

Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau à travers une structure ETICS (EIFS)

Cristina Busuioc¹, Adrian Radu²

¹Faculté de Constructions Civiles et Industrielles, Université Technique "Gh. Asachi", Iași, 700050, Roumanie

²Faculté de Constructions Civiles et Industrielles, Université Technique "Gh. Asachi", Iași, 700050, Roumanie

Résumé

Le système moderne de façades ETICS (External Thermal Insulation Composite System) ou EIFS (External Insulation Finish System), très souvent utilisé en Europe Occidentale, est appliqué maintenant en Roumanie par plusieurs compagnies de constructions (BAUMIT, SWISSPOR, KNAUF, AUSTROTERM, etc.). Celles-ci fournissent des matériaux et des technologies qui assurent une isolation thermique efficace avec des plaques de polystyrène expansé ou avec de la laine minérale, placée à l'extérieur de la paroi de base et un enduit armé sur lequel on applique un traitement hydrophobe pour la protection contre l'eau des précipitations atmosphériques. Ce système, très efficace au point de la maîtrise énergétique, est indiqué pour les zones exposées aux séismes, comme c'est le cas en Roumanie, car le poids supplémentaire est très petit. Cependant il est nécessaire de vérifier la durabilité, en tenant compte des conditions du climat du pays. A présent il existe une certaine méfiance, car la température a des valeurs extrêmes en été et en hiver.

Pour éviter des essais longs et coûteux en station hygrothermique, on a eu recours à un procédé simplifié qui donne des résultats conservatifs, en utilisant des échantillons offerts par la compagnie BAUMIT. Les essais ont duré dix mois et ils ont démontré que la structure permet la migration de l'eau vers l'extérieur, évitant le risque d'humidité excessive à l'intérieur de la paroi. Par le même procédé il sera possible d'analyser d'autres produits appartenant à cette catégorie. A partir des résultats il a été possible de calculer le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau. Ce sont des valeurs approximatives assez proches des prescriptions techniques.

Le système est favorable au séchage et permet d'éviter une humidification excessive en l'hiver.

Mots clés: système ETICS (EIFS), isolation thermique, enduit mince armé, bâtiment, maîtrise de l'énergie, essais simplifiés, polystyrène expansé, laine minérale.



C. Busuioc, A. Radu

1. INTRODUCTION

L'utilisation du système constructif ETICS (External Thermal Insulation Composite System) ou EIFS (External Insulation Finish System) est utile pour réaliser un niveau supérieur de protection thermique, tout en limitant le poids des parois extérieures (Figure 1).

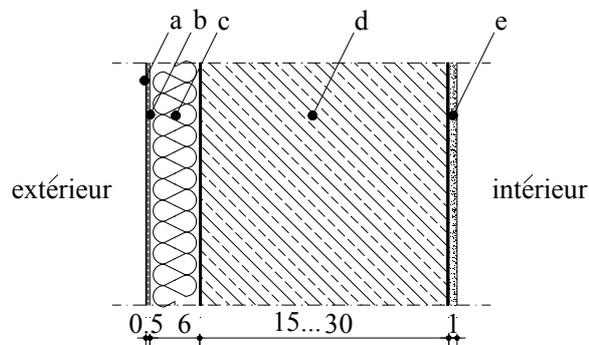


Figure 1. Le système constructif ETICS ou EIFS: a- couche décorative; b- enduit mince armé avec un réseau; c- plaque d'isolation thermique (polystyrène expansé EPS ou laine minérale rigide); d- paroi de base (maçonnerie, béton armé ou d'autres matériaux); e- enduit intérieur ; dimensions en cm

Ce système est caractérisé par:

- **plusieurs couches parallèles**, une en béton armé, en maçonnerie, ou en bois, constituant le support (située vers l'intérieur), des plaques d'isolation thermique légères de polystyrène expansé EPS ou laine minérale placées vers l'extérieur et un enduit mince armé couvert par une couche décorative hydrophobe. Les plaques d'isolation thermique sont collées à la couche support ou bien fixées par des éléments métalliques. Le réseau d'armature peut être métallique, en verre ou en plastique compatible avec le mortier ;
- **la capacité de protection thermique supérieure**, qui satisfait les exigences des règlements techniques roumains C107/1...5-1997, [3-7] des bâtiments nouveaux ou rénovés ;
- **la possibilité de couvrir entièrement la surface des parois extérieures**, ce qui permet de combattre l'effet des ponts thermiques et d'assurer une stabilité thermique supérieure pour le confort en hiver et en été. En même temps on obtient une diminution des efforts causés par les variations de température et d'humidité dans la couche support ;



Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau par une structure ETICS (EIFS)

- **le maintien d'une épaisseur totale minimale des parois extérieures**, ce qui permet de réaliser un rapport favorable entre la surface utile et celle construite ainsi qu'une masse réduite, favorable en cas de séisme ;
- **une technologie d'exécution simple en principe**, mais qui doit respecter rigoureusement les détails constructifs et les conditions pour la mise en œuvre de chacun des systèmes ETICS disposant d'un agrément technique.

2. DESCRIPTION DU SYSTEME BAUMIT UTILISE DANS LES ESSAIS EFFECTUES

C'est un système thermoisolant qui utilise des plaques EPS, en polystyrène expansé ignifugé, sur lesquelles est appliqué un enduit mince minéral couvert par une couche de finition décorative hydrophobe.

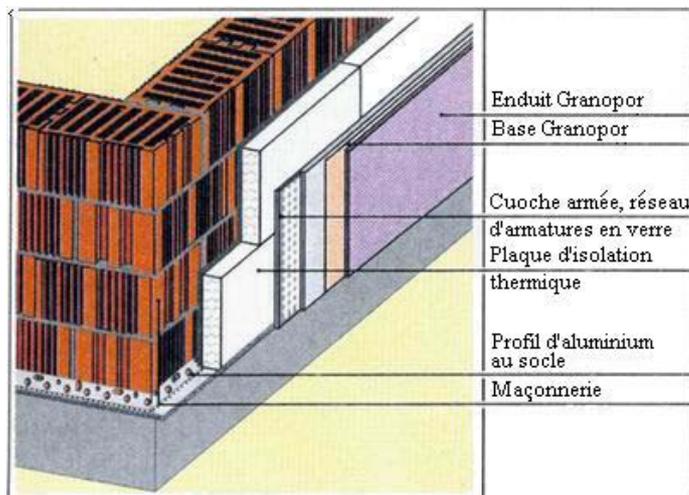


Figure 2. Le système thermoisolant BAUMIT - EPS

Le système thermoisolant qui utilise des plaques EPS (Figure 2) est formé par [9]:

- l'adhésif minéral (BAUMIT KLEBESPACHTEL) pour le collage des plaques et le remplissage des joints ;
- les plaques de polystyrène expansé ignifugé (BAUMIT Dämmplatten EPS-F);
- le profil d'aluminium pour le socle;
- le tampon de fixation;
- le filet en fibres de verre (BAUMIT Textilglassgitter);

C. Busuioc, A. Radu

- la couche d'enduit de base Granopor (BAUMIT Granoporgrund);
- l'enduit Granopor (BAUMIT Granoporputz).

3. ESSAIS POUR VERIFIER LA POSSIBILITE DE SECHAGE DU SYSTEME BAUMIT

3.1 Organisation des tests

Pour cette étude on a utilisé 6 échantillons, ayant une épaisseur de 4,5 cm et une surface de 14x14 cm (Figure 3, 4, 5).



Figure 3. Echantillon soumis au test de séchage

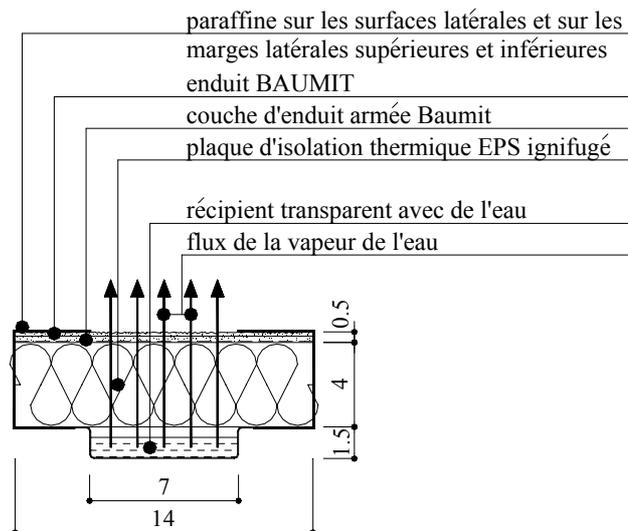


Figure 4. Section verticale d'un échantillon soumis au test pour mettre en évidence la possibilité de séchage (dimension en cm)

Les 6 éprouvettes utilisées ont été couvertes de paraffine sur les surfaces latérales et sur les marges latérales supérieures et inférieures, de sorte que la vapeur de l'eau ne puisse pas être évacuée que par la surface supérieure.



Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau par une structure ETICS (EIFS)

La structure des éprouvettes ETICS a été la suivante:

- **L'éprouvette 1, bleu marine (SP-1K)** – enduit Silicate brossé (Baumit Silikatputz à base de silicate de potassium – de verre soluble de potassium, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 1 mm, couche d'enduit Silicate (Baumit Silikatgrund à base de silicate de potassium – de verre soluble de potassium, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm;
- **L'éprouvette 2, orange (SP-2K)** – enduit Silicate brossé (Baumit Silikatputz à base de silicate de potassium – de verre soluble de potassium, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 2 mm, couche d'enduit Silicate (Baumit Silikatgrund à base de silicate de potassium – de verre soluble de potassium, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm;
- **L'éprouvette 3, jaune (GP-1K)** – enduit Granopor brossé (Baumit Granoporputz à base de liant de résine synthétique, d'ingrédients minéraux, de pigments, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 1 mm, couche d'enduit Granopor (Baumit Granoporgrund à base de liant de résine synthétique, d'ingrédients et de pigments minéraux et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm;
- **L'éprouvette 4, rouge (GP-2R)** – enduit Granopor strié (Baumit Granoporputz à base de liant de résine synthétique, d'ingrédients minéraux, de pigments, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 2 mm, couche d'enduit Granopor (Baumit Granoporgrund à base de liant de résine synthétique, d'ingrédients et de pigments minéraux et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm;
- **L'éprouvette 5, blanche (SKP-1K)** – enduit Silicon brossé (Baumit Silikonputz à base de résine siliconique, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 1 mm, couche d'enduit Silicon (Baumit Silikongrund à base de liant de résine siliconique, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm;
- **L'éprouvette 6, verte (SKP-2K)** – enduit Silicon brossé (Baumit Silikonputz à base de résine siliconique, d'ingrédients minéraux, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), granulation maximum de 2 mm, couche d'enduit Silicon (Baumit Silikongrund à base de liant de résine siliconique, de pigments, de stabilisateurs, de suppléments et d'eau), plaque d'isolation thermique EPS ignifugé de 4 cm.



C. Busuioc, A. Radu



Figure 5. Les 6 échantillons soumis au test de séchage

L'épaisseur de chaque échantillon a été de 4 cm seulement pour permettre le déroulement de l'essai dans le temps le plus bref, imposé par le programme du doctorat.

La température de l'air dans l'espace où étaient maintenues les éprouvettes était de 28,8°C et l'humidité de 48 %. Ces conditions, adoptées pour des raisons pratiques, furent moins favorables que celles réelles in situ.

Les essais ne visaient pas la mesure du coefficient μ_p , mais de voir si le séchage naturel significatif de la paroi est assuré.

3.2 Résultats des essais

L'ensemble (éprouvette et récipient) fut pesé 10 fois dans l'intervalle de 281 jours en utilisant une balance analytique qui peut déterminer des points allant jusqu'à 1000 g, avec une erreur de 0,1 g, observant la diminution du poids (Tableau 1), à cause de la migration de la vapeur d'eau vers la surface extérieure, à travers l'éprouvette.

Tableau 1. Evolution du poids pendant la durée des essais

Temps à partir du début de l'essai (jours)	L'éprouvette					
	1, bleu marine (SP-1K)	2, orange (SP-2K)	3, jaune (GP-1K)	4, rouge (GP-2R)	5, blanche (SKP-1K)	6, verte (SKP-2K)
0	175,5	154,0	187,5	169,0	191,5	204,5
27	168,8	147,4	178,0	162,9	179,2	197,8
43	163,5	142,5	171,0	158,0	170,5	192,5
54	159,0	139,2	167,7	154,8	165,6	189,1
65	154,9	137,0	165,0	152,0	162,9	186,0
133	140,2	122,1	150,8	137,7	143,2	172,9
160	136,1	118,1	146,5	134,1	143,9	163,9
181	132,9	115,1	143,1	130,9	141,1	165,8
247	123,0	115,0	136,0	126,6	140,9	160,1
281	122,8	114,8	135,9	126,5	140,7	160,1



Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau par une structure ETICS (EIFS)

Toutes les éprouvettes ont démontré la possibilité de l'élimination de l'eau initiale de construction ou de celle déposée par condensation, de manière à ne dépasser ni le niveau permis d'humidité des matériaux, ni de donner lieu à des accumulations successives d'une année à l'autre (Figure 6).

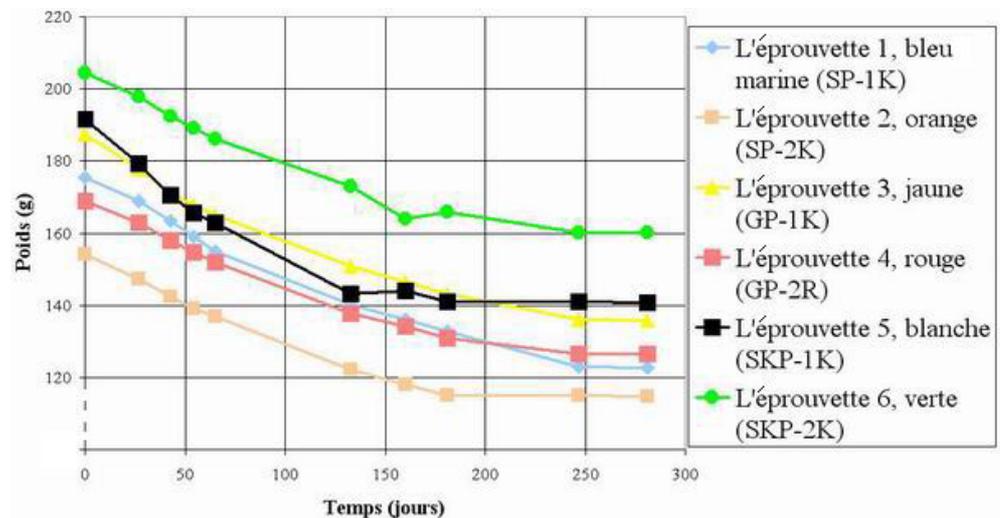


Figure 6. Comparaison des processus de séchage des 6 éprouvettes

Le Tableau 2 présente les quantités d'eau perdue par diffusion de la vapeur d'eau à travers les 6 éprouvettes pendant toute la durée des essais.

Tableau 2. Quantités d'eau perdue par migration à travers les 6 éprouvettes

Temps à partir du début de l'essai (jours)	Poids des éprouvettes et des récipients (g)					
	L'éprouvette 1, bleu marine (SP-1K)	L'éprouvette 2, orange (SP-2K)	L'éprouvette 3, jaune (GP-1K)	L'éprouvette 4, rouge (GP-2R)	L'éprouvette 5, blanche (SKP-1K)	L'éprouvette 6, verte (SKP-2K)
27	6,7	6,6	9,5	6,1	12,3	6,7
43	12,0	11,5	16,5	11,0	21,0	12,0
54	16,5	14,8	19,8	14,2	25,9	15,4
65	20,6	17,0	22,5	17,0	28,6	18,5
133	35,3	31,9	36,7	31,3	48,3	31,6
160	39,4	35,9	41,0	34,9	47,6	40,6
181	42,6	38,9	44,4	38,1	50,4	38,7
247	52,5	39,0	51,5	42,4	50,6	44,4
281	52,7	39,2	51,6	42,5	50,8	44,4



C. Busuioc, A. Radu

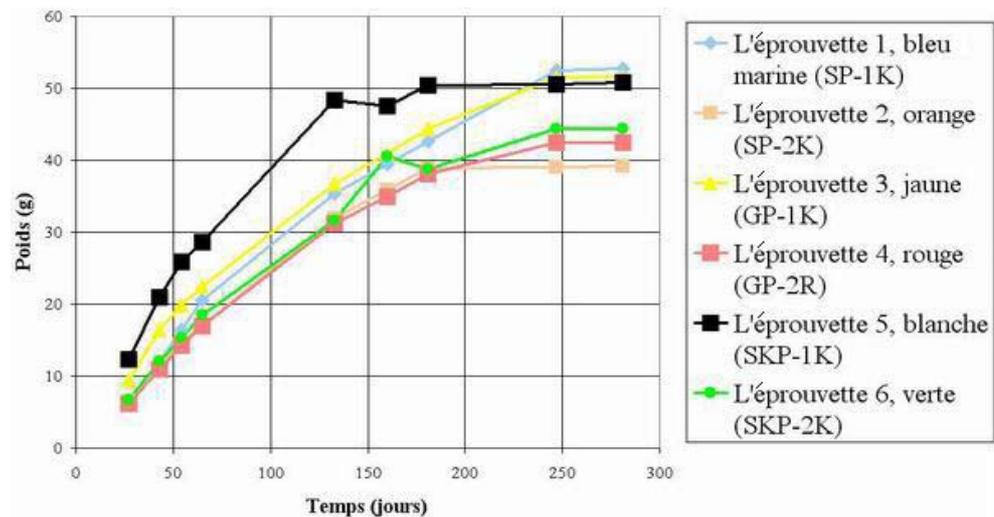


Figure 7. Dynamique du processus de séchage des 6 éprouvettes

L'éprouvette 5, blanche (SKP-1K) présente une vitesse de séchage supérieure à celles des éprouvettes 2, orange (SP-2K); 4, rouge (GP-2R) et 6 verte (SKP-2K). Toutefois il n'y a guère de différences importantes qui puissent justifier à ce point de vue, la performance de l'une par rapport aux autres solutions analysées (Figure 7).

Les essais de longue durée sur les éprouvettes ETICS protégées par un enduit mince ne pouvaient avoir lieu dans une station hygrothermique car le processus d'humidification/séchage est très lent et l'immobilisation des installations aurait coûté beaucoup. C'est la raison pour laquelle on a eu recours à cette méthode très simple et économique, en état de nous montrer si le séchage est possible. En dernier lieu, la vérification de base reste à faire par une simulation numérique, conforme aux règlements techniques [8,10] qui tiennent compte des hypothèses de Glaser [2].

Donc le but des essais présentés n'a pas été de mesurer les valeurs numériques de la perméabilité à la vapeur d'eau mais de mettre en évidence la possibilité qu'un processus favorable asséchant peut avoir lieu ou non.

Etant donné que le séchage est très lent, il a été nécessaire de l'accélérer en utilisant des éprouvettes dont l'épaisseur était $d' = 4 \text{ cm}$ et non pas $d = 6...10 \text{ cm}$ qui est utilisée pour satisfaire le niveau de résistance thermique correcte $R > 1,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$. On peut admettre que le flux de la vapeur d'eau a été augmenté environ dans le rapport:



Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau par une structure ETICS (EIFS)

$$\eta = \frac{d}{d'} \cong \frac{0,08}{0,04} \quad (-) \quad (1)$$

La quantité de vapeur d'eau i (Kg) qui traverse par diffusion moléculaire à travers une paroi est proportionnelle à la différence de pression $\Delta P = P_1 - P_2$ (Pa), à la surface de l'éprouvette A (m^2), à la durée t (h) et inversement proportionnelle à l'épaisseur d (m) et au coefficient μ (-).

Le coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (-), représente le rapport des perméabilités à la vapeur d'eau d'un matériau quelconque (δ_m) et de l'air (δ_{aer}), exprimé en ($Kg / m \cdot s \cdot Pa$).

$$\mu = \frac{\delta_{aer}}{\delta_m} \quad (-) \quad (2)$$

La résistance spécifique à la perméabilité à la vapeur R_v est exprimée par la relation [1]:

$$R_v = 1,5 \cdot 10^6 \cdot \mu \cdot d \quad (m^2 \cdot h \cdot Pa / Kg) \quad (3)$$

qui est valable pour des températures entre $-20 \dots +30^\circ C$.

Le produit,

$$s_d = \mu \cdot d_m \quad (m) \quad (4)$$

donne l'épaisseur équivalente pour une couche de l'air stagnant, qui a la même résistance spécifique à la perméabilité à la vapeur comme le matériel considère.

La quantité de vapeur d'eau qui traverse une des éprouvettes testées est :

$$i = \frac{\Delta P \cdot t}{R_v} \cdot A = \frac{\Delta P \cdot t \cdot A}{1,5 \cdot 10^6 \cdot \mu \cdot d_m} \quad (Kg) \quad (5)$$

et

$$\mu = \frac{\Delta P \cdot t \cdot A}{1,5 \cdot 10^6 \cdot i \cdot d_m} \quad (-) \quad (6)$$

Tableau 3. Le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau pour les 6 éprouvettes



C. Busuioc, A. Radu

Echantillon soumis au test	ΔP (pendant le saison chaud) (Pa)	ΔP (pendant le saison froid) (Pa)	t (h)	A (m ²)	d_m (m)	i (Kg)	μ (pendant le saison chaud) (-)	μ (pendant le saison froid) (-)
L'éprouvette 1, bleu marine (SP-1K)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0520	56,75	54,76
L'éprouvette 2, orange (SP-2K)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0390	75,28	72,65
L'éprouvette 3, jaune (GP-1K)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0516	57,19	55,19
L'éprouvette 4, rouge (GP-2R)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0425	69,43	67,00
L'éprouvette 5, blanche (SKP-1K)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0508	58,09	56,06
L'éprouvette 6, verte (SKP-2K)	1339,60	1292,72	6744	0,0196	0,04	0,0444	66,46	64,14

De cette manière, les résultats de tests, qui donnent la quantité de vapeur d'eau i (Kg) qui traverse par diffusion moléculaire une paroi, donne la valeur de coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ (-) (Tableau 3). Ce sont des valeurs approximatives assez proches des prescriptions techniques.

4. CONCLUSIONS

Les déterminations de perméabilité à la vapeur, effectuées pour les échantillons, étaient toujours réalisées à température constante sur les deux surfaces d'échantillon. De cette manière, l'influence de la différence de température qui existe en réalité entre les deux parties de l'enveloppe (intérieure et extérieure) a été éliminée et les résultats sont assez proches des prescriptions techniques. En réalité, la migration de vapeur est plus active et, par conséquent, le processus d'évacuation est plus intense.

En conclusion, les éprouvettes sèchent par diffusion de la vapeur vers l'extérieur même en l'absence d'un gradient de température.



Essais simplifiés concernant la diffusion de la vapeur d'eau par une structure ETICS (EIFS)

On a démontré que les systèmes de protection ETICS (EIFS) permettent l'élimination de l'eau vers l'extérieur, évitant le risque d'humidité excessive dans la paroi. En utilisant cette méthode, on pourra analyser, à l'avenir, d'autres produits qui font partie de la même catégorie.

Bibliographie

1. Arndt, H. – *Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1996
2. Glaser, H. - *Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen*, Kältetechnik nr.10, 1959
3. * * * C 107/1 – 1997 - *Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile de locuit*, M.L.P.A.T, Ordinul nr. 24/N din 19 februarie 1997, Buletinul Construcțiilor, vol 14 – 1998
4. * * * C 107/2 – 1997 - *Normativ privind calculul coeficientului global de izolare termică la clădiri cu altă destinație decât cele de locuit*, M.L.P.A.T, Ordinul nr. 24/N din 19 februarie 1997, Buletinul Construcțiilor, vol 14 – 1998
5. * * * C 107/3 – 1997 – *Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor*, M.L.P.A.T, Ordinul nr. 24/N din 19 februarie 1997, Buletinul Construcțiilor, vol 13 – 1998
6. * * * C 107/4 – 1997 – *Ghid pentru calculul performanțelor termotehnice ale clădirilor de locuit*, M.L.P.A.T, Ordinul nr. 24/N din 19 februarie 1997, Buletinul Construcțiilor, vol 13 – 1998
7. * * * C 107/5 – 1997 - *Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul*, M.L.P.A.T, Ordinul nr. 24/N din 19 februarie 1997, Buletinul Construcțiilor, vol 1 – 1999
8. * * * C 107/6 – 2002 - *Normativ general privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcție*, Buletinul Construcțiilor, vol 14 – 2002
9. * * * *Documentații și agremente tehnice provenind de la firme producătoare : Baumit, Capatect, Swisspor, Knauf, Austroterm, Rigips, ș.a.*
10. * * * STAS 6472/4-73 - *Higrotermica. Comportarea elementelor de construcție la difuzia vaporilor de apă*

