

BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI  
Publicat de  
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași  
Tomul LVI (LX), Fasc. 4, 2010  
Secția  
CONSTRUCȚII. ARHITECTURĂ

## **ADAPTATION DES BÂTIMENTS D’ENSEIGNEMENT AUX EXIGENCES ACTUELLES DE CONFORT HYGROTHERMIQUE**

PAR

**MARICICA VASILACHE et MARIAN PRUTEANU**

**Résumé.** Les bâtiments du domaine tertiaire, ayant la fonction d'écoles, réalisés durant les diverses étapes historiques, doivent satisfaire les exigences actuelles concernant le confort hygrothermique. En même temps, les performances thermiques des écoles sont modestes, le nécessaire énergétique pour le chauffage est important et la classe énergétique est défavorable.

L'amélioration thermique (la réhabilitation thermique), réalisée pendant cette période, est nécessaire pour réadapter les constructions existantes aux exigences de confort avec des dépenses énergétiques diminuées. Ces travaux sont partiellement applicables aux bâtiments qui appartiennent au patrimoine historique à cause des restrictions liées à l'aspect extérieur des façades ou à la capacité portante des éléments de structure.

Les auteurs proposent une analyse comparative de trois constructions à fonction de lycées, soumis à des travaux de réhabilitation thermique, dont une appartient au patrimoine historique.

**Mots clé:** confort hygrothermique; performance; classe énergétique.

### **1. Introduction**

La crise financière et énergétique actuelle et aussi les changements climatiques majeurs représentent des facteurs importants pour les décisions politiques visant la réduction des dépenses énergétiques dans les bâtiments et la diminution de l'impact sur l'environnement.

L'énergie nécessaire pour assurer le confort thermique dans ces bâtiments est utilisée principalement pour le chauffage, l'eau chaude ménagère et l'éclairage.

La dépense énergétique dépend d'une série de paramètres caractéristiques au régime d'usage du bâtiment: le degré de protection thermique, le degré d'occupation, les performances des équipements, la compacité de la construction, l'emplacement (la zone climatique, nombre de degrés-jours, la radiation solaire), etc.

L'amélioration de la classe énergétique concerne, surtout, la réduction du nécessaire thermique pour le chauffage. Les effets de ces travaux sont la réduction des dépenses financières pendant l'hiver et la diminution des émissions de GES (gaz à effet de serre), surtout de CO<sub>2</sub>.

L'étape actuelle de réhabilitation des constructions d'enseignement a comme principaux objectifs la satisfaction des exigences de confort hygrothermique, l'amélioration des performances énergétiques et la réduction de l'impact sur l'environnement.

## 2. Analyse thermique de trois bâtiments à fonction d'écoles

Pour cette évaluation on a sélectionné trois bâtiments du domaine scolaire, dont un monument historique, situés dans les localités Piatra Neamț (zone climatique IV<sup>e</sup>) et Negrești Vaslui (zone climatique III<sup>e</sup>), qui ont été incluses dans le programme de réhabilitation thermique.

Les caractéristiques des bâtiments évalués, concernant l'emplacement, l'ossature, l'enveloppe, etc. sont présentées dans les Tableaux 1 et 2.

**Tableau 1**  
*Caractéristiques des bâtiments analysés*

	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C
Emplacement	Piatra Neamț	Piatra Neamț	Negrești Vaslui
Année de la construction	1925 <b>Monument hystorique</b>	1970	1962
Zone climatique	IV	IV	III
Façade principale	S-E	N-E	O
Nombre de degrés-jours	3 560	3 560	3 570
Régime de hauteur	S + R + E + M	S + R + 2E	R + E
Destination	19 salles de classe 6 laboratoires	19 salles de classe 5 laboratoires	8 salles de classe 2 laboratoires
Ossature	Murs porteurs en maçonnerie, planchers en béton armé, toit charpente	Murs porteurs en maçonnerie, planchers en béton armé, toit charpente	Murs porteurs en maçonnerie, planchers en béton armé, toit charpente
$A_{DC}$ , [m <sup>2</sup> ]	3 433	4 740	1 289
$S_{inc}$ , [m <sup>2</sup> ]	3 263,4	2 858	1 214,74
$V_{inc}$ , [m <sup>3</sup> ]	13 488,72	9 823,42	4 069,4
$A_0/V_{inc}$ , [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	0,368	0,447	0,539

$A_{DC}$  – surface bâtie développée;  $S_{inc}$  – surface chauffée;  $V_{inc}$  – volume chauffé du bâtiment;  $A_0/V_{inc}$  – compacité du bâtiment

**Tableau 2**  
*Éléments de l'enveloppe – structure*

	Bâtiment A		Bâtiment B		Bâtiment C	
	Structure	Surface m <sup>2</sup>	Structure	Surface m <sup>2</sup>	Structure	Surface m <sup>2</sup>
Murs extérieurs	Maçonnerie en briques 62 cm	2 110,3	Maçonnerie en briques GVP 30 cm	1 641,8	Maçonnerie en briques GVP 45 cm	689,2
Mur de joint	–	–	Maçonnerie en briques 25 cm	105,74	–	–
Menuiserie extérieure	En bois - double	552,36	En bois - double	740,93	En bois - double	289,02
Plancher haut	Plancher en bois + 5 cm laine minérale	1 211,7	Plancher en béton armé + 10 cm b.c.a.	952,73	Plancher en béton armé sans isolation	607,37
Plancher bas	Béton armé 10 cm sans isolation	1 087,8	Béton armé 10 cm sans isolation	952,73	Béton armé sans isolation	607,37
$A_0, [m^2]$	<b>4 962,16</b>		<b>4 393,93</b>		2 192,96	

L'analyse a pour but d'évaluer le degré de protection thermique des éléments de l'enveloppe (conformément à [1] et [2]) et du bâtiment en ensemble avec les relations

$$(1) \quad R' = \frac{1}{U'} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{\sum \psi l}{A} + \frac{\sum \chi}{A}} \geq R'_{\min}, [m^2 \cdot K/W],$$

$$(2) \quad G_1 = \frac{1}{V} \left[ \frac{\sum A_j \tau_j}{R_m} \right] + 0,34n \leq G_{i \text{ ref}}, [W/m^3 \cdot K],$$

$$(3) \quad R = R_{si} + \sum R_s + \sum R_a + R_{se}, [m^2 \cdot K/W],$$

où:  $R'$  représente la résistance thermique corrigée avec l'influence des ponts thermiques;  $R$  – la résistance thermique unidirectionnelle;  $G_1$  – coefficient global d'isolation thermique.

Le facteur  $0,34n$  n'est pas utilisé actuellement dans les calculs que pour les logements et représente les pertes de chaleur pour la ventilation;  $n$  est la tranche de ventilation. On a introduit ce facteur dans la formule de  $G_1$  car la fonction école suppose la ventilation imposée par les exigences de confort et hygiène.

Les valeurs de  $R'_{\min}$ , et  $G_{1\text{ref}}$  représentent les valeurs normées imposées. Ont été aussi déterminées les classes énergétiques des bâtiments visés (existants) et des bâtiments de référence, conformément à [2].

Les résistances thermiques corrigées,  $R'$ , présentées dans le Tableau 3, montrent un degré réduit de protection pour les écoles étudiées, avec un effet majeur sur la dépense énergétique pour le chauffage et un risque important de condensation dans la zone des ponts thermiques.

**Tableau 3**

*Les résistances thermiques corrigées,  $R'$ , le coefficient global d'isolation thermique et la classe énergétique des constructions analysées*

Élément d'enveloppe	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C	$R'_{\min}$ , [m <sup>2</sup> .K/W ] [2]
	$R'$ , [m <sup>2</sup> .K/W]			
Murs extérieurs	0,77	0,505	0,555	1,3...1,35
Murs de joint	–	0,84	–	–
Toit	1,43	0,57	0,34	3,0...3,10
Plancher bas	1,19	0,57	1,77	1,10...1,15
Menuiserie extérieure	0,39	0,39	0,39	0,43
$R_{\text{med}}$ , [m <sup>2</sup> .K/W]	0,84	0,543	0,517	–
$n$ , [1/h]	0,90	0,90	0,90	0,50
$G_1$ , [W/m <sup>3</sup> .K]	<b>0,744</b>	<b>1,130</b>	<b>1,349</b>	
$G_{1\text{ref}}$ , [W/m <sup>3</sup> .K]	<b>0,471</b>	<b>0,613</b>	<b>0,65</b>	
$G_1/G_{1\text{ref}}$	<b>1,58</b>	<b>1,843</b>	<b>2,07</b>	
$\Delta G_1$ , [%]	<b>58</b>	<b>84,3</b>	<b>107</b>	
Classe de performance énergétique	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>C</b>

### 3. Solutions de réhabilitation thermique adoptées

Les solutions d'amélioration thermique, qui font référence à l'isolation thermique des éléments de l'enveloppe et la réduction de la tranche de ventilation (Tableau 4), appliquées aux murs extérieurs (pour le bâtiment C), aux plancher haut et bas et aussi le remplacement de la menuiserie, ont comme effet direct la réduction du nécessaire énergétique pour le chauffage, pendant l'hiver.

L'analyse des trois bâtiments réhabilités confirme une amélioration du comportement thermique et de la classe de performance énergétique. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

**Tableau 4**  
*Mesures d'amélioration thermique proposées*

Élément d'enveloppe	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C
	–	–	Isolation thermique polystyrène expansé 10 cm
Toit	Isolation thermique laine minérale 25 cm	Isolation thermique laine minérale 25 cm	Isolation thermique laine minérale 25 cm
Plancher bas	Isolation thermique polystyrène expansé 10 cm	Isolation thermique polystyrène expansé 10 cm	Isolation thermique polystyrène expansé 10 cm
Menuiserie extérieure	Al. avec double vitrage isolant à ventilation dirigée	Al. avec double vitrage isolant à ventilation dirigée	Al. avec double vitrage isolant à ventilation dirigée
Tranche de ventilation $n$ , [1/h]	0,50	0,50	0,50

**Tableau 5**  
*Résistance thermique globale ( $R'$ ), coefficient global d'isolation thermique ( $G_1$ ) et la classe de performance énergétique des bâtiments améliorés*

Élément d'enveloppe	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C	$R'_{min}$ , [m <sup>2</sup> .K/W] [2]
	$R'$ , [m <sup>2</sup> .K/W]			
Murs extérieurs	0,77	0,53	1,76	1,3...1,35
Murs de joint	–	0,84	–	–
Toit	5,36	5,17	3,70	3,0...3,10
Plancher bas	2,94	2,99	3,14	1,10...1,15
Menuiserie extérieure	0,50	0,50	0,50	0,43
$R_{med}$ , [m <sup>2</sup> .K/W]	1,12	0,918	1,484	–
$n$ , [1/h]	0,50	0,50	0,50	0,50
$G_1$ , [W/m <sup>3</sup> .K]	<b>0,499</b>	<b>0,62</b>	<b>0,533</b>	
$G_{Iref}$ , [W/m <sup>3</sup> .K]	<b>0,471</b>	<b>0,613</b>	<b>0,65</b>	
$G_1/G_{Iref}$	<b>1,059</b>	<b>1,015</b>	<b>0,82</b>	
$\Delta G_1$ , [%]	<b>5,9</b>	<b>1,5</b>	–	
<b>Classe de performance énergétique</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>

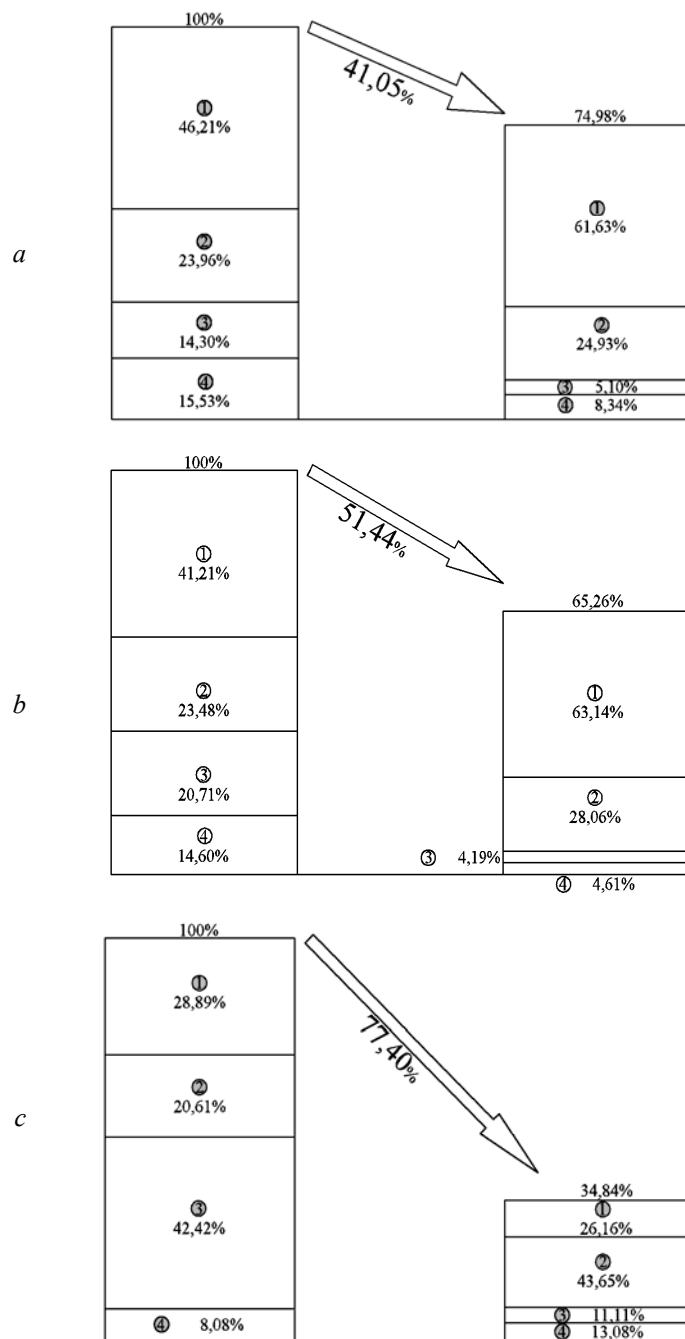


Fig. 1 – Réduction des pertes de chaleur par transmission après l'application des mesures de réhabilitation thermique: *a* – bâtiment *A*, *b* – bâtiment *B*, *c* – bâtiment *C*:  
 ① – murs extérieurs; ② – toit; ③ – plancher bas; ④ – menuiserie.

On remarque une diminution importante du coefficient global  $G_1$  pour les trois bâtiment où ont été isolés tous les éléments de l'enveloppe.

#### **4. Le poids des éléments de l'enveloppe dans le bilan énergétique du bâtiment**

On a analysé l'importance des murs extérieurs, du toit, du plancher bas et de la menuiserie dans le total des pertes de chaleur par transmission dans le cas du bâtiment initial et après la réhabilitation (Fig. 1 *a, b, c*).

Dans le cas du bâtiment *C*, où on a adopté des mesures de modernisation complète, l'effet sur le bilan énergétique a été maximum (77,40%).

#### **5. La ventilation des pièces**

Les exigences d'hygiène et de confort thermique imposent un rythme minimum d'échange d'air entre les espaces utiles et l'extérieur pour assurer le nécessaire d'air frais, pour éliminer les vapeurs d'eau, le  $\text{CO}_2$  et d'autre polluants. La fonction d'espaces scolaires implique la présence, dans le bâtiment, des sources d'humidité et d'émission de noxes diverses dont le contrôle est obligatoire. L'humidité peut déterminer la parution et l'extension des phénomènes de condensation sur les surfaces et dans la structure des éléments d'enveloppe, la moisissure ou d'autres causes pouvant provoquer des maladies.

Une tranche optimale de ventilation des pièces peut être réalisée par la menuiserie et par les tuyaux de ventilation. Puisque la menuiserie est étanche, il faut assurer un circuit complet de la ventilation avec admission et évacuation afin que tout le volume d'air des pièces soit renouvelé.

L'usage de la menuiserie avec des dispositifs à débit constant ou variable peut favoriser un faible échange d'air pendant la période de fermeture. L'étanchéité excessive de la menuiserie pour obtenir une économie importante d'énergie ne représente pas toujours une solution juste car

- a) l'humidité reste dans les pièces et peut déterminer la parution de la condensation superficielle;
- b) la concentration du  $\text{CO}_2$  résultant de la respiration augmente;
- c) l'élimination des autres noxes est bloquée;
- d) peut favoriser la parution des affections respiratoires y compris les intoxications avec  $\text{CO}_2$ .

Dans ces conditions la tranche minimale de ventilation est de  $0,5 \text{ h}^{-1}$ .

La réduction des pertes de chaleur par ventilation obtenue par la diminution de la tranche de ventilation,  $n$ , de  $0,9 \text{ h}^{-1}$  à  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , est de 44,4%.

#### **5. Conclusions**

L'évolution actuelle du prix des combustibles fossiles et les exigences du Développement Durable imposent au secteur de constructions des dépenses

énergétiques limités pour la saison froide.

Les bâtiments scolaires, avec une durée de service très grande, doivent satisfaire les exigences de confort thermique et d'hygiène avec une dépense énergétique réduite.

L'amélioration thermique des bâtiments scolaires existants représente une solution optimale pour réaliser les conditions de confort, hygiène et économie d'énergie utile en exploitation. En même temps sont diminués les coûts d'entretien dans la saison froide et l'effet sur l'environnement, par la diminution des émissions de CO<sub>2</sub>.

Reçue, 7 Novembre 2010

Université Technique „Gheorghe Asachi”, Iași,  
Chaire de Constructions Civiles et Industrielles,  
e-mail: maricica\_vasilache@yahoo.com  
pruteanu\_marian@yahoo.com

## BIBLIOGRAPHIE

1. \* \* *Normativ pentru calculul termotehnic al elementelor de construcții ale clădirilor.* C107 /1,2,3,4,5,6 – 2005, MO 1124 bis/2005, România.
2. \* \* *Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor.* Mc001 – 2006, MO 126 bis/2007, România.
3. Radu A., Vasilache M., *Expertizarea și auditul energetic al clădirilor.* Edit. Experților tehnici, Iași, 2006.
4. Radu A., Bliuc I., Vasilache M., *Higrotermică aplicată.* Edit. Soc. Acad. „Matei-Teiu Botez”, Iași, 2004.

## ADAPTAREA CLĂDIRILOR DESTINATE SPAȚIILOR DE ÎNVĂȚĂMÂNT EXIGENȚELOR ACTUALE DE CONFORT HIGROTERMIC

(Rezumat)

Clădirile din domeniul terțiar, destinate spațiilor de învățământ, realizate, în diverse etape istorice, trebuie să satisfacă exigențele actuale vizând confortul higrotermic. În același timp performanțele termice ale școlilor sunt modeste, necesitățile energetice pentru încălzire sunt importante și clasa energetică este defavorabilă.

Îmbunătățirea termică (reabilitarea termică) realizată în această perioadă este necesară pentru a readapta construcțiile existente la exigențele de confort, utilizând consumuri reduse de energie. Aceste lucrări sunt parțial aplicabile clădirilor care aparțin patrimoniului istoric datorită restricțiilor legate de aspectul exterior al fațadelor sau de capacitatea portantă a elementelor structurale.

Autorii propun o analiză comparativă a trei clădiri având funcția de liceu, supuse lucrărilor de reabilitare termică, din care una aparține categoriei de clădiri de patrimoniu.