia capacitatea de izolare crește prin utilizarea aerogelului de la 18 la 23 dB).
  - Utilizarea aerogelului în suprafețele vitrate aduce îmbunătățiri majore ale capacității lor de izolare termică și fonică, reflectate în primul rând, în reducerea majoră a *coeficientul de transfer termic*  $U$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]. Un coeficient  $U$  mai mic înseamnă o pierdere mai redusă de căldură, deci o izolare mai bună ( $U=\lambda/g$ ). Reducerea coeficientului  $U$  înseamnă îmbunătățirea caracteristicilor termice ale anvelopei clădirii și/sau o mărire a suprafeței vitrate în comparație cu suprafețele vitrate standard considerate.
  - Policarbonatul, poliesterul sau sticla combinate cu izolația Nanogelului și caracterul său translucid oferă o libertate deosebită în arhitectură asigurând, în același timp și respectarea reglementărilor energetice stricte în clădire, respectă cerințele ecologice prin reducerea cererii de energie pentru încălzire, aer condiționat, și iluminat, reducerea emisiilor de  $\text{CO}_2$  și costurilor de întreținere. Lamelele de protecție solară devin inutile, astfel încât se reduc costurile de investiție și întreținere, fără ca estetica clădirii sau fațadele să aibă de suferit.

## 7.2. Aprecieri de sinteză

Teza de doctorat reprezintă, în primul rând, o lucrare de sinteză a informațiilor despre aerogel ca material super-performant de construcție, cu caracter de unicat pe plan național prin multitudinea și complexitatea informațiilor prezentate, dar și datorită ineditului multora dintre ele, având în vedere că la momentul actual, în România, principalele informații despre aerogel sunt cele legate de nominalizările în Cartea Recordurilor pentru unele dintre performanțele sale, pentru utilizarea de către NASA în unele dintre proiectele sale în Cosmos ori alte curiozități comerciale sau jurnalistice. Autoarea a consultat o vastă bibliografie de specialitate având acces la biblioteci tehnice internaționale. Prezenta lucrare combină profesionist, eficient și

În spirit ingineresc, studiile teoretice cu încercările experimentale, informațiile obținute în sutele de ore de căutări și traduceri în bibliotecă sau pe surse Web, cu datele puse la dispoziție, cu mare generozitate, de singurul producător de aerogel din lume -Cabot Corporation, Germania- sau de diferite întreprinderi specializate în acest domeniu, precum IGETEC GmbH și Innovative Materials UG din Germania, Airglass AB din Suedia-, dar mai ales cu rezultatele obținute în orele de cercetare desfășurate în cadrul Departamentului de Construcții civile al Facultății de Construcții Timișoara sau în hala de producție și laboratorul de cercetare al firmei Brück KG din Germania. În demersurile noastre științifice ne-au fost de un real folos și câțiva investitori privați din Germania care, cu amabilitate și dorință de facilitare a cunoașterii, au acceptat, atât recomandările noastre în a folosi soluțiile cu nanogel în reabilitarea higrotermică a construcțiilor cărora au dorit să le îmbunătățească eficiența energetică, cât și pentru faptul că ne-au permis efectuarea unor studii sau măsurători și ne-au împărtășit opiniile domniilor lor în privința efectelor benefice ale introducerii aerogelului în anvelopa construcțiilor respective. Astfel, prezenta lucrare pune la dispoziția celor interesați informații prețioase despre potențialul aerogelului ca material de construcție și nu numai, câteva sisteme și concepte folosite cu succes pe plan internațional, diferite soluții tehnice pentru eficientizarea energetică a anvelopei clădirii, îndeosebi a suprafețelor vitrate, demonstrând potențialul acestui material de a fi folosit cu succes și pe scară largă și în domeniul reabilitării higrotermice a clădirilor din România.

O parte importantă a tezei, o constituie rezultatul studiilor masterale ale autoarei în cadrul Departamentului de Matematică al Universității Politehnica din Timișoara sub coordonarea domnului conf.dr. Doru Păunescu, materializat în capitolul 5 prin descrierea câtorva metode și modele matematice pentru analizarea unor construcții și mecanisme frecvente de degradare termică. Sunt descrise amănunțit câteva studii de eficiență energetică a unor soluții de reabilitare higrotermică a clădirilor de locuit, bazate pe metode matematice și compararea lor cu analizele experimentale realizate în paralel sau cu alte metode matematice validate. Studiile au demonstrat gradul foarte redus al erorilor comparativ cu al rezultatelor obținute empiric sau alte metode matematice validate, fapt ce recomandă utilizarea acestor modele de cercetători și proiectanți.

Cea mai importantă dintre tematicile vizate ca direcție de cercetare a constituit-o, însă, deosebit de actuala, complexa și îndelung dezbătută temă a *îmbunătățirii performanței termice a clădirilor de locuit*. Ineditul constă în abordarea aerogelului ca soluție de izolare superperformantă a *suprafeței vitrate* a clădirilor, oportunitate creată de transparența deosebit de ridicată și densitatea redusă a materialului. În plus, aerogelul absoarbe radiația infraroșie (ceea ce permite trecerea luminii solare, dar nu și a căldurii) și prezintă inerție termică ridicată chiar și în grosimi mici, aspecte ce îl recomandă și pentru beneficiile aduse în timpul sezonului cald. În acest areal beneficiile înregistrate sunt semnificative, conducând la un raport *izolare termică și fonică – preț* sunt acceptabile.

Desigur, izolarea cu materiale ce au în componență aerogeluri, este deosebit de eficientă nu numai la suprafețe vitrate, ci și la cele opace. Și pereții opaci pot fi îmbrăcați cu un material superizolator transparent, precum saltelele flexibile de aerogel sau nanogelul alb opac, sub rezerva, însă, a unor economii mai puțin marcante, raportat la performanțele materialelor de izolație tradiționale utilizate în prezent pe scară largă și ale căror costuri de producție sunt mult mai scăzute comparativ cu cele ale aerogelului.

Inserarea unui strat de aerogel în pereții exteriori ai caselor și în compoziția gemurilor ferestrelor, ne poate scapa atât de căldura torida a verii, cât și de frigul

sezonului rece, dar și de aparatura electrocasnică mare consumatoare de energie electrică, așa cum sunt aparatele de aer condiționat.



Fig.7.2. Izolarea cu aerogel a elementelor tip bară

De asemenea, prin performanțele ridicate de izolare termică la grosimi mici (10 mm), saltelele flexibile de aerogel își pot găsi utilizare în domenii în care izolațiile convenționale de până acum nu au avut eficiență. Astfel de exemple pot fi pereții curbi, arcele, cupolele, ușile sau reabilitarea ulterioară a acoperișurilor, pardoselilor, pereților, fără ca prin aceste măsuri să se micșoreze semnificativ volumul încăperilor. În mod obișnuit, într-o clădire din metal sau lemn, cele mai multe elemente-bară sunt slab sau deloc izolate. Aceasta reprezintă o parte considerabilă din anvelopa clădirii lăsată deschisă punților termice, respectiv pierderilor masive de energie. Izolarea elementelor din lemn sau metal, dar și a betonului sau zidăriei, cu saltele de aerogel, poate fi o soluție foarte eficientă de eliminare a punților termice și creșterea eficienței energetice. Această soluție este deosebit de accesibilă, având în vedere că, datorită caracterului hidrofob și montării foarte ușoare, este eficientă și la interiorul și la exteriorul elementelor respective. De asemenea, saltelele de aerogel se recomandă izolării îmbinărilor, șuruburilor, trecerilor de conducte, etc.

Este lesne de intuit că și montarea unui acoperis transparent ce permite patrunderea întregului spectru de lumină fără vreun pic de căldură ar reprezenta un salt urias din punct de vedere al eficienței energetice.

Totuși, numai actual prețul ridicat face ca aerogelul să fie considerat, încă, un material inaccesibil și exotic: 2000-5000 Euro/m<sup>3</sup> nanogel granulat, 80-100 Euro/mp saltelele flexibile, 250-300 Euro/mp panourile din policarbonat cu nanogel încorporat. Pare, însă, inevitabil, prin cunoașterea avantajelor sale, să devină rapid una dintre uneltele de bază ale ecologiștilor și ale omenirii în general, iar prin fabricarea sa la scară industrială, prețul să scadă considerabil, astfel încât materialul să poată fi folosit larg, conform performanțelor sale. Economii de energie permise de aerogel pot, însă, în toate cazurile, să amortizeze investiția inițială fie imediat, fie în termen de luni sau câțiva ani, în primul rând prin reducerea costurilor de încălzire sau climatizare, iar în al doilea rând pentru că nu mai sunt necesare tehnologiile de protecție sau umbră.

Această soluție este foarte eficientă, mai ales, în cazul școlilor, sălilor de expoziție, de sport, halelor industriale, aeroporturi, spitale, bănci, case de cultură, mall-uri, etc, cu suprafețe vitrate deosebit de mari, dar și a clădirilor rezidențiale, chiar dacă, dat fiind necesarul redus de material, costurile ar putea fi mai ridicate.

Evaluarea bazată pe performanță și reabilitarea energetică a clădirilor s-a materializat în studii de caz privind analiza comparativă a costurilor globale în câteva aplicații de calcul prin care am realizat analiza comparativă între două variante posibile de realizare a unor clădiri de locuit P+1E, respectiv P, în varianta izolării termice a clădirii cu polistiren și varianta izolării termice cu materiale pe bază de aerogel (saltele gri), mult mai costisitoare inițial. Aplicațiile de calcul au demonstrat că varianta mai scumpă inițial este mai avantajoasă, datorită cheltuielilor ulterioare mult mai reduse, în principal, datorită reducerii consumurilor energetice. În același timp, comparația cu performanțele standard ale casei pasive, a demonstrat că aerogelul este un material cu potențial în aducerea elementelor de anvelopă la standardul de casă pasivă, prin utilizarea lui pot fi realizate îmbunătățiri

spectaculoase ale performanțelor termice într-o clădire și poate fi redus considerabil costul global, în primul rând prin reducerea cheltuielilor ulterioare.

Avându-se în vedere puținele informații existente la ora actuală în România, despre aerogel ca material de construcție, considerăm că rezultatul demersului nostru științific, poate aduce plus valoare în industria construcțiilor din țara noastră. Sperăm ca aducându-l cât mai mult la cunoștința specialiștilor, executaților și investitorilor, el să convingă și să pledeze cu succes în favoarea utilizării nanomaterialelor și nanotehnologiilor în reabilitarea higrotermică a clădirilor din țara noastră.

### 7.3. Noi oportunități pentru viitoare teme de cercetare

Studiile teoretice și cercetările întreprinse de autoarea lucrării deschid perspectiva realizării unor alte căutări mai aprofundate în domeniul „aerogelul ca material de construcție”. Se poate afirma că ele constituie o resursă neepuizată, încă, de informații științifice, informații ce ar putea constitui baza unor posibile continuări a cercetării în domeniul abordat. Acestea pot fi deosebit de utile viitorilor doctoranzi, pentru dezvoltarea unor teme de cercetare noi, precum: posibilități de utilizarea aerogelului în aducerea elementelor anvelopei la standardul de casă pasivă, posibilități de reducerea grosimii elementelor de anvelopă prin încorporarea unui strat subțire de aerogel în structura acestora, identificarea unor noi posibilități de utilizare a aerogelului în izolarea zonelor greu accesibile altor materiale izolatoare, precum casete de ruloari, îmbinări, șuruburi, rame sau cadre din lemn sau metal, goluri mici și neuniforme etc., având în vedere principalele avantaje ale aerogelului- și anume valori ridicate de izolare la grosimi mici ale stratului sau caracterul granular-, posibilități de utilizarea granulatului de aerogel (nanogelul) în realizarea mortarelor și betoanelor superizolatoare, utilizarea saltelelor de aerogel în evitarea punților termice etc. Deosebit de important, având în vedere hidrofobia saltelelor flexibile de aerogel și a aerogelului granulat, ar putea fi găsierea unor soluții pentru rezolvarea problemelor de condens la pereții exteriori, precum și reabilitarea pereților exteriori multistrat, în care există și un strat de aer.



Fig. 7.3. Reabilitarea termică a pereților plini cu aerogel

În încheiere, poate cea mai ilustrativă concluzie ar fi câteva întrebări retorice, anume: care ar fi fost impactul utilizării aerogelului în cazul impunătoarelor clădiri din Piața 700- Timișoara dacă în suprafețele vitrate s-ar fi inserat nanogel translucid? Ce economii s-ar fi realizat în ceea ce privește costurile de încălzire și climatizare? Și care ar fi fost impactul asupra confortului ocupanților clădirii? Poate că, dacă în momentul proiectării arhitecturii și inginerii ar fi avut cunoștința de o astfel de alternativă, ar fi utilizat-o, chiar dacă, am putea presupune costurile inițiale ale fațadelor cu nanogel le-ar fi depășit pe cele ale variantei cu sticlă și elemente de protecție și umbră. Cu certitudine, în timp, economiile masive de energie și

costurile reduse de întreținere ar fi condus la amortizarea rapidă a investiției. Desigur, tuturor acestor beneficii li se poate adăuga și avantajul estetic...



Fig. 7.4. Centrul de afaceri P-ța 700, Timișoara



Fig. 7.5. City Business Centre P-ța 700, Timișoara

National Aquatic Centre „Water Cube” Beijing, China unde s-a încorporat aerogel în anvelopa clădirii, poate fi un răspuns relevant în acest sens....



Fig. 7.6. Centrul național acvatic, Beijing



## 8. ANEXE

### 8.1. Anexa 1: Dicționar de termeni

#### *Coeficientul de aport de caldura solara*

Aportul de caldura solara care intra prin fereastra intr-o incapere fata de radiatia incidenta. Aportul de caldura solara include caldura solara transmisa direct si radiatia solara absorbita, re-radiata, condusa, sau convectionata intr-un spatiu.

#### *Dublu / multiplu vitraj*

O modalitate de a inchide orice tip de gol in perete cu ajutorul a doua sau mai multe foi de sticla despartite printr-una sau mai multe camere de aer sau gaz, in scopul de a opri transferul de caldura si/sau transmisia de sunet.

#### *Eficacitate luminoasa*

Transmisia vizibila a unui sistem vitrat impartita la coeficientul de aport de caldura solara (sau de umbrire). Acest raport este util pentru alegerea produselor potrivite pentru diferite climate (cele care transmit mai multa caldura decat lumina si cele care transmit mai multa lumina decat caldura).

#### *Emisivitate*

Masura care arata capacitatea unei suprafete de a emite radiatie in gama de unde lungi infrarosii. Prin aceasta valoare se masoara radiatia calorica a unei suprafete raportata la un asa numit "corp negru" definit exact .

#### *Factorul B (coeficientul de umbrire)*

Factorul mediu de transmisie a energiei solare este raportat la gradul de transmisie totala de energie a unui geam de 4 mm float clar (constanta de 80%).

#### *Geam LowE*

Sticla de atenuare calorica, avand aplicate o serie de straturi functionale. In functie de valorile tehnice si calitatile optice se pot diferentia doua grupe de sticle LowE:

- o LowE hard –sticla pirolitica avand straturi acoperitoare de oxizi de staniu pe o baza de oxid de siliciu
- o LowE soft –sticla sputerizata cu cca 5 straturi de acoperire unul peste altul

Sticla LowE poate reduce transferul de caldura de 5-10 ori. Fiecare strat acoperitor LowE aplicat pe sticla este echivalentul unei foi de sticla suplimentare. Straturile soft sunt mai subtiri si se aplica la temperature mai joase.

#### *Low-E (emisivitate joasa)*

O valoare scazuta de emitere( radiere) a energiei radiante absorbite. Energia radianta (caldura), de fapt undele lungi, sunt re-radiate spre sursa.

#### *Migratie*

Imprastierea sau curgerea unui element constitutiv al unui produs pe/in suprafetele adiacente.

#### *Parapet*

Este o sticla opacizata avand rolul principal de a masca elemente ale constructiei sau aspecte din interior pentru a nu fi vazute din afara cladirii. Opacizarea se poate face prin serigrafie cu culori ceramice sau cu folie poliesterica. Pentru a evita spargerea datorata stresului termic se recomanda securizarea. Pentru obtinerea unor efecte de continuitate a fatadei se recomanda utilizarea unor tipuri de sticla

care au corespondent securizabil. Continuitatea optica poate fi influentata de lumina exterioara:

- cer acoperit = discrepante mai mari intre zonele transparente si cele opace datorate intensitatii mari a luminii din interior si efectului de adancime creat in zonele opace;
- cer senin ,stralucitor = dominanta vizuala este reflexia exterioara datorat intensitatii mari luminoase naturale de 50-100 de ori mai mare decat cea din interior.

#### *Punct de roua*

Temperatura de punct de roua este temperatura la care umiditatea relativă atinge valoarea de 100%. Cand scade temperatura la umiditate constanta apare roua.

Temperaturi de punct de roua pot sa apara in :

- o interiorul camerei geamului izolant (un geam izolant nou trebuie sa aiba punctual de roua < -60 grade C) Aceasta valoare este o caracteristica de calitate a geamului izolant si ii asigura o durata mare de viata.
- o suprafata dinspre camera a geamului izolant (poate aparea condensul cand se proiecteaza brusc aer cald pe suprafata rece a foii interioare sau cand in incapere se mentine aerul rece si umed).
- o suprafata exterioara a geamului (rareori poate aparea condensul si pe exterior, de exemplu in diminetile reci si foarte umede, datorita racirii geamului izolant pe timpul noptii) – acest condens dispare la aparitia primelor raze de soare.

#### *Securizare (sticla securizata / tempered / heat strenghtened glass)*

Procedeu de intarire a sticlei la cald urmat de racirea brusca. Metoda consta in taierea la dimensiuni a panourilor de sticla cerute de proiect, prelucrarea marginilor si introducerea lor intr-un cuptor de securizare orizontal. In cuptor sticla este incalzita pana la aprox. 680 grade C. Imediat se trece la racirea rapida prin sisteme de ventilare, in mod uniform, pe ambele suprafete. Procesul de racire creeaza o configuratie specifica a zonelor de tensiune si compresie - datorita capacitatii de reactie a sticlei la diferentele de temperatura partea exterioara se raceste rapid si se intareste; prin racirea in continuare si a miezului sticlei se creaza o tensiune care porneste din exterior (tensiune de presare) spre interior (tensiune de succiune). Aceste tensiuni ajung intr-o stare de echilibru, ceea ce confera produsului obtinut calitatile specifice sticlei securizate.

#### *Stres termic*

Exista situatii in care este obligatorie calirea / securizarea sticlei pentru a rezista stresului indus termic intr-un anumit tip de sticla. Acest stres este provocat de o serie de factori care tin de proiect : tipul de sticla cerut , zonele de umbrire si desenul acestora. , amenajarile interioare de opacizare si care pot provoca spargerea sticlei daca nu sunt luati in considerare . In industria sticlei se cunoaste foarte bine tipul de spartura provocata de stresul termic , ca si alte modele de sparturi,provocate din cauze mecanice ( deteriorare accidentala prin atingere cu obiecte contondente , montaj defectuos in rama,etc )

#### *Ultraviolete*

Numele portiunii invizibile din spectrul luminos cu lungimi de unda mai scurte de 390 nanometri.

#### *Valoarea g (valoarea transmisiei de energie)*

Valoarea g masoara in procente eficienta energetica totala a sistemului vitrat fata de radiatia solara in gama de lungimi de unda de la 300 la 2500 nm. Valoarea este



normata prin EN 410. Cu cat valoarea  $g$  este mai mare cu atat va patrunde mai multa radiatie solara prin vitraj spre interior. Pentru o fereastră idealul din punct de vedere al transmisiei de energie valoarea  $g$  ar trebui sa fie 1,00 sau 100%. La sticla normala valorile sunt de 0,7 pana la 0,9. Un grad inalt de transmisie de energie inseamna o incarcare termica ridicata a interiorului. Geamurile care atenuaza caldura sunt capabile sa produca mai multa caldura decat cea care se pierde prin ele. Radiatia solara va fi absorbita de elementele de constructie interioare si canalizata spre interior sub forma de radiatie calorica care va fi apoi retinuta prin capacitatea de atenuare a ferestrei. Acest efect este necesar din punct de vedere energetic in timpul iernii, dar extrem de separator in timpul verii. De aceea se recurge in functie de climat la solutii complexe (LowE + alte tipuri de sticla)

*Valoarea K (vezi valoarea U)*

*Valoarea Ug*

Coeficientul de transfer termic reprezinta cantitatea de caldura care trece prin 1 mp de vitraj intr-o unitate de timp, la o diferenta de temperatura de 1 grad intre aerul din exterior si cel din interior. Cu cat este mai mica valoarea  $U_g$  cu atat este mai mare capacitatea de izolare a sistemului vitrat. Unitatea de masura a valorii  $U$  este  $W/m^2K$ . Valoarea  $U_g$  inlocuieste valoarea  $U_v$  valabila in trecut (conf. EN 673 / 674)

*Valoare U echivalent (valoare de bilant U)*

Castigurile pasive de energie solara realizate numai prin intermediul sticlei sunt considerate sub forma de valori echivalente  $U$  ( $U_{eq}$ ,  $F$ ). Aceasta valoare se refera la aportul de energie solara aferent pozitiei fata de soare a suprafetelor vitrate ale ferestrelor. Valoarea de bilant  $U$  se formeaza din valoarea locala  $U$  a ferestrei ( $U_w$ ), din transmisia totala de energie a vitrajului ( $g_v$ ) si din coeficientul de radiatie ( $S$ ) in functie de pozitia fata de soare. Cantitatea de radiatie solara absorbita de vitraj. Absorbția transformă energia radiată în energie calorică și conduce la încălzirea sticlei absorbante.

*Reflexia de energie solara*

In spectrul solar, procentajul de energie solara care este reflectata de suprafata (suprafetele) de sticla.

*Transmisia de energie solara*

Procentajul de energie ultravioleta, vizibila si infrarosie din spectrul solar care este transmisa prin sticla.

*Valori ale transferului de lumina vizibila*

- o Transmisie de lumina vizibila (eficienta luminoasa)

Procentul de lumina vizibila (380-780 nm) din spectrul solar care este transmisa prin sticla. Valoarea eficientei luminoase depinde de grosimea sticlei, de compozitia chimica, culoare si straturile acoperitoare. Foaia de sticla float clara are o valoare de 0,90 (permite trecerea a 90% din lumina vizibila), iar geamul izolant normal, clar, fara acoperiri de cca 82%. Datorita produselor noi cu acoperiri speciale (Low E) se ajunge la o transmisie de lumina vizibila asemanatoare sticlei float clara, dar cu 60% mai multa protectie calorica.

- o Reflectie de lumina vizibila

Procentul de lumina vizibila din spectrul solar care este reflectata pe suprafata sticlei.

## 8.2. Anexa 2: Pregătirea și efectuarea experimentelor

În cele ce urmează sunt redată aspectele esențiale din timpul pregătirii elementelor experimentale și din timpul încercărilor propriu-zise.



Fig.8.1. Pregătirea materialelor la firma Brück-KG Bad Camberg, Germania



Fig.8.2. Trasarea panoului din policarbonat pentru confecționarea cubului

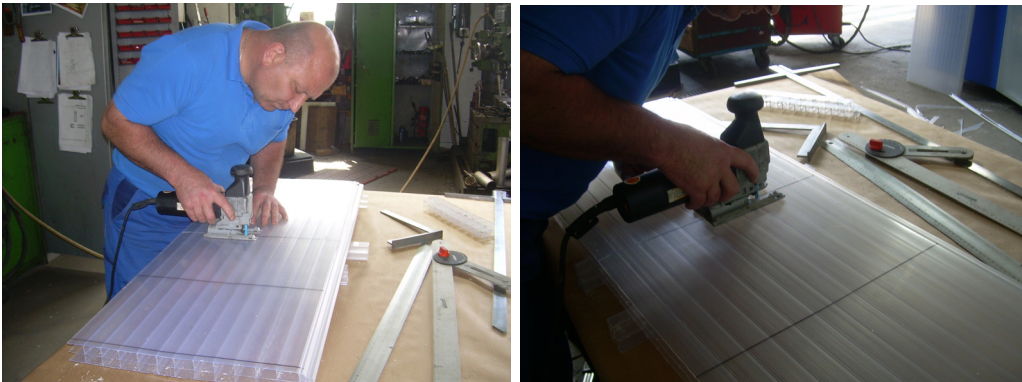


Fig.8.3. Tăierea panoului din policarbonat pentru confecționarea cubului



Fig.8.4. Confecționarea cubului



Fig.8.5. Montarea cubului

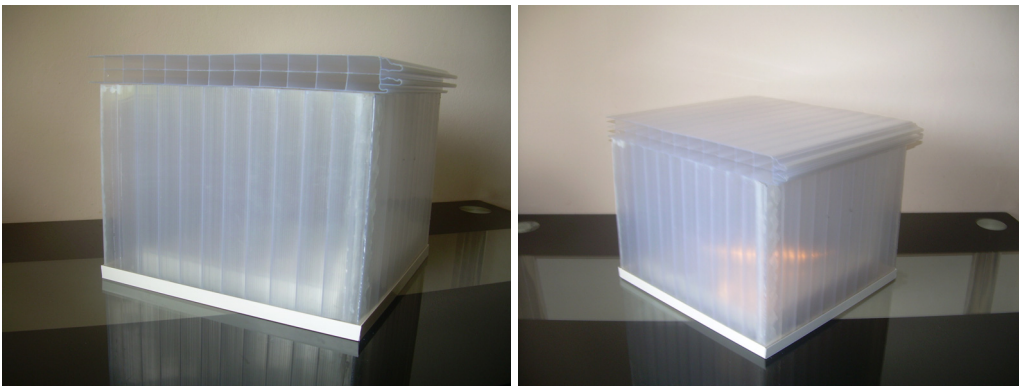


Fig.8.6. Montarea cubului




Fig.8.7. Umplerea cubului cu nanogel granulat alb, opac



Fig.8.8. Compactarea materialului prin vibrație pe suprafață vibrantă

### 8.3. Anexa 3: Rapoarte de stabilirea conductivității termice a materialelor

	<b>Test Report</b>	Report Generated on: 06-Iul-2011 10:11:58
	Test ID: TCI-344 Instrument: TH89-05-00102 Test Method: IZOLATII	Software Version: 1.1.2129 Test started on: 06-Iul-2011 Performed by: Administrator User ID: ADMIN
	Project: Teză doctorat Material: Aerogel compact Material Lot:	

Measurement	Repeat	Sensor ID	Start Time	Effusivity $\frac{W \cdot s^{1/2}}{(m^2) \cdot K}$	Conductivity (W/mK)	DeltaT (°C)	V0 (mV)
1	1	T008	10:03:21	80	0.018	1.32	2.443.90
			Measurement Average	80	0.018		
2	1	T008	10:04:24	79	0.017	1.32	2.444.85
			Measurement Average	79	0.017		
3	1	T008	10:05:26	78	0.017	1.32	2.444.46
			Measurement Average	78	0.017		
4	1	T008	10:06:29	79	0.017	1.31	2.444.72
			Measurement Average	79	0.017		
5	1	T008	10:07:31	81	0.017	1.32	2.444.04
			Measurement Average	81	0.017		

Signed by: \_\_\_\_\_ on: \_\_\_\_\_

<b>Mathis</b>	<b>Test Report</b>	Report Generated on: 07-Iul-2011 9:57:44
	Test ID: TCI-343 Instrument: TH89-05-00102 Test Method: IZOLATII Project: Teză doctorat Material: Saltea aerogel alba Material Lot:	Software Version: 1.1.2129 Test started on: 07-Iul-2011 Performed by: Administrator User ID: ADMIN


Measurement	Repeat	Sensor ID	Start Time	Effusivity $\frac{W \cdot s}{(m^2) \cdot K}$	Conductivity (W/mK)	DeltaT (°C)	V0 (mV)
1	1	T008	9:50:36	74	0.012	1.30	2,445.14
			Measurement Average	74	0.012		
2	1	T008	9:51:30	73	0.013	1.32	2,445.00
			Measurement Average	73	0.013		
3	1	T008	9:52:41	75	0.013	1.32	2,444.27
			Measurement Average	75	0.013		
4	1	T008	9:53:44	73	0.013	1.32	2,445.06
			Measurement Average	73	0.013		
5	1	T008	9:54:46	74	0.014	1.38	2,444.31
			Measurement Average	74	0.014		

Signed by: \_\_\_\_\_ on: \_\_\_\_\_

	<b>Test Report</b>		Report Generated on: 07-Iul-2011 10:57:44	
	Test ID: TCI-343	Instrument: TH89-05-00102	Test Method: IZOLATII	Software Version: 1.1.2129
	Project: Teză doctorat	Material: Saltea aerogel gri	Material Lot:	Test started on: 07-Iul-2011
				Performed by: Administrator
				User ID: ADMIN

Measurement	Repeat	Sensor ID	Start Time	Effusivity $\frac{W \cdot s^{1/2}}{(m^2) \cdot K}$	Conductivity (W/mK)	DeltaT (°C)	V0 (mV)
1	1	T008	10:50:38	74	0.012	1.22	2,445.14
			Measurement Average	74	0.012		
2	1	T008	10:51:39	73	0.013	1.32	2,445.00
			Measurement Average	73	0.013		
3	1	T008	10:52:41	75	0.013	1.32	2,444.27
			Measurement Average	75	0.013		
4	1	T008	10:53:44	73	0.013	1.32	2,445.08
			Measurement Average	73	0.013		
5	1	T008	10:54:46	74	0.013	1.32	2,444.31
			Measurement Average	74	0.013		

Signed by: \_\_\_\_\_ on: \_\_\_\_\_

	<b>Test Report</b>		Report Generated on: 07-Iul-2011 10:11:56	
	Test ID: TCI-344	Instrument: TH89-05-00102	Software Version: 1.1.2129	Test started on: 07-Iul-2011
	Test Method: IZOLATII	Project: Teză doctorat	Material: Saltea aerogel bej	Performed by: Administrator
	Material Lot:		User ID: ADMIN	

Measurement	Repeat	Sensor ID	Start Time	Effusivity $\frac{W \cdot s}{(m^2) \cdot K}$	Conductivity (W/mK)	DeltaT (°C)	V0 (mV)
1	1	T008	10:03:21	80	0.013	1.32	2,443.90
		Measurement Average		80	0.013		
2	1	T008	10:04:24	79	0.013	1.32	2,444.85
		Measurement Average		79	0.013		
3	1	T008	10:05:28	78	0.013	1.32	2,444.48
		Measurement Average		78	0.013		
4	1	T008	10:06:29	79	0.013	1.31	2,444.72
		Measurement Average		79	0.013		
5	1	T008	10:07:31	81	0.013	1.32	2,444.04
		Measurement Average		81	0.013		

Signed by: \_\_\_\_\_ on: \_\_\_\_\_



### 8.4. Anexa 3: Formule pentru calculul factorilor de actualizare la aplicarea MCG (metoda costului global)

## ANEXA 8.4.1

## FORMULE PENTRU CALCULUL FACTORILOR DE ACTUALIZARE

NR. CRT	SIM BOL	FORMULE DE CALCUL	SEMNIFICAȚIE	SENSUL ACTUALIZĂRII	Se dă <b>Se cere</b>
0	1	2	3	4	5
1	$F_1$	$(1+a)^t$	Costuri consemnate anterior datei reper	$\longrightarrow$	$\frac{C_T}{C_P}$
2	$F_2$	$\frac{1}{(1+a)^t}$	Costuri consemnate ulterior datei reper	$\longleftarrow$	$\frac{C_V}{C_P}$
3	$F_3$	$\frac{a(1+a)^t}{(1+a)^t - 1}$	Sumele distribuite uniform pe perioada $n$ , cunoscând valoarea inițială	$\longrightarrow \longrightarrow \longrightarrow$	$\frac{C_P}{c_j}$
4	$F_4$	$\frac{(1+a)^t - 1}{a(1+a)^t}$	Valoarea inițială cunoscând sumele distribuite uniform	$\longleftarrow$	$\frac{c_j}{C_P}$
5	$F_5$	$\frac{a}{(1+a)^t - 1}$	Sumele distribuite uniform pe perioada $n$ , cunoscând valoarea finală	$\longleftarrow \longleftarrow \longleftarrow$	$\frac{C_V}{C_j}$
6	$F_6$	$\frac{(1+a)^t - 1}{a}$	Valoarea finală cunoscând sumele distribuite uniform	$\longrightarrow$	$\frac{c_j}{C_V}$
7	$F_7$	$\frac{(1+e)}{(a+e)} \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+a} \right)^t \right]$	Valoarea inițială cunoscând că sumele sunt neuniforme	$\longleftarrow$	$\frac{c_j^t}{C_P}$

$a$  = rata de actualizare  
 $e$  = rata de escaladare a prețurilor  
 $C_P$  = costuri prezente  
 $c_j$  = sume distribuite uniform

$t$  = intervalul de timp de la data reper  
 $C_T$  = costuri trecute  
 $C_V$  = costuri viitoare  
 $c_j^t$  = sume neuniforme



## 9. BIBLIOGRAFIE

- [ 1 ] Akander J. (2000): „Metoda ORC – Modelarea efectiva a performantei termice a componentelor multistrat ale cladirii”, Buletin Nr. 180, KTH – Departamentul Tehnologiei de Executie, Stockolm.
- [ 2 ] Berevoescu L., V.Stoian, “Nanomaterial with high thermal, acoustic and optic performances: aerogel, possibilities of the utilisation in construction industry”, Buletinul stiintific al Universitatii Politehnica Timisoara, Ed. Politehnica, Tomul 52(66), Fascicola 2, 2007
- [ 3 ] Berevoescu L., V.Stoian, D.Dan, “Applications of the method of global costs”, Buletinul stiintific al Universitatii Politehnica Timisoara , Ed. Politehnica, Tomul 52(66), Fascicola 2, 2007
- [ 4 ] Berevoescu L., V.Stoian, D.Dan, “Wärmedämmungslösungen mit den Höchstleistungsdämmstoffe”, Conferinta Nationala Tehnico-Stiintifica,cu participare internationala, editia a V-a,Tehnologii moderne pentru mileniul III, Analele Universitatii din Oradea / Fascicula de constructii si instalatii hidroedilitare, Volum X, Ed. Universităţii din Oradea, Romania,2007
- [ 5 ] Berevoescu L., V.Stoian, D.Dan, “Solutii moderne pentru imbunatatirea performantelor energetice ale cladirilor”, Conferinta Nationala Tehnico-Stiintifica,cu participare internationala, editia a V-a, Tehnologii moderne pentru mileniul III, Analele Universitatii din Oradea / Fascicula de constructii si instalatii hidroedilitare, Volum X,, Ed.Universităţii din Oradea, Romania, 2007
- [ 6 ] Berevoescu L., V.Stoian, D.Dan, „Energetic audit methods-part of sustainable development process”, Proceedings of the first workshop, COST Action C25-Sustainability of Constructions/ Integrated Approach to Lifetime Structural Engineering, LISABONA, Portugal,2007
- [ 7 ] Berevoescu L., V.Stoian , D.Dan, „Comparative analysis of global costs-decision method in investments”, Analele Universitatii din Oradea / Fascicula de constructii si instalatii hidroedilitare,Volum XI, Ed. Universităţii Oradea, 2008
- [ 8 ] Berevoescu L., Stoian V. , Dan D., „Study about the possibilities of using the aerogel in construction field”, Analele Universitatii din Oradea / Fascicula de constructii si instalatii hidroedilitare,Volum XI, Ed. Universităţii Oradea, 2008
- [ 9 ] Berevoescu L., V.Stoian, D.Dan, “Aerogel- a performant nanomaterial for sustainable buildings”, Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering (SSE’09), Timisoara, 6 pagini, 27-29 mai 2009, ISI
- [10] Berevoescu L., „Aerogelul-material inovator în industria construcţiilor”, Simpozion internaţional „Educaţie prin şi pentru calitate”, Ed.Solness ,Timişoara 29 apr.2009
- [11] Berevoescu L., V.Stoian, “Aerogelul- un material pentru clădirea verde”, Simpozion Naţional „Ecoterra” , Bucureşti, 24 aprilie 2009, 7 pagini, ISBN 978-973-0-06562-6

- [12] Berevoescu L., V.Stoian , "Aerogelul- *nanomaterial performant pentru dezvoltare durabilă*", Simpozion Național „Ecoterra” , 6 pagini , București, 24 aprilie 2009,
- [13] Beuken DL (1936) „*Pierderi de caldura prin cuptoare cu cuptoare electrice*”, Freiburg, Germania
- [13] Brocken, H., „*Transportul umezelii in zidaria de caramida*”, tezele Ph.D,1998
- [14] Cerny,R,Drchalova, J.,Hoskova, S., Toma, J. „*Probleme reciproce ale transportului umidității în materialele poroase*” 1996.
- [15] Cerny, R., Toman, J., „*O metodă de diferențiere pentru determinarea conductivității termice a materialelor poroase într-un mediu de temperatură foarte larg*”, 1997
- [16] Claesson J., 2002a, „*Dinamica rețelilor termice, Principiile unei teorii generale*”, Lucrare pentru aceasta conferinta.
- [17] Claesson, J 2002b, „*Conductibilitatea caldurii in Peretii din material compozit. Solutia rapida de combinare a tehnicilor Fourier si Laplace*”, Lucrare pentru aceasta conferinta.
- [18] Comsol, 2000, FemLab versiunea 2.0 pre., „*Manual de Referinta*”  
Lucrari matematice, 1998, „*Manualul MatLab*”, Versiunea 5.3
- [19] Crslaw HS,Jaeger JC (1959): „*Transmiterea caldurii in solide*”, Presa Universitatii Oxford, Londra, Anglia.
- [20] Dan D, V. Stoian, T. Nagy-Gyorgy, C. Dăescu-„*Energy efficiency of old and new buildings in Romania*”
- [21] Dan D., V. Stoian, T. Nagy-Gyorgy, C. Dăescu-„*Thermal insulation of old and new buildings in Romania*”
- [22] Dan D., S. Secula, V. Stoian – „*Technical project for rehabilitation of C20, Campus Area*” Timișoara, Romania 2005
- [23] Drchalova, J.1983. „*O metodă tranzitorie pentru determinarea extinderii umidității (în Cehia)*”, PhD Thesis.CVUT Prga,Praga.
- [24] Drchalova J., Cerny R.. „*Metodele neconstante pentru determinarea extinderii umidității materialelor poroase*” , 1998
- [25] Drchalova J, Z.Pavlik,R.Cerny, „*A Comparison of Various Techniques for Determination of Moisture Diffusivity from Moisture Profiles*” 2002.
- [25] Fricke Jochen: „*Aerogele. Physik in unserer Zeit*” 17(4), S. 101–106 (1986)
- [27] Hamming R.W. „*Metode numerice pentru oameni de știință și ingineri*” McGraw-Hill, New York, 1962.
- [28] Hüsing Nicola, Ulrich Schubert: „*Aerogele – luftige Materialien: Chemie, Struktur und Eigenschaften*” Angewandte Chemie 110(1-2), S. 22–47 (1998)
- [29] Johansson G(1981): „*Capacitatea caldurii active, modele si parametrii pentru performanta termica a cladirilor*”. Raport TVBH – 1003, Lund, Suedia.
- [30] Kaspar, I. „*Transportul umidității în materialele de construcție*”,Cehia, 1984.
- [31] Kistler, S. S., „*Coherent expanded aerogels and jellies*” Nature, 127, S. 741ff. (1931)
- [32] Kistler ,S. S.: „*Coherent expanded aerogels*”, Journal of Physical Chemistry, 36(1), S. 52–64 (1932)
- [33] Matano, C. „*Pe baza relației dintre coeficientul de extindere si concentrarea metalelor solide*”, 1933.
- [34] Mladin E, M. Georgescu, D. Duțianu – „*Eficiența energiei în clădiri – Situația în România și Acquisul comunitar*”, Bucharest Seminar, 2003
- [35] Pescari S., P.Pastiu, V.Stoian, L. Berevoescu, „*Life Cycle Cost of a traditional house and a passive house*”, Analele Universitatii din Oradea /

- Fascicula de constructii si instalatii hidroedilitare, Volum XII, Ed.Universității din Oradea, 6 pagini, Oradea 2009
- [36] Rouvel L., Zimmermann F., (1997)
- [37] Sahlin P., „Metodele de modelare si simulare pentru sistemele modulare continue in cladiri”, Lucrare PhD. ISRN KTH/ITM-39-SE, 1996.
- [38] \* \* \* - Sammlung von Weblinks zum Thema Aerogel: *Cabot-corp.com*, *Aspen aerogel*, *Aerogel.com*.
- [39] Schmidt D., „Modele pentru caldura cuplata si procesele de transfer al maselor in cladiri – Aplicatii pentru a obtine temperatura optima intr-o camera prin reducerea energiei”, 2001.
- [40] Schijndel A.W.M. van, „Solving Building Physics Problems based on PDEs with FemLab”, 2002.
- [41] Schmidt D., Johannesson G , „Model pentru performanta realizarii unui vid dublu”, Jurnalul Nordic al Fizicii Cladirii, Vol.2, Stockolm, Suedia, 2001.
- [42] Schmidt D., G.Johannesson, „Modelling of Hybrid Systems with Optimised R-C Networks”, 2002.
- [43] Semrak P.,Cerny R. „O metodă de capacitanță pentru măsurarea conținutului de umiditate al materialelor de construcție”, Cehia, 1997.
- [44] Sinha, S.L. 2000, „Simularea numerica a doua camere aerisite bidimensional cu si fara flotabilitate”, Energie si Cladiri, vol. 32, pp 121-129.
- [45] Stoian V., L. Berevoescu, D.Dan, A.Mujde, O. Karaman, „Life cycle cost analysis and eco-efficiency in buildings”,2008
- [46] Stoian V., L. Berevoescu, D.Dan, A.Mujde, O. Karaman, V.Buhagiar, A.Baio Dias, Z. Hunyadi-„Aerogel a new performant material to increase the energy efficiency in buildings”, Sustainability of Constructions / Integrated Approach to Life-time Structural Engineering,COST Action C25, Dresden, Germany,2008
- [47] Stoian V., L. Berevoescu, D.Dan, A.Mujde, O. Karaman, „Life Cycle Cost Analysis and eco-efficiency in buildins”, Sustainability of Constructions / Integrated Approach to Life-time Structural Engineering , COST Action C25-, Dresden, Germany,2008
- [48] Stoian V., L. Berevoescu, D.Dan, „New performant materials and technologies to increase the energy efficiency in buildings”, , Sustainability of Constructions / Integrated Approach to Life-time Structural Engineering, Timisoara, COST Action C25-Proceedings of the Workshop , 4 pagini, Timisoara, Romania, 23-24 octombrie 2009
- [49] Stoian V., L. Berevoescu, D.Dan, Z.Vajda, E. Meleg, „Improvement the environmental performance of building by envelope and installation rehabilitation process- a case study analysis using the Life Cycle Cost method” , Sustainability of Constructions / Integrated Approach to Life-time Structural Engineering, Timisoara, COST Action C25-Proceedings of the Workshop ,8 pagini , Timisoara, Romania,octombrie 2009
- [50] Șuler Jana, C.P.A., *Indrumător privind aplicarea costului global în domeniul construcțiilor*, Institutul pentru Cercetări în Construcții-INCERC
- [51] Toma Laura, „Nanomaterialele fac locuințele verzi”
- [53] Wentzel E-L, „Aplicatia teoriei dinamicii rețelilor termice pentru o cladire”.Lucrare pentru aceasta conferinta.,2002.
- [54] Wentzel Eva, Johan Claesson, „Heat Loss Dynamics of Walls.An Analysis based on the Theory of Dynamic Thermal Work”, 2002.

- [55] \* \* \* - GT 036- 2002 – „*Guide for the thermal and energetic audit for the existing buildings and for the preparation for the hot water necessary for these buildings*”
- [56] \* \* \* - GT 037- 2002 – „*Guide for the elaboration and assignment of the energetic certificate for the existing buildings*”
- [57] \* \* \* - Îndrumător de eficiență energetică pentru clădiri-Partea I- „*Cum funcționează o clădire*”
- [58] \* \* \* - Îndrumător de eficiență energetică pentru clădiri-Partea II- „*Investigarea clădirii*”
- [59] \* \* \* - STAS 6472/2-83 – „*Building Physics. Hygrothermics. External climatic parameters*”
- [60] \* \* \* - C107/1-3/1007 – „*Romanian standard for the calculus of the global thermal insulation coefficients for the civil residences*”
- [61] \* \* \* - Weblinks zum Thema Aerogel:  
*Aerogel-Eigenschaften und Struktur, Herstellung, Verwendung.*  
*Aerogel-Hoch poröse Stoffe für den Einsatz in Batterien.*  
*Aerogels-History, Structure, and Applications.*  
*Aerogels-Solid Smoke May Have Many Uses.*  
*Aerogels on the Rise*  
*Details of Aerogels*  
*Entwicklung der Aerogele(engl.),*  
*Frozen smoke Aerogels may be materials of future*  
*Thermischen Eigenschaften von silikatischen Aerogelen(engl.) , Lawrence Berkeley National Laboratory*  
*What is Aerogel?*  
*What is airglass?*