

Analiza termică și energetică și auditul energetic al clădirii Casa de cultură din orașul Gura – Humorului

Coclici Silviu – Mihail
Auditor energetic pentru clădiri
Gradul I

2.3. Elemente de alcătuire a structurii de rezistență și a elementelor anvelopei

a) Structura de rezistență :

- pereții exteriori au grosimea de 50 cm iar cei interiori de 35 cm și sunt realizați din cărămizi presate pline , întăriți cu elemente din beton astfel :
 - centuri cu înălțimea de 20 cm și lățimea egală cu grosimea zidului întărit;
 - buiandrugii din beton armat 20 x 50 cm;
- fundațiile sunt continui sub zidurile portante și sunt realizate din beton simplu și piatră cu lățimi de 50-60cm .

b) Protecția termică și alcătuirea constructivă a elementelor anvelopei

-Pereții exteriori

- tencuială interioară din mortar var-ciment cu $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$, cu grosimea de 1,5 cm;
- zidărie din cărămizi presate pline cu $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 50 cm;
- tencuială exterioră din mortar de ciment-var cu $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 2,5

cm.

- Centurile și buiandrugii sunt din beton armat cu agregate obișnuite , cu $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$..

-Planșeul de pod are următoarea alcătuire:

- tencuiala interioară din mortar ciment-var cu $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$, cu grosimea de 1 cm;
- grinzi ecarisate din lemn cu $\rho = 550 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 60 cm.

-Placa pe sol :

- parchet lamelar din fag cu $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 1,5 cm;
- șapă din mortar de ciment cu $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$ și grosimea de 10 cm;
- umplutura de balast : 15 cm;
- umplutură de pământ ; 1 m;
- pământ vegetal , aluviuni grosiere și pământ fundare : 3 m.

-Tâmplărie exterioră:

- ferestre duble din lemn cu sticlă de 3 mm;
- uși din lemn la ieșiri ;
- ușă termoizolantă la intrare.

2.4. Instalația de încălzire

- sursa de căldură este o central termică de cartier ;
- corpuri statice de încălzire ;
- fără sisteme de automatizare și termostatare .

2.5. Aspecte privind starea tehnică a clădirii

Vizualizarea și sondajele asupra clădirii au arătat:

- clădirea respectă dimensiunile din proiect privind alcătuirea elementelor structurale și nestructurale;
- pe durata exploatării clădirea a fost afectată de fenomene de condens superficial;
- se remarcă infiltrații prin acoperiș , putreziri la asterială și căpriori;
- tencuiala exterioră este parțial degradată și căzută;
- elementele și materialele de construcție vor fi afectate de coeficienți de degradare ,a'.

3. Evaluarea performanțelor termo-energetice ale clădirii

3.1. Stabilirea caracteristicilor geometrice

Se efectuează conform normativului C 107/3.

Perimetrul măsurat pe fața interioară a pereților exteriori	$P_{int} = 18,00 + 53,00 + 9,00 + 6,30 + 5,30 + 3,00 + 40,40 = 135,00m$
Perimetrul măsurat pe fața exterioară a pereților exteriori	$P_{ext} = 19,00 + 54,00 + 10,00 + 6,80 + 5,80 + 3,50 + 41,40m = 140,50 m$
Suprafață planșeu pod	$S_{pl,p} = 849,35 m^2$
Suprafața placă pe sol	$S_{pl,s} = 849,35 m^2$
Înălțime perete	-sală : $H_s = 9,00 m$ -cabine : $H_c = 3,40 m$ -corp intrare : $H_l = 2,80 m$
Volum încălzit direct și indirect	$V_{inc} = 5409,82 m^3$
Suprafață încălzită direct și indirect	$S_{inc} = 984,02 m^2$
Suprafețe comune încălzite indirect	$S_{pcom} = 184,40 m^2$
Suprafețe vitrate -ferestre -uși exterioare	$S_v = 62,88 m^2$ $45,36 m^2$ $17,52 m^2$
Suprafața opacă a pereților exteriori	$S_{op,pe} = P_{int} \times H_p - S_v = 1045,72 m^2$
Suprafața anvelopei	$A = S_{pl,p} + S_{pl,s} + S_{op,pe} + S_v = 849,35 + 849,35 + 62,88 + 1045,72 = 2865,30 m^2$
Aria utilă încălzită direct	$S_{u inc} = S_{inc} - S_{pcom} = 799,62 m^2$
Aria utilă totală	$A_{u tot} = S_u + S_{pcom} = 984,02 m^2$
Raportul A/V	$2865,30 : 5409,82 = 0,5186 m^{-1}$

3.2 Caracteristici termice ale elementelor anvelopei clădirii

3.2.1 Conductivități termice ale materialelor și coeficienți de degradare „a” pe baza stării tehnice

Material	λ_{normat} W/mK	Vechi me Ani	Coeficienți de degradare „a”				λ_{calcul} W/mK
			Pentru vechime	Condens	Infiltra ții	Alte degradări	
1.Beton armat	1,74	Peste 30		1,10			1,914
2.Mortare tencuieli șape	0,87 0,93		1,03 1,03	1,10 1,10			0,986 1,053
3.Lemn brad fag	0,17 0,23		1,05			1,30	0,232 0,314
4.Beton armat	1,74		1,10				1,914
5.Zidărie cărămidă	0,80		1,03	1,15			1,984

3.2.2.. Rezistențe termice unidirecționale ale elementelor anvelopei

$$\text{Relația de calcul este } R = R_{si} + \sum R_{sj} + R_{se} \quad R_{sj} = \frac{d_j}{\lambda_{\text{calcul } j}}$$

a) planșeu pod

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,986} + \frac{0,30}{0,232} + \frac{1}{24} = 1,470 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

b) pereți exteriori

$$R = \frac{1}{8} + \frac{0,15}{0,986} + \frac{0,50}{0,948} + \frac{0,025}{1,053} + \frac{1}{24} = 0,733 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

c) zone vitrate

-ferestre, uși – coeficient de degradare 1,1

$$R = 0,43 \times 0,9 = 0,351 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

d) placa pe sol

$$R_{sc} = 0$$

$$R = \frac{1}{6} + \frac{0,015}{0,314} + \frac{0,10}{1,053} + \frac{0,15}{0,84} + \frac{1,00}{2,00} + \frac{3,00}{2,00} = 2,488 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

3.2.3.Rezistențe termice corectate ale elementelor anvelopei

Relația de calcul : $R' = r \times R$

Coeficientul de reducere a rezistenței termice unidirecționale „r”

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R \cdot \sum \psi_i \cdot l_i}{A}}$$

- l_i reprezintă lungimile punților termice liniare. Acestea se iau cele reale , pe fața exterioară a elementelor anvelopei.

- ψ_i reprezintă coeficienții liniari de transfer termic. Aceștia se extrag din normativele C107/2, C107/4 ,funcție de detaliul constructiv real sau apropiat.

a) Planșeu pod

$$\begin{aligned} S_{plp} &= 849,35 \text{ m}^2 \\ R_{plp} &= 1,470 \text{ m}^2 \text{ K/W} \\ \psi_i &= 0,36 \text{ W/Mk} \\ \sum l_i &= 140,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{1,47 \cdot 0,36 \cdot 140,50}{849,35}} = 0,919$$

$$R'_{plp} = 0,919 \times 1,470 = 1,351 \text{ m}^2\text{K/W}$$

b) Pereți exteriori
- punți termice :

Element	ψ_i (W/mK)	Σl_i (m)	$\psi_i \times \Sigma l_i$ (W/K)
- centură sub planșeu pod	0,14	140,50	19,67
- centură la sol	0,12	140,50	16,86
- colțuri verticale ieșinde	0,28	57,40	16,07
- buiandrugi	0,39	50,90	19,85
- șpaleti, glafuri	0,12	85,70	10,28
- șpaleti și praguri uși	0,12	26,80	3,23

$$r = \frac{1}{1 + \frac{0,733 (19,67 + 16,86 + 16,07 + 19,85 + 10,28 + 3,23)}{1045,72}} = 0,923$$

$$R'_{pc} = 0,923 \times 0,733 = 0,677 \text{ m}^2\text{K/W}$$

b) Zone vitrate

$$R'_v = R_v = 0,351 \text{ m}^2\text{K/W}$$

d) Placă pe sol

$$S_{pls} = 849,35 \text{ m}^2$$

$$R_{pls} = 2,488 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\psi_i = 0,60 \text{ W/mK din N.P.060}$$

$$\Sigma l_i = 140,50 \text{ m}$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{2,488 \cdot 0,60 \cdot 140,50}{849,35}} = 0,802$$

$$R'_{pls} = 0,802 \times 2,488 = 1,995 \text{ m}^2\text{K/W}$$

3.2.4. Rezistența medie corectată pe ansamblul anvelopei

Pentru clădiri acoperite se aplică formula :

$$R'_M = \frac{\Sigma A_{mi}}{\Sigma \left(\frac{A_{mi} \cdot \tau_{mi}}{R'_{mi}} \right)}$$

$\tau = 1$ pentru pereți , acoperiș, ferestre

$$\tau_{pls} = \frac{T_i - T_{me}}{T_i - T_e} = \frac{20 - 8}{20 - (-21)} = 0,292$$

$$T_{me} = 8^\circ\text{C}$$

$$T_e = -21^\circ\text{C}, \text{ pentru zona climatică IV (conform C107/5)}$$

$$R_M^{(C)} = \frac{2805,30}{\frac{849,35}{1,351} \cdot 1,0 + \frac{1045,72}{0,677} \cdot 1,0 + \frac{62,88}{0,351} \cdot 1,0 + \frac{849,35}{1,995} \cdot 0,292} = 1,133 \text{ m}^2\text{K/W}$$

3.2.5. Numărul de schimburi orare de aer $n^{(C)}$

Date fiind degradările tâmplăriei se consider un spor de schimburi de aer de 15%.

Clădirea expertizată :

- are dublă expunere;
- este moderat adăpostită;
- are permeabilitate ridicată la aer.

Ca urmare, conform C107/1 $\Rightarrow n=0,9$

$$n^{(C)} = 0,9 \times 1,15 = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

3.2.6. Coeficientul global volumic efectiv de pierderi de căldură

Relația de calcul :

$$G_{ef}^{(C)} = \frac{A}{R_M^{(C)} \cdot V} + 0,34 \cdot n^{(C)}$$

$$G_{ef}^{(C)} = \frac{2805}{1,133 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,810 \text{ W/m}^3\text{K}$$

3.2.7. Coeficient global volumic normat de pierderi de căldură

Conform C107/1, pentru clădirea expertizată rezultă $G_N^{(C)} = 0,66 \text{ W/m}^3\text{K}$

3.2.8. Gradul de realizare a coeficientului volumic global

$$\frac{G_{ef}^{(C)}}{G_N^{(C)}} = \frac{0,810}{0,66} = 1,227$$

Clădirea are pierderi specifice de căldură raportate la volum de 1,227 ori mai mari decât cele normate.

3.2.9 Consumul normal specific de energie pentru încălzirea clădirii expertizate raportat la volumul încălzit direct și indirect

Relația de calcul este :

$$Q_{inc}^{an(c)} = 0,024 \cdot G_{ef}^{(c)} \cdot C_{ef}^{(c)} \cdot N_{12}^{\theta_i} - (Q_i^{(c)} + Q_s^{(c)}) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^3\text{an})]$$

-Coeficientul global $G_{ef}^{(c)} = 0,810 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$

-Coeficientul de corecție $C_{ef}^{(c)}$ este în funcție de numărul de grade zile $N_{12}^{\theta_i}$ și de performanțele sursei de căldură.

-Pentru orașul Suceava : $N_{12}^{20} = 4080 \text{ K zile}$

$$D_{12} = 230 \text{ zile}$$

-temperatura interioară medie pentru clădire :

-în spații încălzite direct $\theta_i = 20^\circ\text{C}$

-în holuri $\theta_i = +15^\circ\text{C}$

.ca urmare :

$$\theta_i = \frac{A_{inc,dir} \cdot 20^\circ\text{C} + A_{inc,ind} \cdot 15^\circ\text{C}}{A_{tot}} = \frac{799,62 \cdot 20 + 184,40 \cdot 15}{984,02} = 19,06^\circ\text{C}$$

-Numărul de grade zile de calcul $N_{12}^{\theta_i}$ corectat :

$$N_{12}^{\theta_i} = N_{12}^{20} - (20 - \theta_i) \cdot D_{12} = 4080 - (20 - 19,06) \cdot 230 = 3870,70 \text{ K zile}$$

-Ca urmare , pentru clădirea expertizată , fără dotări speciale și $N_{12}^{\theta_i} = 3870,70 \text{ K zile}$, din normativul GP058/2000 $\Rightarrow C_{ef}^{(c)} = 0,988$

-Aporturi de căldură internă $Q_i^{(c)}$ conform GP058/2000, $Q_i^{(c)} = 7,00 [\text{kWh}/(\text{m}^3\text{an})]$

-Aporturi de căldură solară $Q_s^{(c)}$ conform GP058/2000:

$$Q_s^{(c)} = 0,40 \sum_{ij} I_{Gj} \cdot g_i \cdot \frac{A_{Fji}}{V} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^3\text{an})] - g$$

- $g_i = 0,75$ pentru ferestre duble cu geam transparent

- $V_{inc} = 5409,82 \text{ m}^3$

$$-I_{Gj} = \begin{cases} 420 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} - \text{orientare sud} \\ 100 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} - \text{orientare nord} \\ 210 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} - \text{orientare E și V} \end{cases}$$

-Arii ferestre est și vest = $21,16 \text{ m}^2$

nord = $12,24 \text{ m}^2$

sud = $11,96 \text{ m}^2$

-Ca urmare :

$$Q_s^{(c)} = 0,40 \cdot \left(420 \cdot 0,75 \cdot \frac{11,96}{5409,82} + 210 \cdot 0,75 \cdot \frac{21,16}{5409,82} + 100 \cdot 0,75 \cdot \frac{12,24}{5409,82} \right) = 0,593 [\text{kWh}/(\text{m}^3\text{an})]$$

-Consumul normal specific de energie necesară încălzirii clădirii reale :

$$Q_{inc}^{an(c)} = 0,024 \cdot 0,810 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,593) = 66,75 [\text{kWh}/(\text{m}^3\text{an})]$$

3.2.10. Consumul normal de energie necesar încălzirii clădirii pe an

$$\overline{Q}_{inc}^{an(C)} = Q_{inc}^{an(C)} \cdot V = 66,75 \cdot 5409,82 = 361105 \text{ kWh/an}$$

3.2.11. Consum normal specific de căldură raportat la aria utilă încălzită direct și an

$$q_{inc}^{an(C)} = \frac{\overline{Q}_{inc}^{an(C)}}{S_{u,inc,dir}} = \frac{361105}{799,62} = 451,59 \text{ [kWh/(m}^2\text{an)]}$$

3.2.12. Indicele de consum de energie pentru încălzire raportat la aria încălzită direct și indirect

$$\overline{q}_{inc}^{an(C)} = \frac{\overline{Q}_{inc}^{an(C)}}{S_{inc,dir+ind}^{(C)}} = \frac{361105}{984,02} = 366,97 \text{ [kWh/(m}^2\text{an)]}$$

3.2.13. Incadrarea clădirii pe grila de apreciere

Conform NC001/3, clădirea se încadrează la litera F cu limitele 343-500 [kWh/(m²an)]

3.2.14 Ponderea pierderilor de căldură prin ventilare și prin elementele anvelopei

$$\text{-prin transmisie directă : } p_{anv} = \frac{A \cdot \tau}{R_M^{(C)} \cdot V \cdot G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{2805,30 \cdot 1,00}{1,133 \cdot 5409,82 \cdot 0,810} \cdot 100 = 56,50 \%$$

$$\text{-prin ventilare : } p_{vent} = \frac{0,34 \cdot n^{(C)}}{G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{0,34 \cdot 1,035}{0,810} \cdot 100 = 43,50 \%$$

-pe elemente:

-ferestre, uși :

$$P_{fer} = \frac{A_{fer} \cdot \tau}{R_{fer}^{(C)} \cdot V \cdot G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{62,88 \cdot 1,00}{0,351 \cdot 5409,82 \cdot 0,810} \cdot 100 = 4,09 \%$$

-planșeu pod :

$$P_{plp} = \frac{A_{plp} \cdot \tau_{plp}}{R_{plp}^{(C)} \cdot V \cdot G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{849,35 \cdot 1,00}{1,351 \cdot 5409,82 \cdot 0,810} \cdot 100 = 14,36 \%$$

-placa pe sol :

$$P_{pls} = \frac{A_{pls} \cdot \tau_{pls}}{R_{pls}^{(C)} \cdot V \cdot G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{845,35 \cdot 0,292}{1,955 \cdot 5409,82 \cdot 0,810} \cdot 100 = 2,82 \%$$

-zona opacă a pereților exteriori :

$$P_{pe} = \frac{A_{pe} \cdot \tau_{pe}}{R_{pe}^{(C)} \cdot V \cdot G_{ef}^{(C)}} \cdot 100 = \frac{1045,72 \cdot 1,00}{0,677 \cdot 5409,82 \cdot 0,810} \cdot 100 = 35,23 \%$$

-verificare : $\Sigma p_i = 100$

4. Diagnoza clădirii

4.1 Compararea clădirii expertizate (C) cu clădirea de referință (R)

4.1.1. Caracteristici geometrice pentru clădirea de referință

Volumul încălzit direct și indirect	$V_{inc}^{(R)} = 549,82 \text{ m}^3$
Suprafața anvelopei	$S_{iA}^{(R)} = 2805,30 \text{ m}^2$
Suprafață placă pe sol	$S_{ps}^{(R)} = 849,35 \text{ m}^2$
Suprafață planșeu pod	$S_{plp}^{(R)} = 849,35 \text{ m}^2$
Suprafață vitrată	$S_v^{(R)} = 62,88 \text{ m}^2$
Suprafața opacă a pereților exteriori	$S_{op pe}^{(R)} = 1045,72 \text{ m}^2$
Suprafața încălzită direct și indirect	$S_{inc dir+ind}^{(R)} = 984,02 \text{ m}^2$
Suprafața utilă încălzită direct	$S_{inc dir}^{(R)} = 799,62 \text{ m}^2$

4.1.2. Caracteristicile energetice ale anvelopei clădirii de referință (R)

a) Rezistențele termice corectate ale elementelor anvelopei sunt normate în C107/1 :

Elementele anvelopei	$R'_{opt.}^{(R)}$ $\text{m}^2\text{K/W}$
Pereți exteriori	1,40
Planșeu pod	3,00
Placă pe sol	4,50
Ferestre , uși exterioare	0,50

b) Rezistența termică medie corectată ponderată pe anvelopa clădirii de referință:

$$R'_M{}^{(R)} = \frac{\sum A}{\sum \left(\frac{A_{m,i}^{(R)} \cdot \tau_{mi}}{R_{m,i}^{(R)}} \right)} = \frac{2805,30}{\frac{849,35 \cdot 1,0}{3,00} + \frac{1045,72 \cdot 1,0}{1,40} + \frac{62,88 \cdot 1,0}{0,50} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{4,50}} = 2,320 \text{ m}^2\text{K/W}$$

c) Numărul de schimburi orare de aer la clădirea de referință $n^{(R)}$:

La clădirea de referință se consideră $n^{(R)} = 0,50 \text{ h}^{-1}$

d) Coeficientul global volumic efectiv de pierderi de căldură pentru clădirea de referință :

$$G_{ef}^R = \frac{A}{R'_M{}^{(R)} \cdot V} + 0,34 \cdot n^{(R)} = \frac{2805,30}{2,32 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 0,5 = 0,394 \text{ W/m}^3\text{K}$$

e) Compararea coeficientului global al clădirii reale cu cel al clădirii de referință :

$$G_{ef}^{(C)} : G_{ef}^{(R)} = 0,810 : 0,394 = 2,06 \text{ ori}$$

Deci pierderile specifice volumice de căldură ale clădirii reale sunt mai mari de 2,06 ori față de cele ale clădirii de referință.

4.1.3. Consumul specific normal de energie pentru încălzirea clădirii de referință

$$Q_{inc}^{an(R)} = 0,024 \cdot G_{ef}^{(R)} \cdot C_{ef}^{(R)} \cdot N_{12}^{\theta_i} - (Q_i^{(R)} + Q_s^{(R)}) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^3 \text{an})]$$

$$G_{ef}^{(R)} = 0,394 \text{ W}/\text{m}^3 \text{K}$$

$$C_{ef}^{(R)} = C_{ef}^{(C)} = 0,988$$

$$N_{12}^{\theta_i} = 3870,70 \text{ K zile}$$

$$Q_i^{(R)} = 7 \text{ kWh}/\text{m}^3 \text{an}$$

$$Q_s^{(R)} = 0,593 \text{ kWh}/\text{m}^3 \text{an}$$

$$Q_{inc}^{an(R)} = 0,024 \cdot 0,394 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7,00 + 0,593) = 28,569 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \text{an})$$

Ca urmare :

-consumul specific normal de căldură pentru încălzirea întregii clădiri pe an este

$$\overline{Q}_{inc}^{an(R)} = Q_{inc}^{an(R)} \cdot V = 28,569 \cdot 5409,82 = 154553 \text{ kWh/an}$$

-consumul specific normal raportat la aria utilă încălzită direct și an

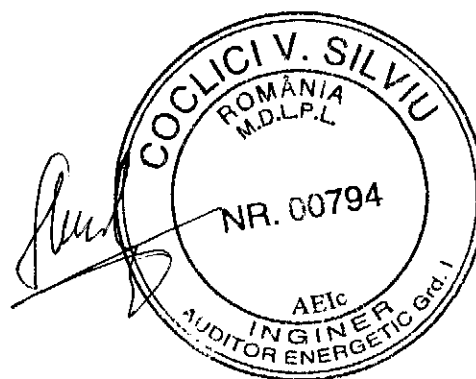
$$q_{inc}^{an(R)} = \frac{\overline{Q}_{inc}^{an(R)}}{S_{inc \text{ dir}}} = \frac{154553}{799,62} = 193,28 \text{ kWh/an}$$

-indicele de consum de căldură raportat la suprafața încălzită direct și indirect și an

$$\overline{q}_{inc}^{an(R)} = \frac{\overline{Q}_{inc}^{an(R)}}{S_{inc \text{ dir} + \text{ind}}} = \frac{154533}{984,02} = 157,06 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{an}$$

4.1.4. Incadrarea clădirii pe grila de apreciere

Consumul normal specific de căldură necesar încălzirii încadrează clădirea de referință la litera D cu limita 173-245 kWh/m² an.



AUDITUL ENERGETIC AL CLĂDIRII

1. Elemente de identificare ale auditorului energetic

Nume : Coclici

Prenume : Silviu-Mihail

Adresă : Câmpulung Moldovenesc, Jud. Suceava, Str. N.D.Coccea, nr.3

Telefon :0723 980 965

Documentul de atestare : Certificat de atestare AEI_C, seria B_A nr. 00794

2. Elemente de identificare generală a clădirii

2.1. Date generale

Clădirea: Așezământ cultural
Adresa: Orașul Gura-Humorului , județul Suceava
Proprietar: Orașul Gura-Humorului
Anul construirii: 1938
Tipul clădirii: Poligonală , parter + etaj II parțial
Număr unități: Sală de spectacole , cabine actori , birouri , casa de bilete , grupuri sanitare , holuri , casa scării .

2.2. Informații de detaliu privind clădirea

Suprafața încălzită direct : 799,62 m²
Suprafața încălzită indirect : 184,80 m²
Suprafața utilă încălzită direct și indirect: 984,02 m²
Volum încălzit direct și indirect: 5409,82 m³
Suprafața anvelopei: 2805,30 m²

Elementele anvelopei	Orientarea cardinală	Suprafața m ²	Rezistența termică unidirecțională R (m ² K/W)	Rezistența termică corectată R' (m ² K/W)
Pereți exteriori	-	1045,82	0,733	0,677
Zona vitrată	Est	2,04	0,351	0,351
	Vest	19,12	0,351	0,351
	Nord	12,24	0,351	0,351
	Sud	11,96	0,351	0,351
Planșeu pod	-	849,35	1,470	1,351
Placa pe sol	-	849,35	2,488	1,955
Indice de compactitate : $A_{anvel.} / V_{anvel.} = 0,5186 \text{ m}^{-1}$				
Rezistența termică medie corectată pe ansamblul anvelopei : $R'_M = 1,133 \text{ (m}^2\text{K/W)}$				

2.3. Informații privind consumul de căldură necesar încălzirii

Sursa de căldură	centrală termică de cartier
Durata de încălzire	D ₁₂ = 230 zile
Număr teoretic de grade zile	N ₁₂ ²⁰ = 4080 K zile

Număr de grade zile de calcul	$N_{12}^{20}=3870,700$ K zile
Număr de grade ore de calcul $=24 \cdot N_{12}^{20} =$	92896,80 K ore
Consumul normal anual de energie necesară încălzirii clădirii:	$\bar{Q}_{inc}^{an(c)} = 361105$ kWh/an
Consumul specific anual de energie necesară încălzirii clădirii raportat la volum:	$Q_{inc}^{an(c)} = 66,75$ kWh/(m ³ an)
Consumul specific anual de energie necesară încălzirii raportat la aria utilă încălzită direct	$q_{inc,dir}^{an(c)} = 451,59$ kWh/(m ² an)
Indicele de consum anual de energie necesar încălzirii raportat la aria utilă încălzită direct și indirect	$\bar{q}_{inc}^{an(c)} = 366,97$ kWh/(m ² an)

2.4. Comparatie între clădirea expertizată și clădirea de referință privind consumul anual de căldură

Clădirea expertizată are consum anual de căldură de 2,06 ori față de clădirea de referință. Urmare situației de mai sus se impune reabilitarea termică a clădirii .

2.5. Ponderea pierderilor de căldură prin elementele anvelopei și prin ventilarea necontrolată

-Prin transmisie termică directă : 56,50 %,din care:

- prin zona opacă a pereților exteriori : 35,23%
- prin zona vitrată : 4,09%
- prin planșeu pod : 14,36%
- prin placa de pardoseală : 2,82%

-Prin ventilare necontrolată : 43,50 % (la spor de ventilare de 15 %)

3. Prezentarea soluțiilor de reabilitare termică a anvelopei clădirii

3.1. Orientare de principiu

Analizând pierderile de căldură prin elementele anvelopei clădirii și comparând consumul anual de căldură al clădirii expertizate cu clădirea de referință , se desprind următoarele concluzii:

- Reabilitarea termică trebuie orientată spre zona opacă și zona vitrată a pereților exteriori și spre planșeul de pod ; placa de pardoseală prezintă o importanță redusă , dar se poate interveni , eventual, pe față exterioară a soclului.
- Gradul de protecție termică a clădirii după reabilitare ar trebui mai mult decât dublat (2,06 ori).
- Ținând seama de posibilitățile de intervenție , atenția trebuie orientată spre zona opacă și zona vitrată a pereților exteriori și spre planșeul de pod, în limita unor costuri rezonabile care să aibă ca scop principal limitarea schimburilor de aer la strictul necesar.

3.2.Solutii pentru peretii exteriori

A. Zona opacă a pereților exteriori

-In prima variantă se va placa la exterior cu polistiren de fațadă cu grosimea de 5 cm, iar în a doua variantă se va placa la exterior cu polistiren de fațadă cu grosimea de 10 cm , conform detaliilor de principiu din SC007/2002 , cu finisaj BAUMIT , KNAUF sau CERESIT(mortar adeziv de 2-3 mm , armat cu țesătură din fibre de sticlă) . Suprafața tencuielii se repară pentru a

deveni plană. Fixarea plăcilor de polistiren se face cu mortar adeziv și cu dibluri din material plastic cu rozetă. Pe conturul ferestrelor plăcile de polistiren vor fi în formă de L.

B. Zona vitrată

-În prima variantă foaia simplă de geam de pe cerceveaua interioară se va înlocui cu geam termopan 4+9+4, fie prin adâncirea falțului, fie prin suplimentarea grosimii cercevelei cu baghete din lemn sau PVC. Falțurile se rectifică pentru o mai bună păsuire, se pun colțari la ferestre pentru a mări rigiditatea și se folosesc garnituri de etanșare care să limiteze schimbul de aer.

-În a doua variantă se vor înlocui ferestrele și ușile exterioare cu tâmplărie nouă, termoizolantă.

3.3. Soluții pentru planșeul de pod

Peste planșeul existent se montează o barieră de vapori, apoi se așează plăci rigide de vată minerală, cu grosimea de 10 cm, în prima variantă și de 15 cm în a doua variantă.

Peste plăcile de vată minerală se așează, pentru protecție, un carton Kraft.

3.4. Soluții pentru placa pe sol

După repararea sau rectificarea tencuielii de pe soclu, se aplică pe suprafața acestuia un strat de 5 cm de polistiren rezistent la umiditate, peste care se execută o tencuială impermeabilă din mortar de ciment M100, armată cu plasă rabitz.

4. Breviar de calcul termotehnic în cadrul auditului energetic

4.1. Caracteristici geometrice ale clădirii

Se păstrează cele din calculul expertizei, deoarece prin audit nu se fac modificări funcționale, iar tratarea termică a clădirii nu modifică dimensiunile pe fața interioară a elementelor anvelopei.

Ca urmare:

Zona opacă a pereților exteriori	$A_{o.op.pe} = 1045,72 \text{ m}^2$
Zona vitrată a pereților exteriori	$A_{o.v} = 62,88 \text{ m}^2$
Aria planșeului de pod	$A_{o.pl.p} = 849,35 \text{ m}^2$
Aria plăcii pe sol	$A_{o.pl.s} = 849,35 \text{ m}^2$
Aria anvelopei	$A_o = 2805,30 \text{ m}^2$
Volumul încălzit direct și indirect	$V_o = 5409,82 \text{ m}^3$
Aria utilă încălzită direct	$A_{o.inc.dir} = 799,62 \text{ m}^2$
Aria utilă încălzită direct și indirect	$A_{o.inc.dir+ind} = 984,02 \text{ m}^2$
Perimetrul clădirii măsurat pe fața interioară	$P_{o.int} = 135,00 \text{ m}$
Perimetrul clădirii măsurat pe fața exterioară după reabilitare – cu 5 cm de polistiren	$P_{o.ext} = 141,00 \text{ m}$
Perimetrul clădirii măsurat pe fața exterioară după reabilitare – cu 10 cm de polistiren	$P_{o.ext} = 141,50 \text{ m}$
Înălțimea peretelui	sală : $H_{os} = 9,00 \text{ m}$ cabine : $H_{oc} = 3,40 \text{ m}$ corp intrare : $H_{oi} = 2,80 \text{ m}$
Raportul A_o/V_o	$0,5186 \text{ m}^{-1}$

4.2.1. Caracteristicile termotehnice ale materialelor

Materialele care rămân în structura elementelor anvelopei se vor usca . Ca urmare degradarea din umezire și din condens se elimină , rămânând degradarea din vechimea clădirii . Pentru materialele care se adaugă se utilizează caracteristicile de calcul din normativul C107/3 .

Aceste valori se redau în tabelul următor:

Materiale vechi	λ_{normat} W/mK	Vechime ani	Coeficient de degradare	λ_{calcul} W/mK
Beton armat	1,74			1,74
Zidărie cărămidă plină	0,80	30	1,03	0,824
Mortare tencuieli	0,87	30	1,03	0,896
șape	0,93	30	1,03	0,958
Lemn brad	0,17	30	1,05	0,175
Materiale noi	λ_{normat} W/mK	-	-	λ_{calcul} W/mK
Polistiren celular	0,040	-	-	0,044
Vată minerală rigidă G140	0,040	-	-	0,044 (tasare 10%)

4.2.2. Lungimi de punți termice liniare

- Centuri perimetrale măsurate pe perimetrul exterior: $l_c = 141,50$ m
- Buiandrugii $l_b = 50,90$ m
- Spaieți și glafuri ferestre $l_f = 85,70$ m
- Colțuri $l_s = 57,40$ m

4.2.3. Rezistențele termice unidirecționale

Relația de calcul a rezistențelor termice unidirecționale este :

$$R_0 = R + \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

În care R este rezistența termică a alcătuirii existente la care se adaugă rezistența materialelor adăugate .

a) Zona opacă a pereților exteriori

Varianta 1 : placare cu polistiren de 5 cm grosime

$$R_0 = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,896} + \frac{0,50}{0,824} + \frac{0,025}{0,958} + \frac{0,05}{0,044} + \frac{1}{24} = 1,953 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Varianta 2 : placare cu polistiren de 10 cm grosime

$$R_0 = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,896} + \frac{0,50}{0,824} + \frac{0,025}{0,958} + \frac{0,10}{0,044} + \frac{1}{24} = 3,089 \text{ m}^2\text{K/W}$$

b) Zona vitrată

Varianta 1 : înlocuirea unei foi de geam cu geam termoizolant

$$R_o = R'_o = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Varianta 2 : tâmplărie nouă din profile PVC cu geam termoizolant cu foaie tratată LOW-E

$$R_o = R'_o = 0,67 \text{ m}^2\text{K/W}$$

c) Planșeu pod

Varianta 1: Placare cu vată minerală de 10 cm grosime

$$R_o = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,896} + \frac{0,30}{0,175} + \frac{0,10}{0,044} + \frac{1}{24} = 4,165 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Varianta 2: Placare cu vată minerală de 15 cm grosime

$$R_o = \frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,896} + \frac{0,30}{0,175} + \frac{0,15}{0,044} + \frac{1}{24} = 5,302 \text{ m}^2\text{K/W}$$

d) Placa pe sol

$$R_o = R = 2,488 \text{ m}^2\text{K/w}$$

4.2.4 .Rezistențe termice corectate

a) Zona opacă a pereților exteriori

Relația de calcul : $R'_o = r_o \times R_o$

Relația de calcul pentru coeficientul de reducere a rezistenței termice unidirecționale pentru pereți exteriori este dată în normativul SC007-2002

$$r_o = \frac{1}{(1-p) + R_o \cdot \overline{U} \cdot p + R_o \cdot \psi_{o5}} [-]$$

R_o –rezistența termică unidirecțională pe aria opacă a peretelui exterior

\overline{U} - transmitanța termică ponderată

$$R_{o,1} = 1,953 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{o,2} = 3,089 \text{ m}^2\text{K/W}$$

-pondera zonelor mai puțin izolate termic existente pe zona opacă a pereților exterior este egală

$$\text{cu : } p = \frac{\sum S'_i}{S} [-]$$

Suprafețele S'_i sunt:

-centuri : $141,50 \times 0,20 \times 2 = 56,60 \text{ m}^2$, $p = 0,086$

-buiandrugii : $50,90 \times 0,20 = 10,18 \text{ m}^2$, $p = 0,010$

$$\sum S_i = 66,78 \text{ m}^2, \sum p_i = 0,096$$

$$S - \text{suprafața opacă a pereților exteriori} = 1045,72 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{\sum S_i'}{S} = \frac{66,78}{1045,72} = 0,064$$

-Rezistența termică unidirecțională în zona punților termice :

$$\text{Varianta 1: } R_{0,p,1} = \frac{1}{8} + \frac{0,20}{1,74} + \frac{0,025}{0,958} + \frac{0,05}{0,44} + \frac{1}{24} = 1,444 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Varianta 2: } R_{0,p,2} = \frac{1}{8} + \frac{0,20}{1,74} + \frac{0,025}{0,896} + \frac{0,10}{0,44} + \frac{1}{24} = 2,581 \text{ m}^2\text{K/W}$$

-Transmitanța termică în zonele mai puțin izolate:

$$\text{Varianta 1: } U_{0,1} = \frac{1}{R_{0,p,1}} = 0,692 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Varianta 2: } U_{0,1} = \frac{1}{R_{0,p,1}} = 0,387 \text{ W/m}^2\text{K}$$

-Transmitanța termică medie :

$$\overline{U} = \frac{\sum U_i p_i}{p} \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\overline{U} = U_l \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{Coeficientul } \Psi_o = \frac{\sum \Psi_{0i} l_i}{l}$$

Coeficienții $\Psi_{0,i}$ se extrag din SC 007-2002

$$\text{-Centura din beton armat : } \Psi_{0,i} = 0,040 \text{ W/m K ; } \sum l_c \cdot \Psi_{0,i} = 141,50 \times 0,04 = 5,66 \text{ W/K}$$

$$\text{-Buiandrugi : } \Psi_{0,i} = 0,40 \text{ W/m K ; } \sum l_b \cdot \Psi_{0,i} = 50,90 \times 0,4 = 20,36 \text{ W/K}$$

$$\text{-Spaieți, glafuri : } \Psi_{0,i} = 0,19 \text{ W/m K ; } \sum l_f \cdot \Psi_{0,i} = 85,70 \times 0,19 = 16,28 \text{ W/K}$$

$$\text{-Colțuri ieșinde : } \Psi_{0,i} = 0,19 \text{ W/m K ; } \sum l_s \cdot \Psi_{0,i} = 57,40 \times 0,19 = 10,91 \text{ W/K}$$

$$-\sum l_i = 335,50 \text{ m ; } \sum l_0 \cdot \Psi_o = 53,21 \text{ W/K}$$

$$-\Psi_o = \frac{\sum \Psi_{0i} l_i}{l} = \frac{53,21}{335,50} = 0,159 \text{ W/m K}$$

$$\text{-Varianta 1 : } r_{0,1} = \frac{1}{(1-0,064) + 1,953 \cdot 0,692 \cdot 0,064 + 1,953 \cdot 0,159 \cdot \frac{335,50}{1045,72}} = 0,892 [-]$$

$$R'_{o1} = r_{0,1} \cdot R_{0,1} = 0,892 \cdot 1,953 = 1,742 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{-Varianta 2 : } r_{0,2} = \frac{1}{(1-0,064) + 3,089 \cdot 0,387 \cdot 0,064 + 3,089 \cdot 0,159 \cdot \frac{335,50}{1045,72}} = 0,855 [-]$$

$$R'_{o2} = r_{0,2} \cdot R_{0,2} = 0,855 \cdot 3,089 = 2,641 \text{ m}^2\text{K/W}$$

b) Planșeu pod

$$R'_{01} = R_{01} = 4,165 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R'_{01} = R_{02} = 5,302 \text{ m}^2\text{K/W}$$

c) Zona vitrată

Varianta 1 :

$$R'_o = R_o = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Varianta 2 :

$$R'_o = R_o = 0,67 \text{ m}^2\text{K/W} \quad - \text{ se consideră } n_o = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

d) Placa pe sol

Izolând suplimentar soclul cu 5 cm de polistiren , protejat cu tencuială impermeabilă ,din normativul SC007 rezultă $\varphi_o = 0,29$.

$$r_o = \frac{1}{1 + \frac{R_o + \sum \varphi_{oi} \cdot I_i}{S}}$$

$$r_o = \frac{1}{1 + \frac{2,488 \cdot 0,29 \cdot 141,00}{849,35}} = 0,893$$

$$R'_o = r_o \cdot R_o = 0,893 \cdot 2,488 = 2,222 \text{ m}^2\text{K/W}$$

4.2.5. Caracteristicile termo-energetice ale anvelopei clădirii înainte și după reabilitare pe pachete de programe

Nr. pachet proiect	Conținutul pachetului de proiect	Aria element anvl., $A_{0,i}$ m^2	Rezist. termică corectată înainte de reabilitare $R'_{i(C)}$ $\text{m}^2\text{K/W}$	Rezist. termică corectată după reabilitare $R'_{0,i}$ $\text{m}^2\text{K/W}$	Coef $\tau_{0,i}$	Rezist. pe anvl. după aplic. pachetului $R'_{0,M}$ $\text{m}^2\text{K/W}$	Nr. schimb. orare h^{-1}	Coef global $G_{0,er}$ după aplic. pachet $\text{W/m}^2\text{K}$
1.	Izolarea zonei opace cu 5 cm polistiren	1045,72	0,677	1,742	1,00	1,829	1,035	0,635
2.	Izol. zonei opace cu 10 cm polistiren	1045,72	0,677	2,641	1,00	2,150	1,035	0,598
3.	Izol. pl. pod cu 10 cm vată min.	849,35	1,351	4,165	1,00	1,366	1,035	0,731
4.	Izol. pl. pod cu 15 cm vată min.	849,35	1,351	5,302	1,00	1,395	1,035	0,724
5.	Îmbunăt. tâmpl. existente	62,88	0,351	0,530	1,00	1,157	0,50	0,618
6.	Înloc. cu tâmpl. termoizolantă	62,88	0,351	0,670	1,00	0,172	0,50	0,612
7.	Izol. soclu ext. cu 5cm polist.	849,35	1,955	2,222	0,292	0,134	1,035	0,809

Rezistența termică medie corectată pe ansamblul anvelopei se calculează cu relația:

$$R'_{o,M} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{\Sigma \left(\frac{A_{o,i} \cdot \tau_i}{R'_{o,i}} \right)}, \quad \Sigma A_{o,i} = 2805,30 \text{ m}^2$$

În relația de mai sus se introduce caracteristicile specifice fiecărui program de reabilitare. Celelalte caracteristici rămân neschimbate.

Pachetul nr. 1

$$A_{op,p} = 1045,72 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i1} = 1,742 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

Celelalte valori $A_{o,i}$ și $R'_{o,i}$ rămân cele dinaintea de reabilitare.

$$R'_{o,M1} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{1,742} + \frac{849,35}{1,351} + \frac{62,88}{0,351} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 1,829 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{oef,1} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{o,M,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, \quad n_o = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{oef,1} = \frac{2805,30}{1,829 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,635 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 2

$$A_{op,p} = 1045,72 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i2} = 2,641 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

$$R'_{o,M2} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{2,641} + \frac{849,35}{1,351} + \frac{62,88}{0,351} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 2,110 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{oef,2} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{o,M,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, \quad n_o = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{oef,2} = \frac{2805,30}{2,110 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,598 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 3

$$A_{op,p} = 849,35 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i3} = 4,165 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

$$R'_{o,M3} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{0,677} + \frac{849,35}{4,165} + \frac{62,88}{0,351} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 1,366 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{\text{of}, 3} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{oM,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, n_o = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{\text{of}, 3} = \frac{2805,30}{1,366 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,731 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 4

$$A_{o,plp} = 849,35 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i4} = 5,302 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

$$R'_{o,M4} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{0,677} + \frac{849,35}{5,302} + \frac{62,88}{0,351} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 1,395 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{\text{of}, 4} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{oM,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, n_o = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{\text{of}, 4} = \frac{2805,30}{1,395 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,724 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 5

$$A_{oV} = 62,88 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i5} = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

$$R'_{o,M5} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{0,677} + \frac{849,35}{1,351} + \frac{62,88}{0,53} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 1,157 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{\text{of}, 5} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{oM,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, n_o = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{\text{of}, 5} = \frac{2805,30}{1,157 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 0,5 = 0,618 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 6

$$A_{0v} = 62,88 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i6} = 0,67 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 1,00$$

$$R'_{o,M6} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{0,677} + \frac{849,35}{1,351} + \frac{62,88}{0,67} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{1,955}} = 1,172 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{\text{cef},6} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{oM,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, \quad n_o = 0,5 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{\text{cef},6} = \frac{2805,30}{1,172 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 0,5 = 0,612 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul nr. 7

$$A_{0plp} = 849,35 \text{ m}^2; \quad R'_{o,i7} = 2,222 \text{ m}^2\text{K/W}; \quad \tau_{o,i} = 0,292$$

$$R'_{o,M7} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{0,677} + \frac{849,35}{1,351} + \frac{62,88}{0,351} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{2,222}} = 1,134 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\text{Coeficientul global } G_{\text{cef},7} = \frac{\Sigma A_{o,i}}{R'_{oM,i} \cdot V} + 0,34 \cdot n_o$$

$$V = 5409,82 \text{ m}^3, \quad n_o = 1,035 \text{ h}^{-1}$$

$$G_{\text{cef},7} = \frac{2805,30}{1,134 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 1,035 = 0,809 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul global minimal P8

- Se izolează zona opacă a pereților exterior cu polistiren de 5 cm. Rezultă $R'_{08} = 1,742 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se izolează planșeul de pod cu 10 cm vată minerală rigidă. Rezultă : $R'_{08} = 4,165 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se îmbunătățește tâmplăria existentă. Rezultă : $R'_{08} = 0,53 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se izolează soclul exterior. Rezultă : $R'_{08} = 2,222 \text{ m}^2\text{K/W}$;

$$R'_{o,M8} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{1,742} + \frac{849,35}{4,165} + \frac{62,88}{0,53} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{2,222}} = 2,713 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$G_{\text{cef},8} = \frac{2805,30}{2,713 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 0,5 = 0,361 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Pachetul global maximal P9

- Se izolează zona opacă a pereților exteriori cu 10 cm polistiren. Rezultă $R'_{09} = 2,641 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se izolează planșeul de pod cu 15 cm vată minerală rigidă. Rezultă : $R'_{09} = 5,302 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se înlocuiește tâmplăria existentă cu tâmplărie termoizolantă. Rezultă : $R'_{09} = 0,67 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- Se izolează soclul exterior. Rezultă : $R'_{09} = 2,222 \text{ m}^2\text{K/W}$;

$$R'_{o,M9} = \frac{2805,30}{\frac{1045,72}{2,641} + \frac{849,35}{5,302} + \frac{62,88}{0,67} + \frac{849,35 \cdot 0,292}{2,222}} = 3,685 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$G_{o,ef,9} = \frac{2805,30}{3,685 \cdot 5409,82} + 0,34 \cdot 0,5 = 0,311 \text{ W/m}^3\text{K}$$

4.2.6. Consumurile normale anuale de căldură după aplicarea pachetelor de proiecte de reabilitare termică și economia anuală de energie ΔE (kW h/an) și ΔE_c (kW h/ m² an)

Relația de calcul a consumului de energie necesară încălzirii este :

$$\overline{Q}_{inc}^{an} = Q_{inc}^{an} \cdot V_{inc} \quad [\text{kWh/an}]$$

$$Q_{inc}^{an} = 0,024 \cdot G_{o,ef} \cdot C_{o,ef} \cdot N_{o,12}^{\theta i} - (Q_{o,i} + Q_{o,s}) \quad [\text{kWh/m}^3\text{an}]$$

$$C_{o,ef} = C_{ef}^{(c)} = 0,988$$

$$N_{12}^{\theta i} = 3870,70 \text{ zile}$$

$$Q_{o,i} = Q_i^{(c)} = 7 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{o,s} - \text{nu se modifică la pachetele 1, 2, 3, 4 și 7 ; } Q_{o,s} = Q_s^{(c)} = 0,583 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{o,s} - \text{se modifică la pachetele 5, 6, 8 și 9 deoarece se fac intervenții la geamuri.}$$

$$G_{o,ef} - \text{se modifică la toate pachetele de proiecte.}$$

$$\text{Economia de energie necesară încălzirii este : } \Delta E = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o,inc}^{an} \quad [\text{kWh/an}]$$

$$\overline{Q}_{inc}^{an(c)} = 361105 \text{ kWh/an (pentru clădirea expertizată)}$$

Pentru pachetul 1

$$Q_{inc1}^{an} = 0,024 \cdot 0,635 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 50,699 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc1}^{an} = Q_{inc1}^{an} \cdot V_{inc} = 50,699 \cdot 5409,82 = 274272 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_1 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o,inc1}^{an} = 361105 - 274272 = 86833 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c1} = \frac{\Delta E_1}{S_{inc\ dir}} = \frac{86833}{799,62} = 108,59 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 2

$$Q_{inc2}^{an} = 0,024 \cdot 0,598 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 47,303 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc2}^{an} = Q_{inc2}^{an} \cdot V_{inc} = 47,303 \cdot 5409,82 = 255901 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_2 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc2}^{an} = 361105 - 255901 = 105207 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c2} = \frac{\Delta E_2}{S_{inc dir}} = \frac{105207}{799,62} = 131,571 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 3

$$Q_{inc3}^{an} = 0,024 \cdot 0,731 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 59,510 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc3}^{an} = Q_{inc3}^{an} \cdot V_{inc} = 59,510 \cdot 5409,82 = 321938 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_3 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc3}^{an} = 361105 - 321938 = 39167 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c3} = \frac{\Delta E_3}{S_{inc dir}} = \frac{39167}{799,62} = 48,98 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 4

$$Q_{inc4}^{an} = 0,024 \cdot 0,724 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 2,205) = 58,87 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc4}^{an} = Q_{inc4}^{an} \cdot V_{inc} = 58,87 \cdot 5409,82 = 318476 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_4 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc4}^{an} = 361105 - 318476 = 42629 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c4} = \frac{\Delta E_4}{S_{inc dir}} = \frac{42629}{799,62} = 53,51 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 5

-se modifică coeficientul g_i de penetrare a radiației solare de la 0,75 la 0,65 (alt aport de energie solară)

$$Q_{os5} = 0,40 \left(100 \cdot 0,65 \cdot \frac{12,24}{5409,82} + 420 \cdot 0,65 \cdot \frac{11,96}{5409,82} + 210 \cdot 0,65 \cdot \frac{21,16}{5409,82} \right) = 0,514 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{inc5}^{an} = 0,024 \cdot 0,618 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,514) = 49,21 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc5}^{an} = Q_{inc5}^{an} \cdot V_{inc} = 49,21 \cdot 5409,82 = 266217 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_5 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc5}^{an} = 361105 - 266217 = 94888 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c5} = \frac{\Delta E_5}{S_{inc dir}} = \frac{94888}{799,62} = 118,67 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 6

-se modifică coeficientul g_i de penetrare a radiației solare de la 0,65 la 0,5 (alt aport de energie solară)

$$Q_{os6} = 0,40 \left(100 \cdot 0,5 \cdot \frac{12,24}{5409,82} + 420 \cdot 0,5 \cdot \frac{11,96}{5409,82} + 210 \cdot 0,5 \cdot \frac{21,60}{5409,82} \right) = 0,395 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{inc6}^{an} = 0,024 \cdot 0,612 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,395) = 48,78 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc6}^{an} = Q_{inc6}^{an} \cdot V_{inc} = 48,78 \cdot 5409,82 = 263891 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_6 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc6}^{an} = 361105 - 263891 = 97214 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c6} = \frac{\Delta E_6}{S_{inc dir}} = \frac{97214}{799,62} = 121,58 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 7

$$Q_{inc7}^{an} = 0,024 \cdot 0,809 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 66,67 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc7}^{an} = Q_{inc7}^{an} \cdot V_{inc} = 66,67 \cdot 5409,82 = 360673 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_7 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc7}^{an} = 361105 - 360673 = 432 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c7} = \frac{\Delta E_7}{S_{inc dir}} = \frac{432}{799,62} = 0,540 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 8 (minimal)

$$Q_{inc8}^{an} = 0,024 \cdot 0,361 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 25,55 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc8}^{an} = Q_{inc8}^{an} \cdot V_{inc} = 25,55 \cdot 5409,82 = 138221 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_8 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc8}^{an} = 361105 - 138221 = 222884 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c8} = \frac{\Delta E_8}{S_{inc dir}} = \frac{222884}{799,62} = 278,74 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

Pentru pachetul 9 (maximal)

$$Q_{inc9}^{an} = 0,024 \cdot 0,311 \cdot 0,988 \cdot 3870,70 - (7 + 0,583) = 20,96 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$\overline{Q}_{inc9}^{an} = Q_{inc9}^{an} \cdot V_{inc} = 20,96 \cdot 5409,82 = 113390 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_9 = \overline{Q}_{inc}^{an(c)} - \overline{Q}_{o inc9}^{an} = 361105 - 113390 = 247715 \text{ kWh/an}$$

$$\Delta E_{c9} = \frac{\Delta E_9}{S_{inc dir}} = \frac{247715}{799,62} = 309,79 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

4.2.7 Compararea clădirii după reabilitare cu clădirea de referință și cu consumul normat în GP058-2000

Compararea se face pentru programul minimal de măsuri P7 și programul maximal de măsuri P8 . Criteriul de comparație îl reprezintă consumul anual de căldură necesar încălzirii raportat la volumul încălzit direct și indirect și an .

$$Q_{inc}^{an(R)} = 28,57 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{o,inc8}^{an} = 25,55 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{o,inc9}^{an} = 20,96 \text{ kWh/m}^3\text{an}$$

$$Q_{inc}^{an(N)} = 22 \text{ kWh/m}^3\text{an} - \text{se extrage din GP 058-2000 , funcție de raportul A/V}$$

Din punct de vedere al consumului normal anual de energie necesară încălzirii , programul maximal P9 se apropie cel mai mult de prevederile normativului GP 058-2000.

4.2.7 Incadrarea pe grila de notare a clădirii după reabilitarea cu programul global minimal și maximal

Pentru încadrarea pe grila de apreciere este necesar calculul consumului specific de energie necesară încălzirii raportat la aria utilă încălzită direct și an:

$$q_{inc}^{an} = \frac{\overline{Q_{inc}^{an}}}{S_{inc \text{ dir}}} \quad [\text{kWh/m}^2\text{an}]$$

Pentru clădirea expertizată și clădirea de referință valorile $q_{inc}^{an(c)}$, $q_{inc}^{an(R)}$ sunt calculate în partea de expertiză .

Pentru clădirea reabilitată cu programele P8 și P9 ,valorile sunt cele de mai jos :

$$q_{o,inc,8}^{an} = \frac{\overline{Q_{inc8}^{an}}}{S_{inc \text{ dir}}} = \frac{138221}{799,62} = 172,86 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

$$q_{o,inc,9}^{an} = \frac{\overline{Q_{inc9}^{an}}}{S_{inc \text{ dir}}} = \frac{113390}{799,62} = 141,80 \text{ kWh/m}^2\text{an}$$

- pentru clădirea expertizată : $q_{inc}^{an(c)} = 451,59 \text{ kWh/m}^2\text{an}$

- pentru clădirea de referință : $q_{inc}^{an(R)} = 193,28 \text{ kWh/m}^2\text{an}$

Incadrarea pe grilă se face numai prin litere și numai pentru energia necesară încălzirii clădirii .

Clădirea	Consum specific q_{inc}^{an} [kWh/m ² an]	Litera de încadrare	Limitele literei
Clădirea expertizată	451,59	F	343 - 500
Clădirea de referință	193,28	D	173 - 245
Clădirea reabilitată cu P8	172,86	C	117 - 173
Clădirea reabilitată cu P9	141,80	C	117- 173

5. Indicatorii de analiză tehnico-economică calculați pentru cele 9 pachete de măsuri de reabilitare termică

5.1 Indicatorii tehnico-economici utilizați

Aceștia sunt următorii :

A. Durata de recuperare a investiției de reabilitare termică N_R (ani)

$$N_R = \frac{C_{inv}}{\Delta E \cdot c} \quad [\text{ani}]$$

în care : C_{inv} - costul investiției pentru fiecare pachet de măsuri [Euro]

ΔE - economia de energie pentru fiecare pachet de măsuri [kWh/an]

c -prețul energiei termice pentru încălzire

B. Costul energiei economisite pe durata de viață estimată a soluției de reabilitare termică a fiecărui pachet de măsuri

$$e = \frac{C_{inv}}{\Delta E \cdot N_s} \quad [\text{Euro/kWh}]$$

în care : N_s - durata de viață estimată a soluției de reabilitare (se poate extrage din normativul GE 032- 97) , [ani]

C. Economia de combustibil pe an pentru fiecare pachet de măsuri ΔC_{comb}

$$\Delta C_{comb} = \Delta E \cdot p_{e,comb} \quad [\text{m}^3, \text{kg, etc.}]$$

$$p_{e,comb} = \text{puterea energetică a combustibilului} = \frac{q_{comb}}{kWh}$$

q_{comb} = consumul specific de combustibil pentru a produce 1 kWh

D. Reducerea poluării mediului prin reducerea cantității de CO₂ emis în atmosferă anual, pentru fiecare program [kg/kWh] sau [kg/an]

$$C_{inv,s} = \frac{C_{inv}}{S_{inc,dir}} \quad [\text{Euro/m}^2 \text{ de arie utilă încălzită direct}]$$

$$e = \frac{C_{inv,s}}{\Delta E_{c,s}} \quad [\text{kWh/m}^2] , \text{ în care } \Delta E_c \text{ este economia specific de energie}$$

$$\Delta E_c = \frac{\Delta E}{S_{inc,dir}} \text{ [kwh/m}^2\text{an]}$$

5.2 Mărimi preliminare pentru calculul indicatorilor tehnico-economici

a) Suprafețele pe care se aplică programele de reabilitare

-Pachetele P₁ și P₂ se aplică pe zona opacă a pereților exteriori

$$S_{pe} = P_{ext} \times H_{per,ext} - S_v = 1045,72 \text{ m}^2$$

-Pachetele 3 și 4 se aplică pe suprafața planșeului de pod

$$S_{plp} = 849,35 \text{ m}^2$$

-Pachetele 5 și 6 se aplică pe suprafața vitrată

$$S_v = 62,88 \text{ m}^2$$

-Pachetul 7 se aplică pe suprafața soclului

$$S_s = 141,50 \times 0,60 = 84,90 \text{ m}^2$$

-Pachetele 8 și 9 se aplică pe toată anvelopa

b) Costuri pe unitatea de suprafață pe pachetul de programe și durata de viață (conform GE 032-97)

Se stabilesc pe bază de deviz în cazul dat : N_s [ani]

-pachetul P₁ = 26,45 Euro/m² 20

-pachetul P₂ = 30,70 Euro/m² 20

-pachetul P₃ = 10,70 Euro/m² 20

-pachetul P₄ = 14,65 Euro/m² 20

-pachetul P₅ = 43,49 Euro/m² 15

-pachetul P₆ = 142,8 Euro/m² 15

-pachetul P₇ = 26,45 Euro/m² 20

Pentru P₈ și P₉ N_s se estimează global la 18 ani.

Costul pachetelor P₈ și P₉ se obține prin însumarea costurilor pe pachetele combinate.

c) Costul "C" al energiei în Euro/KWh

$$1 \text{ Gcal} = 180 \text{ lei}$$

$$1 \text{ MWh} = \frac{1 \text{ Gcal}}{1,163} = \frac{180}{1,163} = 154,772 \text{ lei}$$

$$1 \text{ kWh} = 0,155 \text{ lei} = 0,036 \text{ Euro} \quad (1 \text{ Euro} = 4,30 \text{ lei})$$

Pentru indicatorii de mai sus se întocmește tabelul următor :

Pac. nr.	Supraf. de aplicare m ²	Preț unitar Euro/m ²	Cost de investiție Euro	Economie de energie ΔE kWh/an	Economie spec. de energie ΔE_c kWh/m ² an	Durata estimată de viață N_s ani	Durata de recup. a invest. N_i ani	Costul energiei economisite Euro/kWh	Economia de combustibil ΔC_c m ³	Reduce re cant de noxe kgCO ₂
1	1045,72	26,45	27659	86833	108,59	20	8,85	0,016	8683,3	16498
2	1045,72	30,70	32104	105204	131,57	20	8,48	0,015	10520,4	19989
3	849,35	10,70	9088	39167	48,98	20	6,45	0,116	3916,70	7442
4	849,35	14,65	12443	42629	53,31	20	8,11	0,014	4269,9	8099
5	62,88	43,49	2735	94888	118,67	15	0,80	0,002	9488,8	18029
6	62,88	142,80	8979	97214	121,58	15	2,56	0,006	9271,4	18471
7	84,90	26,45	2246	432	0,54	20	14,44	0,260	43,2	82
8	P1+P3+P5+P7		41728	222884	278,74	18	5,20	0,010	22288,4	42348
9	P2+P4+P6+P7		55772	247715	309,79	18	6,25	0,012	24771,5	47066

La efectuarea calculelor din tabelul de mai sus s-a ținut cont de faptul că :

-economia specifică de energie ΔE_c se calculează raportând economia ΔE la aria utilă încălzită direct;

-costul C este egal cu 0,036 Euro/kWh;

-calculul s-a efectuat pentru combustibilul de gaz metan;

-puterea energetică de 1 kWh se produce cu $0,1 \text{ m}^3$ de gaz metan;

-la arderea unui m^3 de gaz metan se elimină $1,9 \text{ kg CO}_2$ sau $0,19 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$.

6 . Concluzii și recomandări

Analizând rezultatele centralizate din tabelul anterior , rezultă următoarele concluzii :

a) Pachetul maximal P9 este cel mai avantajos deoarece :

- aduce clădirea expertizată la un consum normal anual de energie raportat la volumul încălzit $\overline{Q}_{inc}^{an} = 20,96 \text{ KWh/m}^3\text{an}$ foarte apropiat de cel recomandat în normativul GP 058-2000;

- aduce o economie de energie necesară încălzirii egală cu 247715 KWh/an , ceea ce raportat la energia necesară încălzirii clădirii înainte de reabilitare , egală cu 361105 KWh/an , reprezintă aproximativ 69 % ;

- durata de recuperare a investiției este $N_r = 6$ ani iar durata estimată de viață este $N_s = 18$ ani ; diferența de timp de aproximativ 12 ani duce la o economie de energie de 69 % ;

- economia de gaz-metan este de $24771 \text{ m}^3/\text{an}$;

- cantitatea de CO_2 care se elimină în atmosferă se reduce cu 47066 kg .

b) Concluziile si evaluările de mai sus justifică necesitatea reabilitării termice a clădirii expertizate .

