

EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE ȘI A CICLULUI DE VIAȚĂ A CLĂDIRILOR

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

ing. Iosif Boros

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Valeriu Stoian
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing.
prof.univ.dr.ing.
conf.univ.dr.ing.

Ziua susținerii tezei:

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 2. Chimie | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 3. Energetică | 12. Ingineria sistemelor |
| 4. Ingineria Chimică | 13. Inginerie energetică |
| 5. Inginerie Civilă | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 6. Inginerie Electrică | 15. Ingineria materialelor |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 16. Inginerie și Management |
| 8. Inginerie Industrială | 17. Arhitectură |
| 9. Inginerie Mecanică | 18. Inginerie civilă și instalații |

Universitatea Politehnica 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, 2021

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 Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

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

Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Construcții Civile și Instalații, Facultatea de Construcții al Universității Politehnica Timișoara.

Doresc să îmi exprim recunoștința față de Prof. Valeriu Augustin Stoian, pentru încrederea, răbdarea, îndrumarea, sprijinul și oportunitățile acordate, pentru exemplul oferit de bunătate și generozitate, respectiv de exercitare a profesiilor de cadru didactic și inginer. Consolidarea motivației mele de a urma domeniul eficienței energetice a clădirilor se datorează Prof. Valeriu Stoian.

Îmi exprim recunoștința față de Prof. Tamás Nagy-György, pentru încrederea și îndrumarea acordată. Apreciez implicarea extinsă și contribuția esențială a Prof. Tamás Nagy-György în dezvoltarea mea ca și cercetător și inginer. Mulțumesc pentru sprijinul necondiționat, pentru întreținerea motivației și pentru exemplul de profesionalism oferit.

Mulțumiri speciale și recunoștință adresez arhitectului Dan Stoian, pentru contribuțiile fundamentale la stabilirea detaliilor conceptului și la implementarea sistemului de monitorizare. Aportul lui Dan Stoian a fost esențial în dezvoltarea cunoștințelor mele și în îndeplinirea obiectivelor proiectului pilot.

Mulțumiri speciale și recunoștință adresez colegului inginer Szilárd Karda, pentru devotamentul și contribuțiile la dezvoltarea sistemului de monitorizare, la implementarea clădirii de învățământ și la activitățile comune zilnice. De asemenea, mulțumesc inginerii Karin Schmiedt pentru contribuțiile la îndeplinirea obiectivelor.

Adresez mulțumiri tuturor colegilor din Departamentul CCI, pentru ajutorul acordat. Mi-a făcut plăcere să lucrez împreună cu Remus Chendeș, Cosmin Dăescu, Cristina Tănăsă și Prof. Ianca Sevastean†, a căror implicare și devotament le apreciez foarte mult.

Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare Prof. Daniel Dan, Prof. Adrian Ciutină și Conf. Adrian Bota pentru sprijinul acordat dar și pentru oportunitatea de a lucra în cadrul unui proiect de cercetare. De asemenea, îmi exprim recunoștința față de comisia de doctorat alcătuită din Prof. Raul Zaharia, Prof. Marcela Prada, Prof. x și Prof. x.

Doresc să îmi exprim gratitudinea față de Ferenc Mikló și Teréz Miklót pentru încrederea și oportunitatea acordată, prin cooptarea mea într-o poziție decizională. Această experiență mi-a definit și format parcursul profesional, respectiv mi-a oferit o perspectivă de ansamblu a întregului proces de construire.

Mulțumesc colaboratorilor Codruț Floruț, Bogdan Negrea și Laviniu Leuce pentru contribuțiile în etapa de proiectare. Doresc să adresez sincere mulțumiri partenerilor Florin Demian, Horia Ban, Marius Mateuț, István Iványi, Lajos Németh, István Horváth și Bogdan Furtos pentru contribuțiile la realizarea sistemului de monitorizare și pentru implementarea calitativă a lucrărilor de execuție la clădirea de învățământ.

Sunt recunoscător familiei și prietenilor, pentru încurajările și suportul lor. Mulțumesc Tiberiei, pentru răbdarea, înțelegerea și sprijinul ei.

Dedicat părinților mei Ana și Iosif, pentru iubirea lor, sprijinul permanent și sacrificiile lor nenumărate.

Exemplul lor este baza dezvoltării mele profesionale și umane.

Timișoara, Noiembrie 2020

Iosif BOROS

Această lucrare este sprijinită de Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane POSDRU/159/1.5/S/137516 finanțat din Fondul Social European și de către Guvernul României.

Această lucrare a fost parțial sprijinită de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică, CNDI-UEFISCDI, număr proiect PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1214 – Contract 74/2012

Boros, Iosif

Evaluarea performanței energetice și a ciclului de viață a clădirilor

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2021, 288 pagini, 190 figuri, 94 tabele.

ISSN:

ISSN-L:

ISBN:

Cuvinte cheie: eficiență energetică, ciclu de viață, monitorizare, casă pasivă

Rezumat:

Îndeplinirea obiectivelor strategice globale de mediu necesită acțiuni ferme și eficiente de reducere a consumurilor de energie în industria construcțiilor. Investigarea prin modelări numerice și măsurători a proiectelor pilot de clădiri eficiente energetic poate să reprezinte o modalitate de perfecționare soluțiilor tehnice care îmbunătățesc impactul fondului construit asupra mediului înconjurător. De asemenea, evaluarea comportării acestora pe durata ciclului de viață este fundamentală pentru validarea soluțiilor propuse. Lucrarea are la bază o clădire de învățământ eficientă energetic și confort interior ridicat din România, la care s-a implementat un sistem de monitorizare în timp a parametrilor ce definesc comportarea energetică. Sunt prezentate detaliile soluțiilor tehnice privind anvelopa termică, instalațiile, strategia de monitorizare, senzorii și instrumentele de măsurare. Performanța energetică a clădirii s-a evaluat prin calcul numeric iar rezultatele sunt comparate cu valorile unor clădiri de referință dar și cu valorile consumurilor energetice reale contorizate. Temperaturile exterioare și regimul de utilizare sunt principalele cauze ale diferenței dintre valorile calculate și contorizate. Impactul asupra mediului este determinat prin evaluarea amprentei de carbon a etapei de construire și a emisiilor de CO₂ pentru 50 de ani de utilizare. Costul global este determinat prin considerarea tuturor costurilor de la începerea execuției clădirii și până la parcurgerea perioadei de utilizare considerate. Consumul de energie, impactul asupra mediului și costul global al clădirii de învățământ sunt comparate cu valorile unor clădiri de referință, respectiv sunt evidențiate beneficiile soluțiilor tehnice de eficiență energetică.

CUPRINS
NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME**LISTA DE TABELE****LISTA DE FIGURI**

1. INTRODUCERE.....	1
1.1. Consumurile de energie ale clădirilor	1
1.2. Cadrul legislativ existent.....	4
1.3. Tendințe globale în domeniul energiei.....	8
1.3.1. <i>Factor de conversie energie primară.....</i>	<i>10</i>
1.3.2. <i>Emisii CO₂.....</i>	<i>14</i>
1.3.3. <i>Preț unitar energie electrică</i>	<i>16</i>
1.3.4. <i>Preț unitar gaze naturale</i>	<i>17</i>
1.4. Eficiența energetică a clădirilor	19
1.4.1. <i>Performanța energetică a clădirilor de învățământ.....</i>	<i>19</i>
1.4.2. <i>Performanța energetică a anvelopei termice.....</i>	<i>19</i>
1.4.3. <i>Performanța energetică a instalațiilor clădirii</i>	<i>20</i>
1.4.4. <i>Confortul interior și comportamentul utilizatorilor.....</i>	<i>20</i>
1.4.5. <i>Modele numerice și date monitorizate.....</i>	<i>21</i>
1.4.6. <i>Evaluarea ciclului de viață.....</i>	<i>21</i>
1.5. Motivația și obiectivele cercetării	22
1.6. Prezentarea generală a tezei de doctorat	23
2. PERFORMANȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR	25
2.1. Tipuri de metodologii de calcul.....	25
2.2. Metodologia de calcul națională	26
2.2.1. <i>Principii de calcul</i>	<i>27</i>
2.2.2. <i>Clasificare performanțe energetice clădiri.....</i>	<i>28</i>
2.2.3. <i>Calcul numeric automat.....</i>	<i>29</i>
2.2.4. <i>Propunere de modificare a metodologiei de calcul</i>	<i>29</i>
2.3. Standardul de Casă Pasivă	32
2.4. Sisteme de monitorizare	35
2.5. Evaluarea ciclului de viață.....	39
2.6. Metodologie de calcul și date utilizate.....	40
3. CLĂDIRE DE ÎNVĂȚĂMÂNT EFICIENTĂ ENERGETIC – STUDIU DE CAZ .	42
3.1. Prezentare generală	42
3.2. Conceptul de proiectare	45
3.2.1. <i>Configurare volumetrică.....</i>	<i>46</i>
3.2.2. <i>Elemente de anvelopă</i>	<i>47</i>
3.2.3. <i>Limitarea punților termice</i>	<i>56</i>
3.2.4. <i>Asigurarea etanșeității.....</i>	<i>64</i>
3.2.5. <i>Orientarea clădirii</i>	<i>65</i>
3.2.6. <i>Sursa de încălzire / răcire și apă caldă menajeră.....</i>	<i>67</i>
3.2.7. <i>Sistemul de distribuție a instalațiilor termice și sanitare.....</i>	<i>69</i>
3.2.8. <i>Ventilare mecanică cu recuperare de căldură.....</i>	<i>71</i>
3.2.9. <i>Evaluarea costurilor de investiție ale clădirii</i>	<i>73</i>
4. EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE A CLĂDIRII	75
4.1 Consum de energie încălzire	75

4.2	Consum de apă caldă.....	100
4.3	Consum de energie răcire.....	106
4.4	Consum de energie ventilare mecanică	116
4.5	Consum de energie iluminat.....	122
4.6	Consum de energie total	124
4.7	Energie primară și emisii CO ₂	126
5.	SISTEMUL DE MONITORIZARE	130
5.1.	Conceptul de monitorizare	130
5.2.	Monitorizare parametrii la elementele de anvelopă.....	132
5.2.1.	Elemente de anvelopă principale.....	132
5.2.2.	Punți termice.....	134
5.2.3.	Teren natural	143
5.3.	Monitorizare parametrii de funcționare a instalațiilor	144
5.3.1.	Centrala termică.....	145
5.3.2.	Sursă de agent termic	146
5.3.3.	Instalații termice interioare	147
5.3.4.	Instalații de ventilare	148
5.4.	Monitorizare parametrii climatici interiori	149
5.5.	Contorizarea consumurilor energetice.....	150
5.6.	Termografiere	155
5.7.	Blower-door test	157
5.8.	Controlul calității.....	160
5.9.	Măsurători.....	161
6.	EVALUAREA CICLULUI DE VIAȚĂ.....	164
6.1.	Date de intrare	164
6.2.	Amprenta de carbon a etapei de execuție	165
6.3.	Evoluția consumurilor de energie finală și primară	166
6.4.	Evoluția emisiilor de CO ₂	169
6.5.	Costul global	170
7.	CONCLUZII.....	173
7.1.	Concluziile cercetării	173
7.2.	Contribuții personale.....	178
7.3.	Continuarea activității de cercetare	182
	BIBLIOGRAFIE	183
	ANEXA 1 – PLANURI DETALIAȚE	192
	ANEXA 2 – CARACTERISTICI TERMICE ALE PĂRȚILOR COMPONENTE A ANVELOPEI	208
	ANEXA 3 – TÂMPĂRIE EXTERIOARĂ	209
	ANEXA 4 – ELEMENTE DE ANVELOPĂ ÎN FUNCȚIE DE ORIENTARE FAȚĂ DE PUNCTELE CARDINALE.....	216
	ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL.....	218
	ANEXA 6 – SISTEMUL DE MONITORIZARE.....	238
	ANEXA 7 – TABELE DE CALCUL LCA	250

NOTAȚII, ABREVIERI, ACRONIME

Simboluri

A_c	Aria construită
A_d	Aria desfășurată
$A_{u,total}$	Aria utilă totală
$A_{u,buc+sm}$	Arie utilă bucătărie și sală de mese
$A_{u,invățământ}$	Arie utilă învățământ
$A_{u,cazare}$	Arie utilă cazare
$A_{u,încălzit}$	Aria utilă încălzită totală
$A_{u,neîncălzit}$	Aria utilă neîncălzită
A/V	raportul dintre aria totală a anvelopei și volumul clădirii
$q_{an,max}$	consumul annual specific maxim de energie primară pentru încălzire
p_o	coeficient de penalizare
Ψ_m	transmitanța termică liniară maximă admisă
n_{50}	numărul de schimburi de aer pe oră la o diferență de presiune de 50 Pa
U	coeficientul de transfer termic unidirecțional
R	rezistența termică specifică unidirecțională
g	transmitanța totală la radiația solară a suprafeței n
$q_{PE,an}$	consum de energie primară anuală
$q_{PER,an}$	consum de energie primară regenerabilă anuală
$q_{G,an}$	cantitatea de energie regenerabilă produsă anuală a clădirii analizate
f_{PER}	factor de conversie în energie primară regenerabilă
Ψ	coeficientul liniar de transfer termic
λ	conductivitatea termică
$COP_{i,2C}$	coeficient de performanță în perioada de iarnă pentru două compresioare interne
$COP_{i,1C}$	coeficient de performanță în perioada de iarnă pentru un compresor
$COP_{r,2C}$	coeficient de performanță în perioada de vară pentru două compresioare
$COP_{r,1C}$	coeficient de performanță în perioada de vară pentru un compresor
$COP_{ACM,1C}$	coeficient de performanță în cazul preparării agentului termic pentru apă caldă menajeră
T_{tur}	temperatura agentului primar (apă foraj) - tur
T_{retur}	temperatura agentului primar (apă foraj) - retur
Q_{inc}	consumul total de energie termică a instalației de încălzire
$Q_{f,h}$	consumul total de energie electrică a instalației de încălzire
$Q_{inc,sursă}$	consumul electric al sursei de încălzire
$W_{inc,p}$	consumul electric ale pompelor de circulație pentru încălzire
$W_{inc,vcv}$	consumul electric ale motoarelor ventiloconvectoarelor pentru încălzire
Q_h	neesarul de energie termică încălzire
Q_{rhh}	pierderile recuperate a sistemului de distribuție a încălzirii
Q_{rwh}	pierderile recuperate a sistemului de distribuție a apei calde menajere
Q_{th}	pierderile totale ale sistemului de încălzire
λ_{ech}	conductivitatea termică echivalentă
$\lambda_{ech.zid}$	conductivitatea termică echivalentă a zidăriei
$\lambda_{ech.iz}$	conductivitatea termică echivalentă a termosistemului

VIII

R_{si}	rezistența termică superficială interioară
R_{se}	rezistența termică superficială exterioară
R_m	rezistența termică specifică medie
R_s	rezistența termică straturi componente
R_m	rezistența termică specifică medie
U_m	coeficientul de transfer termic mediu
A	suprafața elementului
R'	rezistența termică specifică corectată
r	coeficientul de reducere a rezistenței termice
l	lungimea punților termice liniare de același fel
χ	coeficientul specific punctual de transfer termic
U_f	coeficientul de transfer termic a tocurilor și cercevelor
U_g	coeficientul de transfer termic a geamurilor
U_p	coeficientul de transfer termic a panourilor opace
Ψ_g	coeficientul specific liniar distanțier contur geamuri
$\Psi_{f,inf}$	coeficientul de transfer termic liniar pentru montajul la partea inferioară a tâmplărilor
$\Psi_{f,sup+lat}$	coeficientul de transfer termic liniar pentru montajul în părțile laterale și superioară a tâmplărilor
U_F	coeficientul de transfer termic a ferestrelor
R_F	rezistența termică a ferestrelor
A_g	suprafața geamurilor
A_p	suprafața panourilor opace
A_f	suprafața tocurilor și cercevelor
Ψ_p	coeficientul specific liniar contur panou opac
l_g	lungimea punților termice distanțier contur geamuri
l_p	lungimea punților termice distanțier contur panou opac
R'_{min}	rezistența termică specifică medie corectată minimă
R'_{min*}	rezistența termică specifică medie corectată minimă conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul
$G1$	coeficientul global de izolare termică a clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit
$G1_{ref}$	coeficientul global de referință
$G1_{ref*}$	coeficientul global de referință conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul
G	coeficientul global de izolare termică specific clădirilor de locuit
GN	coeficientul global normat de izolare termică
H	coeficientul de pierdere de căldură total
H_V	coeficientul de pierdere de căldură prin ventilare
H_T	coeficientul de pierdere de căldură prin transmisie
n_a	numărul de schimburi de aer
V	volumul încălzit
L_E	coeficientul de cuplaj termic direct între spațiu încălzit și exterior
H_u	coeficientul de pierdere de căldură spre spațiile neîncălzite
ρ_a	densitatea aerului
C_a	căldura specifică a aerului
L_s	coeficientul de pierdere de căldură prin sol
L	coeficientul de cuplaj termic
R'_m	rezistența termică medie corectată
L_{iu}	coeficientul de cuplaj termic între spațiu încălzit și neîncălzit
H_{ue}	coeficientul de pierdere de căldură dinspre spațiul neîncălzit spre

	exterior
$H_{i,u}$	coeficientul de pierderi de căldură dinspre spațiul încălzit spre neîncălzit
$H_{v,iu}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre spațiul încălzit spre neîncălzit
L_{ue}	coeficientul de cuplaj termic dinspre spațiul neîncălzit spre exterior
$H_{v,ue}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre spațiul neîncălzit spre exterior
V_{iu}	rata fluxului de aer dinspre spațiul încălzit spre neîncălzit
V_{ue}	rata fluxului de aer dinspre spațiu neîncălzit spre exterior
θ_{amb}	temperatura mediului ambient
$H_{v,iu,garaj}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre spațiul încălzit spre garaj
$H_{v,iu,pod}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre spațiul încălzit spre pod
$H_{v,ue,garaj}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre garaj spre exterior
$H_{v,ue,pod}$	pierderile de căldură prin ventilare dinspre pod spre exterior
$H_{u,garaj}$	coeficientul de pierdere de căldură spre garaj
$H_{u,pod}$	coeficientul de pierdere de căldură spre pod
Q_i	degajări de căldură interne totale
Φ_I	fluxul termic al degajării de căldură interne
t	intervalul de timp
$Q_{i,om}$	degajări de căldură interne ale ocupanților
$Q_{i,aparat}$	degajări de căldură interne ale aparatelor electrice
$Q_{i,echip}$	degajări de căldură interne ale echipamentelor
$Q_{i,ilum}$	degajări de căldură interne ale sistemului de iluminat
$Q_{i,om.total}$	degajări de căldură interne totale ale ocupanților
$Q_{i,aparat.total}$	degajări de căldură interne totale ale aparatelor electrice
$Q_{i,echip.total}$	degajări de căldură interne totale ale echipamentelor
Q_s	aporturile solare prin elementele vitrate
I_{sj}	radiația solară totală pe o suprafață de 1 m ² după orientarea j
A_{snj}	aria receptoare echivalentă a suprafeței după orientarea j
A_T	aria totală a elementului vitrat n
F_s	factorul de umbire a suprafeței n
F_F	factorul de reducere pentru ramă elementului n
F_h	factorul parțial de corecție datorită orizontului
F_0	factorul parțial de corecție pentru proeminențe
F_t	factorul parțial de corecție pentru aripișoare
α_h	unghiul la orizont al suprafețelor vitrate față de clădirile învecinate
α_0	unghiul de prelungire a proeminenței al suprafețelor vitrate față de elementele constructive aflate la partea superioară a acestora
β_t	unghiul de prelungire a aripișoarelor al suprafețelor vitrate față de elementele constructive aflate la părțile laterale a acestora
A_g	aria suprafeței vitrate
A_F	aria totală a tâmplăriei
g_{\perp}	radiația solară perpendiculară pe vitraj
K	factorul de reducere datorită perdelelor instalate
$Q_{inc,cont(k)}$	necesarul de căldură lunar în regim de încălzire continuă
$N_{GZC(k)}$	numărul de grade-zile pentru luna k
$\beta(k)$	coeficientul de corecție a necesarului de căldură încălzirii cu intermitență
C	coeficientul de corecție
A_E	suprafața totală a anvelopei
B_{1s}	coeficientul de corecție datorat spațiului ocupant
$Q_{reinc(k)}$	puterea necesară pentru reîncălzire

θ_{iRS}	temperatura interioară redusă
$\theta_{eRS(k)}$	temperatura exterioară medie corectată pentru luna k
N_{12}^{20}	Numărul de grade-zile de calcul pentru temperatură interioară de 20 °C și temperatura interioară de gardă 12°C
C_R	coeficientul de corecție datorat temperaturii interioare pe durata nopții
C_b	coeficientul de corecție datorat prezenței balcoanelor deschise
A_E	aria totală a elementului opace
$R'_{m,E}$	rezistență termică corectată medie a elementelor opace
$R'_{m,T}$	rezistența termică corectată medie a elementelor vitrate
F_R	factorul de formă mediu al spațiului ocupant
N_{Pi}	numărul de pereți interiori mediu a clădirii
θ_i	temperatura interioară convențională de calcul
$\theta_{ES(k)}$	temperatura echivalentă a elementelor de anvelopă în luna k
$\theta_{eS(k)}$	temperatura exterioară datorită aporturilor solare în luna k
T_c	constanta de timp a construcției
M_c	capacitatea termică a elementelor de construcție interioare și exterioare
$\theta_{i,min(k)}$	temperatura minimă în afara programului normal de ocupare
θ_{iG}	temperatura de gardă stabilită
$\alpha_0(k)$	raportul dintre puterea instalată și puterea necesară de reîncălzire
E	coeficientul de corecție datorat constantei de timp a clădirii
$T_{iR(k)}$	raportul dintre θ_{iRS} și θ_i în funcție de θ_{eRS} în luna k
Q_0	puterea instalată pentru încălzire
$Q_{inc,cont}$	necesarul anual normal de căldură
t_f	durata de ocupare a clădirii - perioada t_p
$t_a(k)$	durata de reîncălzire a clădirii în luna k
$t_G(k)$	durata de funcționare a instalației de încălzire pentru asigurarea temperaturii interioare de gardă în luna k
$\xi(k)$	raportul dintre θ_{iG} și θ_i în funcție de θ_{eRS} în luna k
t_p	durata perioadei considerate pentru coeficientul de corecție
$Q_{inc,disc(k)}$	necesarul de căldură lunar în regim de încălzire discontinuă
$H_{T,E3}$	coeficientul de pierdere de căldură prin transmisie al etajului 3
$H_{T,P+3E}$	coeficientul de pierdere de căldură prin transmisie al întregii clădirii
$Q_{em,inc}$	pierderile de căldură a sistemului de transmisie a încălzirii
$Q_{d,inc}$	pierderile de căldură a sistemului de distribuție a încălzirii
$Q_{s,inc}$	pierderile de căldură a rezervorului tampon de acumulare încălzire
$Q_{g,inc}$	pierderile de căldură a sursei de încălzire
$Q_{em,str,inc}$	pierderile de căldură distribuție neuniformă a temperaturii încălzire
$Q_{em,emb,inc}$	pierderile de căldură poziție corpuri încălzire
$Q_{em,c,inc}$	pierderile de căldură dispozitive reglare temperatură interioară încălzire
η_{em}	eficiența sistemului de transmisie
η_c	eficiența sistemului de reglare
$U'_{R,inc,i}$	coeficientul specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de încălzire
$L_{inc,i}$	lungimea conductei de încălzire
$\theta_{m,i}$	temperatura medie a agentului termic de încălzire/răcire în conductă
$\theta_{a,i}$	temperatura mediului ambient în zona conductei de încălzire/răcire
t_H	numărul de ore de încălzire în pasul de timp (an)
U'_i	coeficient specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de încălzire supraterane
U'_{em}	coeficient specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de încălzire subterane

$\lambda_{inc,i}$	conductivitate termică termoizolație conductă încălzire
$d_{a,inc,i}$	diametru exterior al conductei de încălzire cu termoizolație
$d_{inc,i}$	diametru exterior al conductei de încălzire
$\alpha_{a,inc,i}$	coeficient de transfer de căldură conductă de încălzire
λ_E	conductivitate termică sol
Z_d	adâncimea de pozare
$R_{si,i}$	rezistența la transfer termic superficială pe suprafața interioară
$S_{R,i}$	grosimea peretelui conductei
$\lambda_{R,i}$	conductivitatea termică a peretelui conductei
$R_{se,i}$	rezistența la transfer termic superficială pe suprafața exterioară
$\theta_{a,tn}$	temperatura terenului natural
$\theta_{a,ct}$	temperatura centralei termice
$\theta_{m,d}$	temperatura agentului termic a conductelor de încălzire în centrala termică și teren natural
$Q_{s,i,inc}$	pierderile de căldură la nivelul rezervorului tampon de acumulare
S_{Lat}	suprafața laterală a rezervorului
δ_m	grosimea peretelui metalic a rezervorului
λ_m	conductivitatea termică a peretelui metalic a rezervorului
δ_{iz}	grosimea medie termoizolație rezervor
λ_{iz}	conductivitatea termică termoizolație rezervor
n_h	numărul de ore de livrare agent termic
$\theta_{stoc,i}$	temperatura medie agent termic de încălzire în rezervor
$\theta_{amb,r}$	temperatura mediului ambient a rezervorului
$W_{inc,p}$	consumul auxiliar de energie electrică a pompelor de circulație
$f_{inc,pompa,i}$	constanta pompei de circulație a instalației de încălzire
$P_{inc,pompa,i}$	puterea pompei de circulație a instalației de încălzire
$W_{inc,vcv}$	consumul auxiliar al motoarelor ventilconvectoarelor
$f_{inc,vcv,i}$	constanta motoarelor ventilconvectoarelor pentru încălzire
$P_{inc,vcv,i}$	puterea motoarelor ventilconvectoarelor pentru încălzire
f_p	factor de conversie a energiei electrice în energie primară
$q_{an,max,inc}$	consumul de energie primară anuală admisă a sistemului de încălzire
$q_{an,inc,A+}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a sistemului de încălzire pentru clasa energetică A+ conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul
Q_{acm}	consumul total de energie termică a sistemului de apă caldă menajeră (ACM)
$Q_{f,w}$	consumului de energie electrică totală a instalației de ACM
$Q_{acm,sursă}$	consumul de energie electrică a sursei pentru prepararea ACM
$W_{ac,d}$	consumul de energie a pompelor de circulație pentru ACM
Q_{ac}	necesarul de căldură pentru prepararea ACM
$Q_{ac,p}$	pierderile totale de căldură ale instalației de ACM
ρ	densitatea ACM
c	căldura specifică a ACM
V_{ac}	volumul necesar de ACM
θ_{ac}	temperatura de preparare a ACM
θ_{ar}	temperatura apei reci
$Q_{ac,c}$	pierderi de căldură datorită furnizării la consumator a ACM la temperatură diferită de temperatura nominală de calcul
$Q_{ac,d}$	pierderile de căldură a sistemului de distribuție a ACM
$Q_{ac,s}$	pierderile de căldură a sistemului de acumulare a ACM
$Q_{ac,g}$	pierderile de căldură a echipamentului de preparare a ACM

XII

$U_{R,i}$	coeficientul specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de ACM
$L_{ac,i}$	lungimea conductei de ACM
$\theta_{m,ac,d,i}$	temperatura medie a ACM în conductă
$\theta_{amb,i}$	temperatura mediului ambient în zona conductei de ACM
t_{ac}	durata de furnizare agentului termic
z	timpul efectiv de furnizare agent termic
$\lambda_{acm,i}$	conductivitate termică termoizolație conductă ACM
$d_{a,acm,i}$	diametru exterior conductă ACM cu termoizolație
$d_{acm,i}$	diametru exterior conductă ACM
$\alpha_{a,acm,i}$	coeficient de transfer de căldură conductă ACM
$\theta_{amb,tn}$	temperatura terenului natural
$\theta_{amb,ct}$	temperatura centralei termice
$Q_{ac,d,rec}$	pierderile de căldură recuperate a instalației de ACM
S_{Lat}	suprafața laterală a boilerului
n_h	număr de ore de livrare ACM
θ_{acb}	temperatură medie a ACM menajere în boiler
$\theta_{amb,b}$	temperatura mediului ambient a boilerului
δ_m	grosimea peretelui metalic a boilerului
λ_m	conductivitatea termică perete metalic boiler
δ_{iz}	grosimea medie termoizolație boiler
λ_{iz}	conductivitatea termică termoizolație boiler
$W_{ac,d}$	consumul auxiliar de energie electrică a pompelor de circulație
$f_{pompa,d}$	constanta pompei de circulației interioare
$P_{pompa,d}$	puterea pompei de circulație interioare
$f_{pompa,g}$	constanta pompei de circulație între sursă și boiler
$P_{pompa,q}$	puterea pompei de circulație între sursă și boiler
$q_{an,acm,G}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a sistemului de ACM pentru clasa energetică G conform propunerii de modificare a Mc001
$q_{an,răc,C}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a sistemului de răcire pentru clasa energetică C conform propunerii de modificare a Mc001
$Q_{răc}$	consumul total de energie termică a instalației de răcire
$Q_{f,c}$	consumul de energie electrică a instalației de răcire
$Q_{răc,sursă}$	consumul de energie electrică a sursei pentru răcire
$W_{răc,p}$	consumul de energie a pompelor de circulație pentru răcire
$W_{răc,vcv}$	consumul de energie ale motoarelor ventilatoarelor pentru răcire
COP_r	coeficient de performanță a echipamentului în perioada de vară
Q_c	necesarul energie termică răcire
Q_{rch}	pierderile recuperate a sistemului de distribuție a răcirii
Q_{tc}	pierderile totale ale sistemului de răcire
$\theta_{em,R}$	temperatura exterioară medie
Q_z	aporturile totale de căldură
θ_{i0}	temperatura interioară de confort în perioada de vară
$\eta_{Tr,R}$	factorul de utilizare a pierderilor de căldură în situația răcirii
α_{0R}	parametrul numeric de referință
T_R	constanta de timp pentru răcire
T_{0R}	constanta de timp de referință pentru răcire
C_M	capacitatea termică a clădirii
$Q_{F(t)}$	necesarul de frig sensibil
$\theta_{eRc(k)}$	temperatura exterioară de referință a elementelor exterioare
$n_{a(t)}$	rata de ventilare a spațiului ocupat

$\theta_{e(k)}$	temperatura exterioară medie pentru luna k
$Q_{F(k)}$	cantitatea lunară de căldură sensibilă
Q_F	necesarului sensibil de frig
$D_{R,P+2E}$	durata lunară de răcire pentru primele trei niveluri
$D_{R,E3}$	durata lunară de răcire pentru etajul 3
Q_L	necesarul latent de frig
$N_{pers(t)}$	numărul de persoane din spațiul ocupat în perioada t
a_L	debitul de căldură latentă
δ_v	simbolul Kronecher-Weierstrass
G_v	debitul vaporilor de apă
i_v	entalpia vaporilor de apă
$Q_{L(k)}$	cantitatea lunară de căldură latentă
$Q_{L(t),P+2E}$	necesarul latent de frig pentru primele trei niveluri
$Q_{L(t),E3}$	necesarul latent de frig al etajului 3
Q_c	necesarul total de frig
$Q_{em,r\acute{a}c}$	pierderi a sistemului de transmisie a răcirii
$Q_{d,r\acute{a}c}$	pierderile sistemului de distribuție a răcirii
$Q_{s,r\acute{a}c}$	pierderile rezervorului tampon de acumulare răcire
$Q_{g,r\acute{a}c}$	pierderile sursei de răcire
$Q_{em,str,r\acute{a}c}$	pierderile distribuției neuniforme a temperaturii de răcire
$Q_{em,emb,r\acute{a}c}$	pierderile poziției corpurilor de răcire
$Q_{em,c,r\acute{a}c}$	pierderile dispozitivelor de reglare temperatură interioară de răcire
$U'_{R,r\acute{a}c,i}$	coeficientul specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de răcire
$L_{r\acute{a}c,i}$	lungimea conductei de răcire
$\theta_{m,r}$	temperatura medie agent termic de răcire în conductă
$\theta_{a,r}$	temperatura mediului ambient în zona conductei de răcire
t_R	numărul de ore de răcire în pasul de timp (an)
n_c	numărul de ore de livrare agent termic de răcire
$\theta_{stoc,r\acute{a}c}$	temperatura medie a agentului termic de răcire în rezervor
$W_{r\acute{a}c,p}$	consumul auxiliar de energie electrică a pompelor de circulație
$f_{r\acute{a}c,pompa,i}$	constanța pompei de circulație a instalației de răcire
$P_{r\acute{a}c,pompa,i}$	puterea pompei de circulație a instalației de răcire
$W_{r\acute{a}c,vcv}$	consumul auxiliar al motoarelor ventiloconvectoarelor
$f_{r\acute{a}c,vcv,i}$	constanța motoarelor ventiloconvectoarelor pentru răcire
$P_{r\acute{a}c,vcv,i}$	puterea motoarelor ventiloconvectoarelor pentru răcire
$q_{an,r\acute{a}c,B}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a sistemului de răcire pentru clasa energetică B conform propunerii de modificare a Mc001
$Q_{f,v}$	consumul de energie electrică pentru ventilare mecanică
$Q_{v,inc,surs\acute{a}}$	consumul electric pentru încălzire la nivel de sursă
$Q_{v,r\acute{a}c,surs\acute{a}}$	consumul electric pentru răcire la nivel de sursă
$W_{el,v}$	consumul de energie electrică a ventilatoarelor de circulație
$Q_{v,t}$	consumul total de energie termică a instalațiilor de ventilare mecanică
$Q_{v,pre\acute{i}nc}$	necesarul de energie termică încălzire aer
$Q_{v,d}$	pierderile de căldură distribuție conducte pod
$Q_{v,prer\acute{a}c}$	necesarul energie termică răcire aer
q_v	debitele totale de calcul
N_v	numărul de persoane în spațiile ventilate
q_p	debitul de aer proaspăt pentru o persoană
q_B	debitul de aer proaspăt pentru 1 m ² de suprafață
V	debitul de aer de calcul pierderi termice, cu recuperare căldură

XIV

V_f	debitul de aer de calcul nominal
$\eta_{v,i}$	randamentul de recuperare căldură CTA sezon încălzire
θ_{rec}	temperatura recuperată sezon încălzire/răcire
$\theta_{extr,int}$	temperatura aerului extras din încăperi la intrarea în CTA
$\eta_{v,r}$	randamentul de recuperare căldură CTA sezon răcire
P_{preinc}	puterile termice necesare pentru încălzire
P_{prerac}	puterile termice necesare pentru răcire
q_{preinc}	debitul masic de aer trecut prin baterie
θ_1	temperatura aerului la intrarea în baterie
θ_2	temperatura aerului la ieșirea din baterie
x_1	umiditatea aerului la intrarea în baterie
x_2	umiditatea aerului la ieșirea din baterie
$\lambda_{spumă}$	conductivitatea termică – spumă poliuretanică
$\lambda_{vată}$	conductivitatea termică – vată minerală bazaltică
$\lambda_{vată, sticlă}$	conductivitatea termică – vată minerală de sticlă
$Q_{v,d,i}$	coeficienții specifici de pierderi de căldură a conductelor de ventilare
$\theta_{v,d,i}$	temperatura aerului proaspăt introdus
$\theta_{amb,i}$	temperatura medie a podului
$U_{R,v,i}$	coeficientul specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de ventilare
$L_{v,i}$	lungimea conductei de ventilare
$Q_{v,inc}$	energie termică pentru încălzire prin ventilare
$Q_{v,rac}$	energie termică pentru răcire prin ventilare
$W_{el,v}$	consumul de energie electrică a ventilatoarelor de circulație
$f_{v,1}$	timpul de funcționare a ventilatoarelor în timpul programului
$P_{v,1}$	puterea consumată a ventilatoarelor în timpul programului
$f_{v,2}$	timpul de funcționare a ventilatoarelor în afara programului
$P_{v,2}$	puterea consumată a ventilatoarelor în afara programului
$q_{an,v,C}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a instalației de ventilare pentru clasa energetică C conform propunerii de modificare a Mc001
$Q_{f,i}$	consumul total de energie absorbită din rețeaua electrică iluminat
$P_{p,i}$	puterea parazitara a corpurilor de iluminat
$t_{p,i}$	timpul operațional al puterii parazitare
$P_{n,i}$	puterea instalată a sistemului de iluminat
$t_{D,i}$	timpul de utilizare al luminii de zi
$F_{D,i}$	factorul de dependență de lumina de zi
$F_{O,i}$	factorul de dependență de durata de utilizare
$t_{N,i}$	timpul în care nu este utilizată lumina naturală
$q_{an,l,A+}^*$	consumul de energie primară anuală maximă a instalației de iluminat pentru clasa energetică A conform propunerii de modificare a Mc001
Q_f	consumul total de energie
E_p	consumul de energie primară
Q_{ex}	energia produsă la nivelul clădirii și exportată
f_{pex}	factorul de conversie a energiei regenerabile în energie primară
$q_{an,total,A}^*$	consumul de energie primară totală anuală maximă pentru clasa energetică A conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul
Q_{PER}	necesarul de energie primară regenerabilă anuală
$q_{an,total,2021}^*$	consumul de energie primară totală anuală maximă pentru clasa energetică A după 2021 conform propunerii de modificare a Mc001
E_{CO2}	emisia de CO ₂
f_{CO2}	factorul de emisie energie neregenerabilă

f_{CO_2ex}	factorul de emisie energie regenerabilă
$e_{an,total,2021}^*$	emisia de CO ₂ anuală maximă admisă după 2021 conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul
$Q_{f,h+w}$	consumul total de energie electrică a instalației de încălzire și ACM
$f_{p,electric}$	factorul de conversie energie electrică
$f_{p,termoficare}$	factorul de conversie termoficare
$f_{p,gaz}$	factorul de conversie gaze naturale
$f_{CO_2,electric}$	factorul de emisie energie electrică
$f_{CO_2,termoficare}$	factorul de emisie termoficare
$f_{CO_2,gaz}$	factorul de emisie gaze naturale
ϵ	emisivitatea materialelor
V_{n50}	volumul interior net pentru verificarea etanșeității a clădirii
D_v	durata de viață a componentelor
η_r	intervalul de timp în care randamentul componentelor este mai redus datorită vechimii acestora
a_r	procentul de majorare a consumurilor specifice
P_{ANI}	frecvența intervențiilor de mentenanță și înlocuire componente
V_{RON}	valoarea lucrărilor de mentenanță și înlocuire componente în RON
d	grosime material termoizolant
r_m	coeficientul de reducere medie a rezistenței termice
n_{anc}	număr ancore pe metru pătrat – pag 32
X	coeficient punctual de transfer termic
$l_{f,inf}$	lungimea punților termice liniare pentru montajul la partea inferioară a tâmplărilor
$l_{f,sup+lat}$	lungimea punților termice liniare pentru montajul în părțile laterale și superioară a tâmplărilor
A_m	suprafața interioară element de construcție
ρ_m	densitate material
d_m	grosime material
c_m	capacitate termică material
T_j	factor corecție diferență temperatură între medii separate de elementul anvelopă
A_1	arie componente verticale opace
A_2	arie planșeu ultimul nivel
A_3	arie planșeu inferior
P	perimetru exterior în contact cu solul
A_4	arie componente transparente sau translucide
a	coeficient de control elemente verticale opace
b	coeficient de control planșeu peste ultimul nivel
c	coeficient de control planșee inferioare
d	coeficient de control perimetru – planșeu pe sol
e	coeficient de control elemente transparente
m_j	masă unitară elemente construcție
A_j	arie utilă elemente construcție
$Q_{i,om,r}$	aporturi interne ale ocupanților în perioada de răcire
$Q_{i,apar,r}$	aporturi interne ale aparatelor electrice în perioada de răcire
$Q_{i,echip,r}$	aporturi interne ale echipamentelor în perioada de răcire
$Q_{i,ilum,r}$	aporturi interne ale sistemului de iluminat în perioada de răcire
$Q_{ac,rec,r}$	pierderile de căldură recuperate a instalației de ACM în perioada de răcire
$Q_{s,r}$	aporturi solare în perioada de răcire

$Q_{i,r}$	aporturi interne totale în perioada de răcire
θ_{bat}	temperatura aerului la intrare în baterie înainte de preîncălzire/prerăcire
$h_{preînc}$	perioada de funcționare a bateriilor pentru preîncălzire
h_{rest}	perioada de nefuncționare a bateriilor de încălzire/răcire
$h_{prerăc}$	perioada de funcționare a bateriilor pentru prerăcire

Abrevieri

GHG	Emisii de gaze cu efect de seară
SUA	Statele Unite ale Americii
CO ₂	Dioxid de carbon
UE	Uniunea Europeană
SUA	Statele Unite ale Americii
CAD	Clădiri cu altă destinație decât cea de locuit
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change – Convenția Cadru a Națiunilor Unite privind Schimbările Climatice
nZEB	Clădire al cărei consum de energie este aproape egal cu zero
SRTL	Strategia națională de renovare pe termen lung
BAU	Business as usual – Continuarea activității obișnuite
IAEA	Agentia Internațională de Energie Atomică
REF	Renewable Energy Facility – Energie electrică din surse regenerabile
Mc	Metodologie de calcul
TVA	Taxa de valoare adăugată
BCA	Beton celular autoclavizat
LED	Light-emitting diode – diodă emițătoare de lumină
HPS	High pressure sodium – sodiu de înaltă presiune
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MDRAP	Ministerul Lucrărilor Publice, Dezvoltării și Administrației
SR	Standard Românesc
EN	Standard European
ISO	Organizația Internațională de Standardizare
BIM	Building Information Modeling - Modelarea informațiilor despre clădiri
3D	Tridimensional
EPBD	Energy performance of buildings directive – Directivă privind Performanța Energetică a Clădirilor
UTCB	Universitatea Tehnică de Construcții București
PHI	Passive House Institute – Institutul de Case Pasive
PER	Energia primară regenerabilă
PHPP	Passive House Planning Package
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
PVC	Polyvinyl chloride – Policlorură de vinil
PS	Planșeu pe sol
PI	Planșeu inferior
PN	Planșeu spre spațiu neîncălzit
PP	Planșeu spre pod
CH	Chepeng acces pod
PE	Pereți exteriori
PCS	Perete cărămidă de sticlă
F1-14	Tâmplărie PVC
U1-2'	Uși exterioare - PVC
U5	Tâmplărie lemn
U3 - U4	Tâmplărie metalică
LE	Low-emissivity glass – sticlă cu emisivitate scăzută
Ar	Argon
FI	Sticlă float

XVIII

PE_N	Perete exterior – orientare Nord
F_N	Tâmplărie PVC – orientare Nord
U_N	Tâmplărie metalică – orientare Nord
PE_E	Perete exterior – orientare Est
F_E	Tâmplărie PVC – orientare Est
U_E	Tâmplărie metalică – orientare Est
PE_S	Perete exterior - orientare Sud
F_S	Tâmplărie PVC - orientare Sud
PE_V	Perete exterior - orientare Vest
F_V	Tâmplărie PVC - orientare Vest
U_V	Tâmplărie de lemn - orientare Vest
COP	Coeficient de performanță
CTA	Centrală de tratare a aerului
VCV	Ventiloconvectoare
PSN	Perete interior
PN	Planșeu spre spațiu neîncălzit
TPVC	Tâmplărie exterioară PVC
TL	Tâmplărie exterioară lemn
TM	Tâmplărie exterioară metalică
PSG	Planșeu pe sol garaj
PEG	Perete exterior garaj
U6	Ușă garaj
UM	Uși metalice
Pcal	Perete calcan
INV	Învelitoare
PeXa	Polietilenă reticulară de înaltă densitate
RAD	Radiatoare
PC	Pompe de căldură
DF	Distribuitoare foraje
REZ	Rezervor
FE	Foraje de extracție
ACM	Apă caldă menajeră
Wi-Fi	Wireless Fidelity
CH ₂ O	Vapori de formaldehidă
N ₂ O	Oxid dinitrogen
NO ₂	Dioxid de azot
VOC	Compuși organici volatili
V1-V5	Variante de clădiri de referință
UK	United Kingdom
PE_N1	Perete exterior – orientare Nord 1
PE_N2	Perete exterior – orientare Nord 2
PE_N4	Perete exterior – orientare Nord 4
PE_E1	Perete exterior – orientare Est 1
PE_E2	Perete exterior – orientare Est 2
PE_S2	Perete exterior – orientare Sud 2
PE_S3	Perete exterior – orientare Sud 3
PE_V1	Perete exterior – orientare Vest 1
PE_V2	Perete exterior – orientare Vest 2
PE_V3	Perete exterior – orientare Vest 3

LISTA DE TABELE

Tabelul 1.1 – Inventarul fondului construit în România [3]	3
Tabelul 1.2 – Proporția funcțiunilor fondului construit [3]	3
Tabelul 1.3 – Consumul final de energie pe categorii de clădiri [3]	3
Tabelul 1.4 – Proporția perioadei de construcție a fondului construit [3]	3
Tabelul 1.5 - Număr necesar de lucrători în domeniul construcțiilor și de specialiști în domeniul ingineriei pentru implementarea strategiei de renovare în anul 2030, în diferite scenarii [3]	8
Tabelul 1.6 - Evoluția factorilor de conversie a energiei electrice în energie primară utilizând mai multe metode de calcul [18].....	11
Tabelul 1.7 - Factori de conversie a energiei finale în energie primară – România [21]	13
Tabelul 1.8 - Factori de emisie CO ₂ a energiei primare – România [21]	14
Tabelul 1.9 - Estimare evoluție preț unitar gaze naturale – Europa [25].....	18
Tabelul 2.1 - Reglementările naționale în domeniul clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero, a statelor membre UE [44]	25
Tabelul 2.2 – Valori coeficienți de control clădiri de categoria 2 [55].....	27
Tabelul 2.3 – Consumul anual specific maxim de energie primară pentru încălzirea clădirilor nerezidențiale [56].....	28
Tabelul 2.4 – Valori limită maxim admise ale energiei primare totale și ale emisiilor de CO ₂ pentru nZEB [58]	29
Tabelul 2.5 – Propunere valori coeficienți de control clădiri de categoria 2 [69].....	30
Tabelul 2.6 – Propunere clase energetice și de mediu pentru clădiri destinate învățământului [69]	30
Tabelul 2.7 - Propunere valori medii U și R pentru elementele de anvelopă ale nZEB [69]	31
Tabelul 2.8 - Propunere valori limită maxim admise ale energiei primare totale și ale emisiilor de CO ₂ pentru nZEB [69].....	31
Tabelul 2.9 – Criterii de încadrare a tipurilor de Case Pasive [71].....	34
Tabelul 2.10 - Componentele sistemului de monitorizare a unei clădiri publice a University of the Basque Country [74]	36
Tabelul 3.1 - Suprafețe generale.....	44
Tabelul 3.2 - Capacități maxime de ocupare (nr. persoane).....	45
Tabelul 3.3 - Elemente de anvelopă – poziție.....	48
Tabelul 3.4 - Elemente de anvelopă – orientare față de punctele cardinale.....	65
Tabelul 4.1 – Temperaturi medii lunare și anuale de calcul [126]	77
Tabelul 4.2 – Rezistențele la transfer termic și transmitanțele elementelor de anvelopă.....	78
Tabelul 4.3 – Coeficienți globali de izolare termică a clădirii analizate	78
Tabelul 4.4 – Coeficienții de cuplaj termic	79
Tabelul 4.5 – Temperaturi medii anuale spații neîncălzite.....	80
Tabelul 4.6 – Coeficienții de pierdere de căldură prin ventilare a spațiilor neîncălzite	81
Tabelul 4.7 – Coeficienții de pierdere de căldură ai spațiilor neîncălzite	81
Tabelul 4.8 – Coeficientul de pierdere de căldură al clădirii.....	81
Tabelul 4.9 – Flux termic ocupanți	82
Tabelul 4.10 – Scenariu activitate ocupanți	83
Tabelul 4.11 – Valori aporturi interne ocupanți	83
Tabelul 4.12 – Valori aporturi interne aparate electrice	84
Tabelul 4.13 – Valori aporturi interne echipamente tehnologice bucătărie	84

Tabelul 4.14 – Valori aporturi interne totale – ocupare continua.....	84
Tabelul 4.15 – Aporturile solare prin elementele vitrate	87
Tabelul 4.16 – Coeficient de corecție	88
Tabelul 4.17 – Rezistență termică corectată medie.....	88
Tabelul 4.18 – Coeficientul B_{1s}	88
Tabelul 4.19 – Temperatura interioară redusă	89
Tabelul 4.20 – Constanta de timp a construcției.....	90
Tabelul 4.21 – Necesarul de căldură pentru încălzire	91
Tabelul 4.22 - Valori parametrului de calcul pierderi sistem de transmisie a căldurii..	92
Tabelul 4.23 - Valori parametrului de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție	94
Tabelul 4.24 - Valori parametrului de calcul pierderi de căldură prin mantaua rezervorului	95
Tabelul 4.25 - Valori pierderi de căldură sistem de încălzire.....	95
Tabelul 4.26 - Valori parametrului de calcul consum de energie electrică pompe de circulație încălzire	97
Tabelul 4.27 - Valori parametrului de calcul consum de energie electrică ventilconvectoare încălzire	97
Tabelul 4.28 - Valori consum de energie termică pentru încălzire	98
Tabelul 4.29 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație încălzire	98
Tabelul 4.30 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației încălzire	98
Tabelul 4.31 - Volum necesar de ACM	100
Tabelul 4.32 - Valori parametrului de calcul necesar de căldură preparare ACM.....	101
Tabelul 4.33 - Valori parametrului de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție ACM.....	103
Tabelul 4.34 - Valori parametrului de calcul pierderi de căldură prin mantaua boilerului	103
Tabelul 4.35 - Valori parametrului de calcul consum de energie electrică pompe de circulație ACM	104
Tabelul 4.36 - Valori parametrului de calcul pierderi totale de căldură ale instalației ACM	104
Tabelul 4.37 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație ACM.....	104
Tabelul 4.38 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației ACM.....	104
Tabelul 4.39 – Constanta de timp pentru răcire	107
Tabelul 4.40 – Parametru numeric	107
Tabelul 4.41 – Temperatura exterioară medie	107
Tabelul 4.42 – Cantitatea de căldură sensibilă pe durata sezonului cald	108
Tabelul 4.43 – Necesarul latent de frig	109
Tabelul 4.44 – Cantitatea de căldură sensibilă pe durata sezonului cald	109
Tabelul 4.45 – Necesarul total de frig pe durata sezonului cald	109
Tabelul 4.46 - Valori parametrului de calcul pierderi sistem de transmisie a răcirii ..	110
Tabelul 4.47 - Valori parametrului de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție	111
Tabelul 4.48 - Valori parametrului de calcul pierderi prin mantaua rezervorului	112
Tabelul 4.49 - Valori pierderi de căldură sistem de răcire	112
Tabelul 4.50 - Valori parametrului de calcul consum de energie electrică pompe de circulație răcire.....	113
Tabelul 4.51 - Valori parametrului de calcul consum de energie electrică ventilconvectoare răcire.....	113
Tabelul 4.52 - Valori consum de energie termică pentru răcire.....	114
Tabelul 4.53 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație răcire.....	114

Tabelul 4.54 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației răcire.....	114
Tabelul 4.55 - Parametrii de dimensionare instalații de ventilare.....	117
Tabelul 4.56 - Parametrii de calcul instalații de ventilare.....	117
Tabelul 4.57 - Temperaturi interioare de calcul perioadă încălzire	117
Tabelul 4.58 - Temperaturi exterioare medii de calcul perioadă încălzire	117
Tabelul 4.59 - Temperaturi exterioare medii de calcul perioadă răcire.....	118
Tabelul 4.60 - Debite de calcul instalații de ventilare	118
Tabelul 4.61 - Consumuri energie termică baterii de preîncălzire și prerăcire	119
Tabelul 4.62 - Valori parametrii de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție ventilare	119
Tabelul 4.63 - Valori consumuri termice încălzire și răcire prin ventilare.....	120
Tabelul 4.64 - Valori consumuri termice și electrice sursă încălzire prin ventilare	120
Tabelul 4.65 - Valori consumuri termice și electrice sursă răcire prin ventilare	120
Tabelul 4.66 - Consumuri energie electrică ventilatoare CTA-uri	120
Tabelul 4.67 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației de ventilare	121
Tabelul 4.68 - Valori parametrii de calcul iluminat.....	123
Tabelul 4.69 - Consumuri totale și specifice iluminat	123
Tabelul 4.70 - Consumuri de energie totale și specifice clădire.....	125
Tabelul 4.71 - Consumuri de energie primară totale și specifice clădire	126
Tabelul 4.72 - Emisii de CO ₂ totale și specifice clădire	127
Tabelul 4.73 - Tipuri de clădiri comparative (V1-V4).....	128
Tabelul 4.74 - E _p și E _{CO₂} clădiri comparative (V1-V4)	128
Tabelul 5.1 - Categori de parametri ai sistemului de monitorizare.....	131
Tabelul 5.2 - Consumuri lunare energie electrică pe funcțiuni	151
Tabelul 5.3 - Consumuri lunare gaz	153
Tabelul 6.1 - Caracteristici de dotare a celor trei tipuri de clădiri	164
Tabelul 6.2 - Consumurile specifice de energie finală a celor trei tipuri de clădiri.	165
Tabelul 6.3 - Caracteristici de dotare a celor trei tipuri de clădiri	165
Tabelul 6.4 - Scenariu înlocuiri elemente – Clădire analizată.....	166
Tabelul 6.5 - Scenariu înlocuiri elemente – Clădire V3	167
Tabelul 6.6 - Scenariu înlocuiri elemente – Clădire V5	167
Tabelul 6.7 - Evoluția în timp a consumurilor de energie finală	167
Tabelul 6.8 - Costuri inițiale de investiție	170
Tabelul 6.9 - Scenariu costuri mentenanță și înlocuiri elemente	171

LISTA DE FIGURI

Figura 1.1 - Consumul total de energie finală (Mtep) pe sectoare – România [3].....	1
Figura 1.2 - Consumul de energie (Mtep) în clădiri în România [3]	2
Figura 1.3 - Evoluție consum de energie (Mtep) în România [3]	4
Figura 1.4 - Rata de renovare a clădirilor pentru diferite scenarii până în 2050 [3][12].....	6
Figura 1.5 - Compararea beneficiilor de renovare pentru diferite scenarii până în 2030 [3][12].....	7
Figura 1.6 - Propunere strategie de renovare energetică a clădirilor sociale, de învățământ și de sănătate în România [3].....	7
Figura 1.7 - Estimare evoluție consum total energie și energie electrică [16].....	8
Figura 1.8 - Estimare evoluție producție globală de energie electrică din surse nucleare [16]	9
Figura 1.9 - Estimare evoluție producție energie electrică în UE [18]	9
Figura 1.10 - Schemă funcțională metodă determinare factor de conversie a energiei electrice în energie primară [18].....	10
Figura 1.11 - Evoluția factorilor de conversie a energiei electrice în energie primară [19]	11
Figura 1.12 - Factori de conversie a energiei primare utilizați de țări membre UE, pentru surse de combustibili fosili [18]	12
Figura 1.13 - Factori de conversie a gazelor naturale în energie primară, calculați utilizând metoda ciclului de viață pentru diverse țări [18]	12
Figura 1.14 - Producția de energie electrică în anul 2017 – România [21].....	13
Figura 1.15 - Evoluția producției de energie electrică – România [22].....	14
Figura 1.16 - Evoluția emisiilor de CO ₂ – UE [2]	15
Figura 1.17 - Evoluția emisiilor de GHG – UE [2].....	15
Figura 1.18 - Evoluție preț unitar energie electrică – Medie state membre UE [23]	16
Figura 1.19 - Evoluție preț unitar energie electrică – România [23]	16
Figura 1.20 - Estimarea evoluției prețului unitar de energie electrică – UE [24]	17
Figura 1.21 - Evoluție preț unitar gaze naturale – Medie state membre UE [23]....	17
Figura 1.22 - Evoluție preț unitar gaze naturale – România [23]	18
Figura 1.23 - Estimare evoluție preț unitar gaze naturale – România [22]	18
Figura 2.1 - Grilă de încadrare consum total clădiri dotate cu toate cele cinci tipuri de instalații [57]	28
Figura 2.2 - Concept Casă Pasivă [70]	32
Figura 2.3 - Criterii de încadrare a Caselor Pasive de tip Classic, Plus și Premium [70]	33
Figura 2.4 - Schemă funcțională sistem de monitorizare consumuri de energie [73]	35
Figura 2.5 - Schemă funcțională sistem de monitorizare campus educational [75]	36
Figura 2.6 - Consumuri anuale energie electrică clădiri analizate [76].....	37
Figura 2.7 - Consumuri de energie electrică clădire de învățământ [77]	37
Figura 2.8 - Comparație eficiență energetică instalație de răcire [78].....	38
Figura 2.9 - Schemă funcțională sistem de monitorizare Casă Pasivă [79]	38
Figura 3.1 - Vedere de ansamblu clădire	42
Figura 3.2 - Planurile funcționale ale nivelurilor clădirii	43
Figura 3.3 - Secțiune transversală.....	44
Figura 3.4 - Concept de proiectare [70]	46
Figura 3.5 - Intrarea principală – proiect și executat	47
Figura 3.6 - Perete exterior: detaliu și implementare	49

Figura 3.7 - Soclu: detaliu și implementare	49
Figura 3.8 - Planșeu pe sol: detaliu și implementare.....	50
Figura 3.9 - Planșeu spre pod: detaliu și implementare.....	50
Figura 3.10 - Planșeu inferior: detaliu și implementare	51
Figura 3.11 - Perete spre spațiu neîncălzit: detaliu și implementare	51
Figura 3.12 - Perete din cărămidă de sticlă: detaliu și implementare	52
Figura 3.13 - Tâmplărie din profile PVC: detaliu și implementare	53
Figura 3.14 - Elemente vitrate sticlă.....	53
Figura 3.15 - Ușă principală din profile de lemn: detaliu și implementare	54
Figura 3.16 - Ușă tip garaj: detaliu și implementare.....	54
Figura 3.17 - Ușă metalică spre zonă aprovizionare: detaliu și implementare.....	55
Figura 3.18 - Chepeng acces pod: detaliu și implementare.....	55
Figura 3.19 - Punți termice – fundații: detaliu și implementare	56
Figura 3.20 - Punți termice – soclu exterior: detaliu și implementare.....	57
Figura 3.21 - Punți termice – soclu interior: detaliu și implementare	57
Figura 3.22 - Punți termice – stâlp exterior bază: detaliu și implementare	57
Figura 3.23 - Punți termice – stâlp interior bază: detaliu și implementare	58
Figura 3.24 - Punți termice – stâlp exterior colț ieșind: detaliu și implementare	58
Figura 3.25 - Punți termice – stâlp exterior colț intrând: detaliu și implementare ..	59
Figura 3.26 - Punți termice – stâlp interior spre spațiu neîncălzit:	59
Figura 3.27 - Punți termice – stâlp exterior intrare principal: detaliu și implementare	60
Figura 3.28 - Punți termice – grindă exterior intrare principal: detaliu și implementare.....	60
Figura 3.29 - Punți termice – perete calcan pod: detaliu și implementare.....	61
Figura 3.30 - Punți termice – cosoroabă pod: detaliu și implementare	61
Figura 3.31 - Punți termice – talpă lemn pod: detaliu și implementare.....	62
Figura 3.32 - Punți termice – tâmplărie curentă: detaliu și implementare.....	63
Figura 3.33 - Punți termice – tâmplărie casa scării: detaliu și implementare.....	63
Figura 3.34 - Punți termice – corpuri de iluminat de exterior: detaliu și implementare.....	64
Figura 3.35 - Utilizarea benzilor de etanșare la montarea tâmplăriei.....	65
Figura 3.36 - Plan de situație și orientare clădire	66
Figura 3.37 - Fațadă sudică.....	66
Figura 3.38 - Principii de configurare pompe de căldură [110][111]	67
Figura 3.39 - Cămin foraj și centrală termică.....	68
Figura 3.40 - Pompe de căldură și distribuitor foraje	69
Figura 3.41 - Distribuitor și coloane principale instalații termice	70
Figura 3.42 - Ventilconvectoare de pardoseală și tavan.....	70
Figura 3.43 - Schemă de principiu recuperator de căldură [119]	71
Figura 3.44 - Centrală de tratare a aerului și hotă bucătărie.....	72
Figura 3.45 - Distribuție interioară instalație de ventilare	73
Figura 3.46 - Studiu comparativ al costurilor globale	73
Figura 4.1 – Aporturi interne totale	85
Figura 4.2 - Temperatura exterioară medie corectată lunară și durata de încălzire	89
Figura 4.3 - Pierderile totale de căldură ale sistemului de încălzire	96
Figura 4.4 - Consumuri totale încălzire	98
Figura 4.5 - Încadrarea consumului de încălzire în clasă energetică.....	99
Figura 4.6 - Distribuție lunară consumuri energie încălzire	99
Figura 4.7 - Consumuri totale ACM.....	105
Figura 4.8 - Încadrarea consumului de ACM în clasă energetică	105

Figura 4.9 - Distribuție lunară consumuri energie ACM.....	106
Figura 4.10 - Stabilirea grafică a perioadei anuale de răcire	107
Figura 4.11 - Pierderile totale de căldură ale sistemului de răcire	112
Figura 4.12 - Consumuri totale răcire	114
Figura 4.13 - Încadrarea consumului de răcire în clasă energetică.....	115
Figura 4.14 - Distribuție lunară consumuri energie răcire	115
Figura 4.15 - Consumuri totale ventilare mecanică.....	121
Figura 4.16 - Încadrarea consumului de ventilare mecanică în clasă energetică ..	121
Figura 4.17 - Distribuție lunară consumuri energie ventilare mecanică.....	122
Figura 4.18 - Consumuri totale iluminat.....	123
Figura 4.19- Încadrarea consumului de iluminat în clasă energetică	124
Figura 4.20 - Distribuție lunară consumuri energie iluminat.....	124
Figura 4.21 - Distribuția consumurilor de energie totale a clădirii	125
Figura 4.22 - Încadrarea consumului de energie a clădirii în clasă energetică	125
Figura 4.23 - Distribuție lunară consumuri totale de energie.....	126
Figura 4.24 - Qf, Ep și ECO2 clădire învățământ și clădiri comparative (V1-V4)...	128
Figura 5.1 - Concept de monitorizare	130
Figura 5.2 - Senzori de temperatură DS18B20 și NTC 20k.....	131
Figura 5.3 - Senzori pereți exterior: detaliu și implementare	132
Figura 5.4 - Senzori pereți exteriori: implementare	133
Figura 5.5 - Senzori planșeu pe sol: detaliu și implementare	133
Figura 5.6 - Senzori planșeu pe sol: implementare.....	133
Figura 5.7 - Senzori planșeu inferior: detaliu și implementare	133
Figura 5.8 - Senzori planșeu inferior: implementare	134
Figura 5.9 - Senzori planșeu spre pod: detaliu și implementare	134
Figura 5.10 - Senzori planșeu spre pod: implementare	134
Figura 5.11 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind 1: detaliu și implementare	135
Figura 5.12 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind 2: implementare.....	135
Figura 5.13 - Senzori pereți exteriori – colț intrând 1: detaliu și implementare ...	135
Figura 5.14 - Senzori pereți exteriori – colț intrând 2: implementare	136
Figura 5.15 - Senzori pereți exteriori – stâlp intermediar 1: detaliu și implementare	136
Figura 5.16 - Senzori pereți exteriori – stâlp intermediar 2: implementare	136
Figura 5.17 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 1:.....	137
Figura 5.18 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 2: implementare	137
Figura 5.19 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 3:.....	137
Figura 5.20 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior 1: detaliu și implementare ..	138
Figura 5.21 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior 2: implementare.....	138
Figura 5.22 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior – grindă soclu:	138
Figura 5.23 - Senzori planșeu pe sol – stâlp exterior 1: detaliu și implementare .	139
Figura 5.24 - Senzori planșeu pe sol – stâlp exterior 2: implementare	139
Figura 5.25 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu interior: detaliu și implementare	139
Figura 5.26 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 1: detaliu și implementare.....	140
Figura 5.27 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 2: implementare.....	140
Figura 5.28 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 3: detaliu și implementare.....	140
Figura 5.29 - Senzori stâlpi exteriori: detaliu și implementare	141

Figura 5.30 - Senzori planșeu inferior – grindă perimetrală: detaliu și implementare	141
Figura 5.31 - Senzori planșeu inferior – grindă interioară: detaliu și implementare	141
Figura 5.32 - Senzori planșeu spre pod – perete calcan 1: detaliu și implementare	142
Figura 5.33 - Senzori planșeu spre pod – perete calcan 2: implementare	142
Figura 5.34 - Senzori planșeu spre pod – talpă lemn 1: detaliu și implementare ..	142
Figura 5.35 - Senzori planșeu spre pod – talpă lemn 2: implementare	143
Figura 5.36 - Senzori fundații 1: detaliu și implementare	143
Figura 5.37 - Senzori fundații 2: implementare.....	144
Figura 5.38 - Senzori teren natural: implementare.....	144
Figura 5.39 - Senzori de temperatură și debitmetru pompă de căldură	146
Figura 5.40 - Senzori de temperatură foraje verticale	147
Figura 5.41 - Senzori foraje pompe de căldură și schimbător de căldură	147
Figura 5.42 - Senzori distribuitoare termice.....	148
Figura 5.43 - Senzori CTA și recuperator de căldură	148
Figura 5.44 - Senzori plenum refulare și coloană principală ventilare	149
Figura 5.45 - Senzori parametrii confort interior	150
Figura 5.46 - Contoare consum energie electrică	151
Figura 5.47 - Consumuri lunare medii de energie electrică contorizate.....	152
Figura 5.48 - Distribuție pe funcțiuni a consumurilor de energie electrică	152
Figura 5.49 - Comparație consumuri lunare medii de energie electrică calculate și contorizate.....	154
Figura 5.50 - Termograf Flir InfraCam B	155
Figura 5.51 - Termografieri – comparație clădire vecină.....	156
Figura 5.52 - Termografieri – tâmplărie – vedere exterioară.....	156
Figura 5.53 - Termografieri – tâmplărie – vedere interioară.....	157
Figura 5.54 - Termografieri – cărămidă sticlă – vedere exterioară și interioară ..	157
Figura 5.55 - Ventilator și anemometru	158
Figura 5.56 - Generator de fum	158
Figura 5.57 - Blower-door test set-up.....	159
Figura 5.58 - Rezultate test etanșeitate	159
Figura 5.59 - Diagrame temperaturi măsurate senzori perete exterior	162
Figura 5.60 - Diagrame temperaturi măsurate senzori planșeu pe sol – grindă soclu ext.....	162
Figura 5.61 - Exemplu distribuție flux termic prin modelare numerică pentru placă pe sol – grindă soclu exterior [141].....	163
Figura 6.1 - Amprenta de carbon în etapa de construire a clădirii analizate	165
Figura 6.2 - Amprenta de carbon în etape de construire a clădirilor V3 și V5.....	166
Figura 6.3 - Evoluția în timp a consumului E_p	168
Figura 6.4 - Consumurile globale E_p	168
Figura 6.5 - Evoluția în timp a E_{CO_2}	169
Figura 6.6 - Emisiile globale E_{CO_2}	169
Figura 6.7 - Impactul asupra mediului prin emisiile de CO_2 pentru cele trei tipuri de clădiri	170
Figura 6.8 - Evoluția în timp a costurilor globale	172
Figura 7.1 - Distribuție lunară consumuri totale de energie	175
Figura 7.2 - Q_f , E_p și E_{CO_2} clădire învățământ și clădiri comparative (V1-V4)	176
Figura 7.3 - Comparație consumuri lunare medii de energie electrică calculate și contorizate.....	177

Figura 7.4 - Impactul asupra mediului prin emisiile de CO ₂ a celor trei tipuri de clădiri.....	177
Figura 7.5 - Evoluția în timp a costurilor globale	178

1. INTRODUCERE

1.1. Consumurile de energie ale clădirilor

Emisiile gazelor cu efect de seră (GHG), în special a dioxidului de carbon (CO₂), au crescut datorită activității umane cu 45% între anii 1750 și 2019, de la 280 ppm la 415 ppm [1]. Efectele emisiilor GHG sunt răspunzătoare pentru fenomene deteriorante în categorii precum: climă, ecosisteme și oceane. Efectele negative se concretizează prin creșterea temperaturilor medii globale, creșterea densității fenomenelor meteo extreme, dispariția unor specii de animale, creșterea nivelului oceanelor și diminuarea recifurilor de corali. În speranța evitării stării ireversibile a efectelor negative, este necesar să se implementeze cât mai repede acțiuni eficiente de reducere a emisiilor GHG la nivel global.

În anul 2016, consumurile globale de energie finală au fost de 9555 milioane tone echivalent petrol (Mtep) [2], din care fracțiunile predominante sunt generate de China (20,7%), Asia (18,3%, exclusiv China), SUA (15,9%) și Uniunea Europeană (11,9%). Emisiile de CO₂ aferente consumului global de energie au fost de 33481 milioane tone CO₂ [2], din care fracțiunile predominante sunt generate de China (27,4%), Asia (17,9%, exclusiv China), SUA (15,3%) și Uniunea Europeană (10,4%).

Evoluția consumului global de energie finală și emisiile de CO₂ au crescut constant până în anul 2016, UE și SUA fiind singurele regiuni care au reușit să treacă la o pantă descendentă a consumurilor și a emisiilor. Între anii 2000 și 2016, China și Asia (exclusiv China) au crescut semnificativ consumurile de energie (150% și 44%) și emisiile de CO₂ (190% și 56%).

La nivelul Uniunii Europene (UE), consumurile de energie finală a clădirilor în anul 2016 au fost de 434,80 Mtep [2], care reprezintă 39% din totalul consumului celor 28 de state membre.

În România, consumurile de energie finală a clădirilor în anul 2019 au fost de 9,52 Mtep, care reprezintă 42% din totalul consumului național [3]. 7,68 Mtep (34%) reprezintă contribuția clădirilor rezidențiale unifamiliale și multifamiliale iar 1,84 Mtep (8%) reprezintă contribuția clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit. Aceste tipuri de clădiri sunt alcătuite din categorii principale precum: birouri, spații comerciale, învățământ, sănătate și turism.

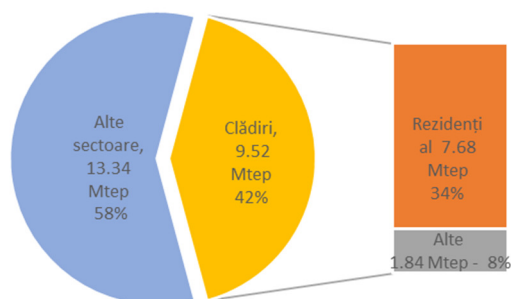


Figura 1.1 - Consumul total de energie finală (Mtep) pe sectoare – România [3]

2 Consumurile de energie ale clădirilor - 1.1

Consumurile energetice ale clădirilor existente rezidențiale și de servicii în România sunt alcătuite din două categorii principale: energie termică pentru încălzire și prepararea apei calde menajere, respectiv energie electrică. Energia termică reprezintă 80%, iar energia electrică reprezintă 20% din totalul energiei consumate. În cazul clădirilor rezidențiale, proporțiile predominante a energiei termice sunt asigurate de lemn (49%) și de gaze naturale (34%). Pentru clădirile nerezidențiale (servicii) energia termică este furnizată prin intermediul gazelor naturale (72%) și termoficare (18%).

Fracțiunile utilizării energiei electrice produse local prin intermediul sistemelor de panouri fotovoltaice (0,4%) și a utilizării energiei electrice pentru răcire (0,2%) sunt foarte reduse. Aceste valori denotă starea incipientă, la nivelul anului 2016, a producției locale de energie electrică din surse regenerabile și de asigurare a confortului interior prin răcirea spațiilor.

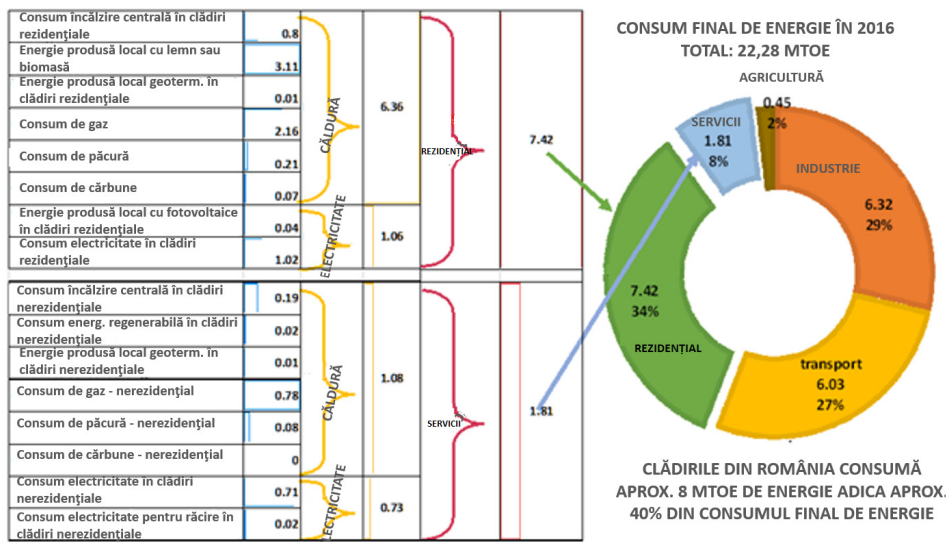



Figura 1.2 - Consumul de energie (Mtep) în clădiri în România [3]

Clădirile rezidențiale reprezintă 95% din numărul total al imobilelor, 90% din suprafața totală încălzită, respectiv 81% din consumurile finale totale de energie. Dintre acestea, clădirile multifamiliale reprezintă doar 3% din numărul total, respectiv 36% din suprafața totală rezidențială încălzită. Astfel, din punct de vedere strategic și administrativ, sunt mult mai eficiente intervențiile pe aceste tipuri de clădiri datorită numărului redus de proceduri birocratice și procedurale care trebuie parcurse pentru a obține o proporție ridicată de suprafață reabilitată. Intervenția extinsă la capitolul clădirilor unifamiliale este nefezabilă datorită proporției foarte ridicate a numărului de astfel de clădiri (93% din total) și a procedurilor birocratice aferente care ar trebuie parcurse pentru implementarea unor măsuri de renovare energetică.

Clădirile cu altă destinație decât cea de locuit (CAD) reprezintă 5% din numărul total al imobilelor (Tabelul 1.1), 10% din suprafața totală încălzită, respectiv 19% din consumurile finale totale de energie. Dintre acestea, clădirile de învățământ reprezintă 7% din numărul total de CAD, 28% din suprafața totală încălzită de CAD, respectiv 16% din consumurile finale totale de energie de CAD.

Tabelul 1.1 – Inventarul fondului construit în România [3]

Tipuri de clădiri	Principalele categorii posibile	Imagine reprezentativă	Numărul de clădiri [-]	Suprafața totală încălzită [Mm ²]	Suprafață construită <2000 [Mm ²]	Renovată până în 2020 [%]	Zona nerenovată [Mm ²]
Locuințe unifamiliale	Rurale		3810737	247.80	217.840	3%	211.30
	Urbane		1354263	124.46	102.012	8%	93.85
Condominiu rezidențial	<=P+4 etaje		92332	94.51	77.50	7%	72.07
	>P+4 etaje		61554	115.51	94.72	7%	88.09
Educație	Instituții de învățământ		18000	17.50	16.63	15%	14.13
Sănătate și asistență socială	Spitale		547	5.47	5.42	1%	5.36
	Alte servicii de asistență medicală și asistență socială		50766	3.80	3.61	1%	3.58
Administrație/biroouri	Clădiri administrative		6000	5.26	4.73	5%	4.50
	Clădiri din sticlă și oțel		1500	3.10	0.05	5%	0.05
Clădiri comerciale	Hoteluri		7642	4.23	0.85	5%	0.80
	Restaurante/cafenele		36000	1.82	1.28	5%	1.21
	Magazine		122000	20.83	14.58	10%	13.12
Subtotal rezidențial		90%	5,318,886	582.27	492.06	5%	465.31
Subtotal comercial și public		10%	242,455	62.01	47.14	9%	42.75
Total		100.0%	5,561,341	644.29	539.20	6%	508.07

Tabelul 1.2 – Proportia functiunilor fondului construit [3]

Locuințe unifamiliale	Locuințe multifamiliale	Educație	Sănătate	Administrativ	Comercial
58%	33%	3%	1%	1%	4%

Tabelul 1.3 – Consumul final de energie pe categorii de clădiri [3]

Locuințe unifamiliale	Locuințe multifamiliale	Educație	Sănătate	Administrativ	Comercial
50%	31%	3%	4%	2%	10%

În ceea ce privește perioada de construcție a fondului existent în România, 87% dintre acestea au fost realizate înaintea anului 1990 iar 94% au fost realizate înaintea anului 2000. Performanța energetică a anvelopei termice și a instalațiilor acestor clădiri au fost semnificativ inferioare cerințelor tehnice actuale.

Tabelul 1.4 – Proportia perioadei de construcție a fondului construit [3]

< 1961	1961-1970	1971-1980	1981-1989	1990-1999	> 2000
31%	19%	23%	14%	7%	6%

Raportul "EU Energy in Figures 2018" [2], publicat de Comisia Europeană pentru perioada 2010 – 2016, indică o scădere a consumurilor de energie primară și finală în România. Scăderea consumului de energie finală cu doar 1% se datorează creșterii consumului la capitolul transporturi (+17%), care anulează progresele realizate la capitolele industrie (-8%), sector rezidențial (-8%) și servicii (-4%).

4 Cadrul legislativ existent - 1.2

Scăderea consumurilor de energie finală a categoriilor sector rezidențial și servicii poate fi explicat prin creșterii eficienței energetice a clădirilor.

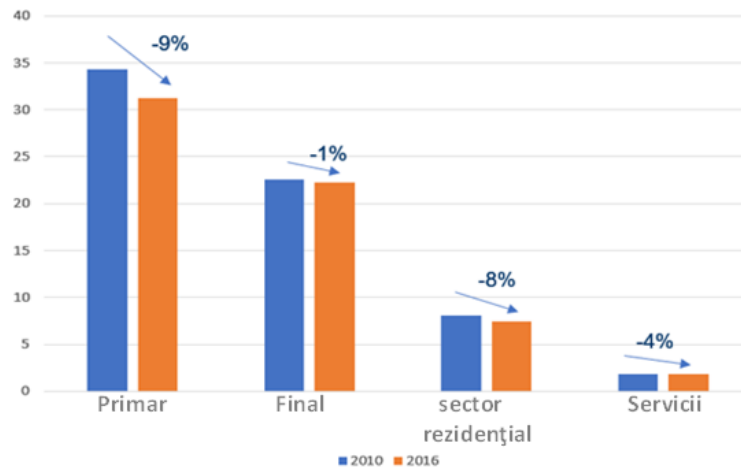


Figura 1.3 – Evoluție consum de energie (Mtep) în România [3]

Consumurile cele mai ridicate de energie finală se regăsesc la următoarele tipuri de clădiri existente [3]:

- > 400 kWh/m²an, în cazul clădirilor unifamiliale cu surse de încălzire pe gaz și lemn
- 300 – 400 kWh/m²an, în cazul clădirilor de birouri cu surse de încălzire pe gaz și termoficare
- 200 – 300 kWh/m²an, în cazul clădirilor multifamiliale și de învățământ cu surse de încălzire pe gaz și termoficare

1.2. Cadrul legislativ existent

Directiva 2010/31/UE [4] privind performanța energetică a clădirilor a stabilit principiile de aplicat pentru respectarea Protocolului de la Kyoto la Convenția-cadru a Organizației Națiunilor Unite privind schimbările climatice (UNFCCC) [5], menținerea creșterii temperaturii globale sub 2°C, reducerea până în 2020 a emisiilor globale cu efect de seră cu cel puțin 20% sub nivelul din 1990, reducerea cu 20% a consumurilor de energie și utilizarea energiei regenerabile în proporție de 20% din totalul consumului de energie.

Directiva impune statelor membre UE implementarea unor măsuri strategice și tehnice precum:

- Îmbunătățirea metodologiei de calcul și a cerințelor minime privind performanța energetică a clădirilor, respectiv corelarea acestora cu standardele europene
- Definirea termenului de renovare majoră și impunerea reabilitării termice extinse a fondului construit existent
- Definirea termenului de clădire cu consum de energie aproape egal cu zero (nZEB) și impunerea utilizării soluțiilor tehnice aferente pentru

toate clădirile publice realizate după 31 decembrie 2018, respectiv toate clădirile realizate după 31 decembrie 2020

- Stabilirea unei strategii de îmbunătățire a performanței termice a fondului construit al administrației publice
- Stabilirea conținutului certificatului de performanță energetică și aplicarea recomandărilor din acestea
- Îmbunătățirea confortului interior și asigurarea mentenanței instalațiilor clădirilor

Directiva 2012/27/UE [6] privind eficiența energetică a stabilit măsuri suplimentare de eficiență energetică atât a clădirilor cât și a industriei energetice precum:

- Reanalizarea măsurilor de eficiență energetică datorită progresului insuficient în procesul de implementare a obiectivelor principale a Directivei 2010/31/UE
- Creșterea ratei de renovare a fondului construit existent
- Administrația publică să ofere exemple de bune practici mediului privat, prin renovarea anuală a 3% din clădirile publice începând cu anul 2014
- Implementarea contorizării inteligente în proporție de 80%
- Dezvoltarea pieței de producție și transport de energie
- Certificarea specialiștilor în domeniul energiei
- Realizarea unui inventar al clădirilor din proprietatea administrației centrale care sunt încălzite și răcite

Directiva 2018/844/UE [7] privind modificarea Directivelor 2010/31/UE [5] și 2012/27/UE [6] stabilește principiile de aplicat pentru îndeplinirea noilor obiective principale și anume: reducerea emisiilor globale cu efect de seră cu cel puțin 40% sub nivelul din 1990 până în 2030, respectiv cu 80-95% până în 2050. Din punct de vedere strategic, obiectivul pe termen lung al UE (2050) este de a dezvolta un sistem energetic sustenabil, competitiv, sigur și decarbonizat, respectiv de a reduce importurile de gaze naturale pentru a obține independență energetică.

Directiva impune statelor membre UE implementarea unor măsuri tehnice precum:

- Creșterea calității aerului interior
- Utilizarea sistemelor de automatizare a instalațiilor
- Dezvoltarea infrastructurii de reîncărcare a mașinilor electrice
- Definierea performanței energetice a clădirilor prin consumul de energie primară în kWh/m²an
- Îmbunătățirea transparenței certificatelor energetice prin furnizarea de informații suplimentare a instalațiilor acestora
- Dezvoltarea și susținerea cercetării în domeniul performanței energetice a clădirilor
- Acțiunile de renovare privind performanța energetică a clădirilor să abordeze și protecția împotriva incendiilor și reducerea riscurilor legate de activitatea seismică

Legea 372/2005 [8] privind performanța energetică a clădirilor în România, republicată și actualizată cu Legea 159/2013 [9], Legea 156/2016 [10] și Legea 101/2020 [11] a preluat prevederile Directivelor UE și stabilește principiile care

6 Cadrul legislativ existent - 1.2

trebuie respectate la elaborarea Strategiei naționale de renovare pe termen lung (SRTL) [3].

SRTL s-a elaborat de către Ministerul Lucrărilor Publice, Dezvoltării și Administrației în anul 2019 și se află în anchetă publică [3] în momentul redactării prezentei lucrări.

SRTL propune renovarea din punct de vedere energetic a tuturor clădirilor construite înainte de anul 2000 din România, până în anul 2050. Utilizând datele Analizei Băncii Mondiale din 2019 [12], s-au definit patru tipuri de scenarii cu creșteri graduale diferite de implementare între 2020 și 2050. Scenariul denumit BAU implică păstrarea unei rate anuale constante de 0,5% dar cu renovarea a doar 15% din clădirile țintă până în anul 2050. Celelalte trei scenarii (1-3) implică îndeplinirea obiectivului principal până în anul 2050, dar în ritmuri diferite de implementare.

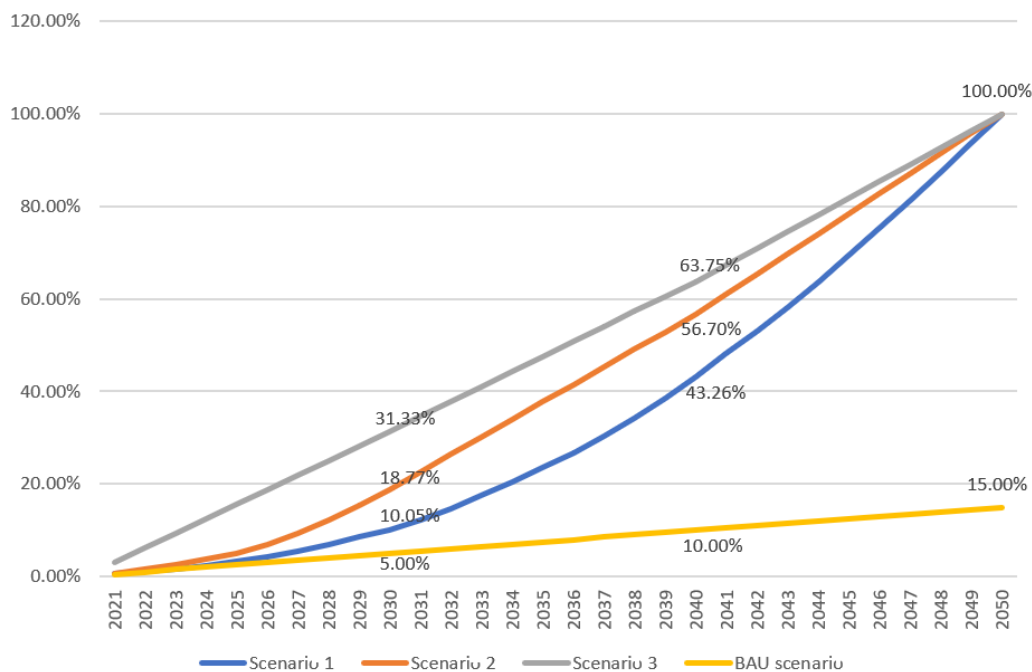


Figura 1.4 - Rata de renovare a clădirilor pentru diferite scenarii până în 2050 [3][12]

Analiza Băncii Mondiale din 2019 [12], a estimat și beneficiile implementării măsurilor de renovare la nivelul anului 2030. La categoria economiei de energie, diferența dintre scenariile BAU și 3 este de 1,34 Mtep (15% din consumul național de energie aferent clădirilor) iar la categoria emisiilor de CO₂, diferența dintre scenariile BAU și 3 este de 2,88 milioane tone CO₂. Pentru a obține rezultatele prezentate, ar trebui luate măsuri imediate de creștere de șase ori a ratei anuale de renovare, de la 0,5% la 3,13%.

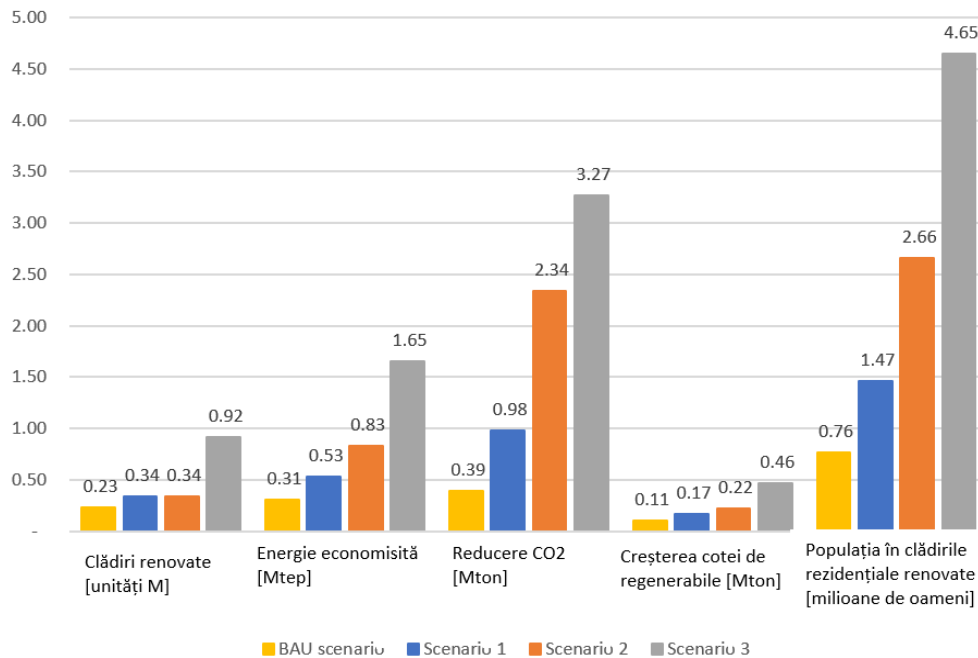


Figura 1.5 - Compararea beneficiilor de renovare pentru diferite scenarii până în 2030 [3][12]

În ceea ce privește măsurile tehnice de renovare a clădirilor de învățământ, SRTL propune o abordare complexă prin intervenții la anvelopele clădirilor, alegerea pompelor de căldură ca sursă de încălzire, implementarea sistemelor de răcire și a instalațiilor de ventilare cu recuperare de căldură, implementarea panourilor solare pentru prepararea apei calde menajere și a panourilor fotovoltaice pentru generarea locală a energiei electrice, respectiv reducerea consumurilor de energie finală până la încadrarea clădirii în clasa energetică A.

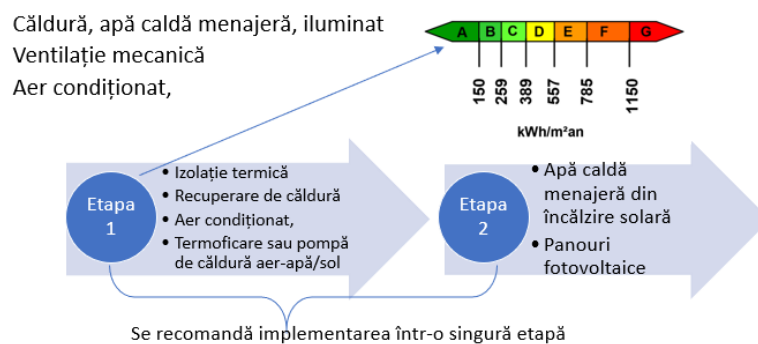


Figura 1.6 - Propunere strategie de renovare energetică a clădirilor sociale, de învățământ și de sănătate în România [3]

Pentru implementarea SRTL în cele patru scenarii, s-a realizat o analiză privind numărul necesar de lucrători în domeniul construcțiilor și de specialiști în domeniul ingineriei la nivelul anului 2030. Conform Institutului Național de Statistică [13], în anul 2018 un număr de 356187 de angajați activau în domeniul

8 Tendințe globale în domeniul energiei - 1.3

construcțiilor la nivel național. Dacă ordinul de mărime a numărului de angajați în construcții nu se modifică până în anul 2030, atunci implementarea Scenariilor 2 și 3 ar implica angrenarea a 25% dintre aceștia.

Tabelul 1.5 - Număr necesar de lucrători în domeniul construcțiilor și de specialiști în domeniul ingineriei pentru implementarea strategiei de renovare în anul 2030, în diferite scenarii [3]

Scenariu		BAU	1	2	3
Lucrători	[număr]	14782	44959	85273	85622
Ingineri		868	2639	5005	5026

1.3. Tendințe globale în domeniul energiei

Industria producătoare de energie, dezvoltată în jurul utilizării combustibililor fosili existenți în cantități limitate (hidrocarburi, cărbune, petrol sau gaze naturale), se confruntă cu avertizările proiecțiilor privind epuizarea acestora într-un termen scurt și mediu [14]. Astfel, energia electrică produsă din surse regenerabile sau nucleare pot să reprezinte alternative pentru viitor, iar re tehnologizarea întregii industrii energetice în jurul energiei electrice a devenit o necesitate și un obiectiv al politicilor globale [15].

Agenția Internațională de Energie Atomică (IAEA) [16] estimează că nivelul consumurilor totale globale de energie până în anul 2050 va crește cu 38% iar fracțiunea energiei electrice din total va crește de la 18,8% (2018) până la 26,1% (2050).

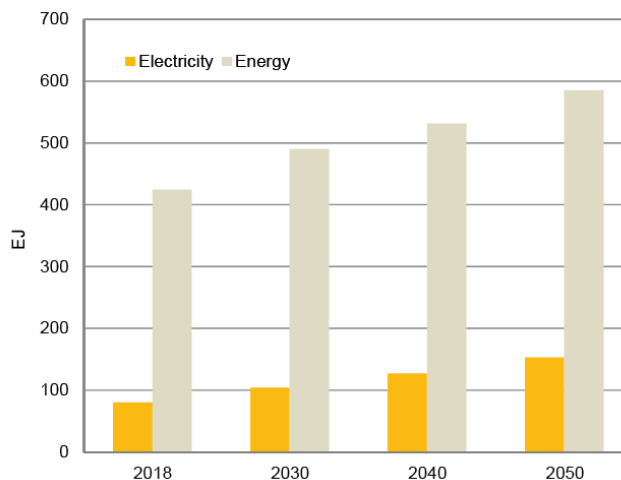


Figura 1.7 - Estimare evoluție consum total energie și energie electrică [16]

În ceea ce privește energia electrică produsă din surse nucleare, estimările IAEA [16] se bazează pe două scenarii (Low și High) care sunt dependente de factori precum: strategii politice de a investi în centrale nucleare (peste 50% din centralele existente au o vechime de peste 30 ani și se apropie de sfârșitul de viață proiectat), evoluția tehnologiei și condiții de siguranță a funcționării centralelor. Chiar dacă voința și viziunea politică reprezintă un factor determinant în evoluția acestui domeniu, variantele pesimiste ale estimărilor nu indică o scădere a producției de energie electrice din surse nucleare în anul 2050 față de nivelul anului 2018.

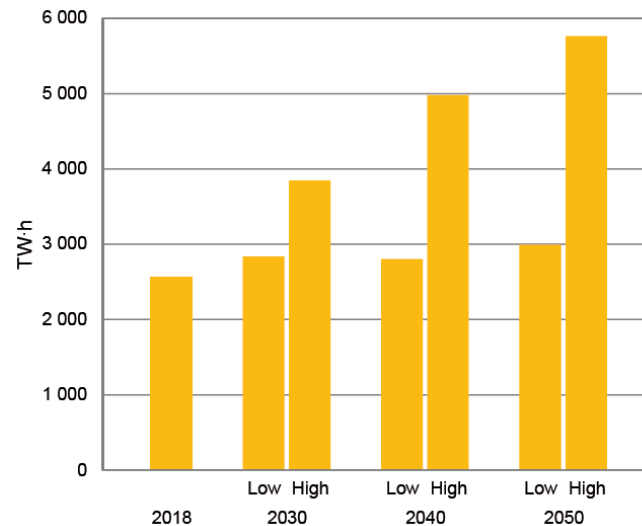


Figura 1.8 - Estimare evoluție producție globală de energie electrică din surse nucleare [16]

La nivelul UE, Primes 2012 Reference Scenario [17] estimează creșterea producției de energie electrică cu 6,7% între anii 2020 și 2030. Schimbările predominante a fracțiunilor surselor de producție de energie electrică sunt reprezentate de scăderea combustibililor fosili cu 16% și creșterea energiilor regenerabile cu 32,3%.

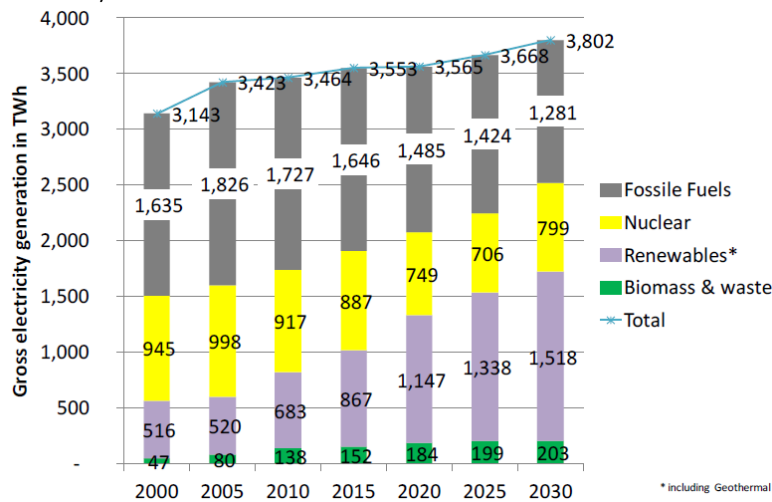


Figura 1.9 - Estimare evoluție producție energie electrică în UE [18]

În ceea ce privește performanțele energetice a clădirilor, raportarea acestora se focalizează pe consumurile de energie primară. Energia primară este o formă de energie regăsită în natură, care nu a fost supusă proceselor ingineresti de conversie. Determinarea și stabilirea factorilor de conversie a energiei finale în energie primară joacă astfel un rol crucial în evaluarea globală curentă și viitoare a consumurilor de energie a clădirilor.

1.3.1. Factor de conversie energie primară

Factorii de conversie a energiei primare exprimă cantitatea de energie primară utilizată pentru generarea unei unități de energie finală, ținând cont de caracteristicile procesului industrial de furnizarea energiei la consumatorul final. Acest proces înglobează efectele producției, stocării, transportului și se determină pentru fiecare tip de sursă.

În momentul de față, există mai multe metode prin care se pot calcula acești factori iar fiecare stat membru UE are libertatea de a alege metoda utilizată [18]. Metodele se bazează pe scheme funcționale care conțin factori precum: intervale de timp, tipuri de valori, baze de date, rezoluție geografică, limitele sistemului, mod de prelucrare date, etc. Alegerea metodei poate să depindă de strategii politice și disponibilitatea resurselor, astfel oferind subiectivitate valorilor rezultate.

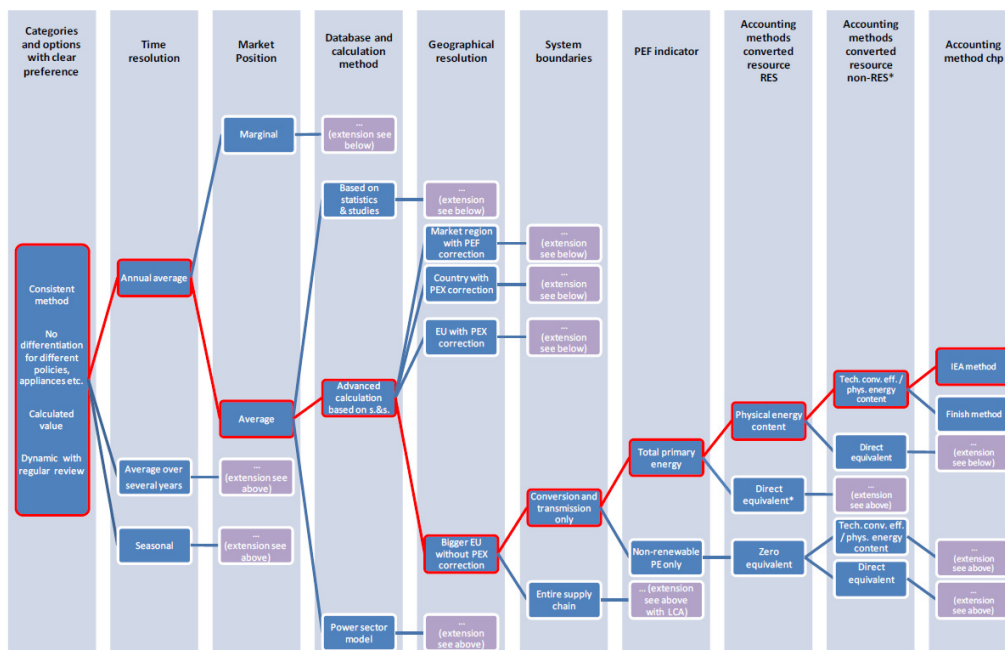


Figura 1.10 - Schemă funcțională metodă determinare factor de conversie a energiei electrice în energie primară [18]

Institutul Fraunhofer [18] a realizat în 2016 o evaluare în timp a factorului mediu de conversie în energie primară a consumului de energie electrică în UE, utilizând mai multe metode de calcul. Studiul are la bază prevederile Primes 2012 Reference Scenario [17] și a avut ca obiectiv reevaluarea valorii medii a factorului de 2,50, care s-a considerat inadecvat. Scăderea valorii factorului între anii 2020 și 2030 s-a estimat a fi în intervalul 7,4 – 17,7% prin prisma creșterii proporției de energii regenerabile utilizate la producția de energie electrică.

Tabelul 1.6 - Evoluția factorilor de conversie a energiei electrice în energie primară utilizând mai multe metode de calcul [18]

Method	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Method 1	2.41	2.37	2.26	2.08	1.87	1.79	1.74
Method 2	2.41	2.36	2.14	1.90	1.59	1.46	1.35
Method 3	2.52	2.49	2.38	2.21	2.01	1.93	1.87
Method 4	2.65	2.61	2.49	2.30	2.09	2.00	1.93

Molenbroek et al. [19] au realizat un studiu în 2011 privind determinarea factorilor de conversie în energie primară a consumului de energie electrică pentru șapte state membre UE în baza infrastructurii existente și viitoare de producție. Evoluția factorilor pentru anul 2050 s-au calculat în două variante care țin cont de adaptarea infrastructurii în așa fel încât proporția producției de energie electrică din surse regenerabile este de 45% (calc 2050 RE=1 REF), respectiv 75% (calc 2050 RE=1 [r]evolution). Prin creșterea utilizării energiei din surse regenerabile, valoarea factorului de conversie scade.

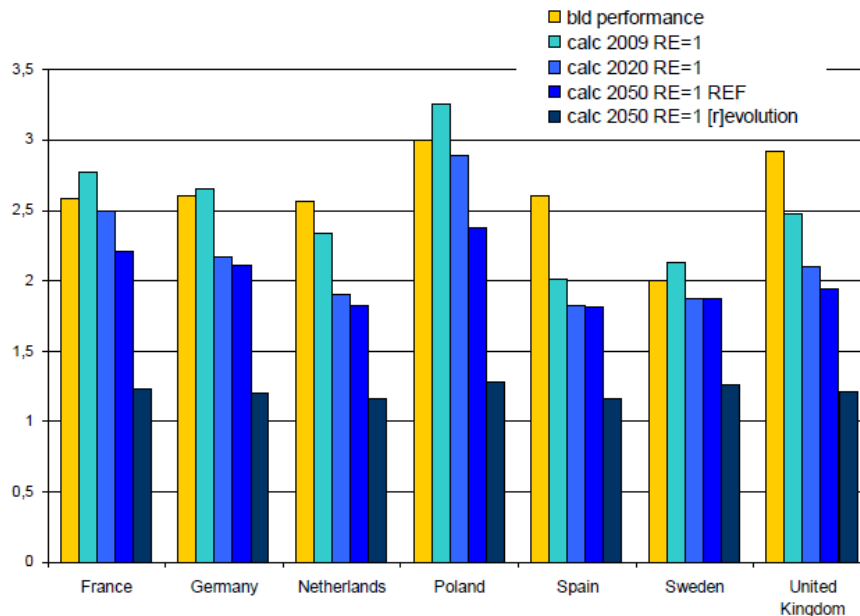


Figura 1.11 - Evoluția factorilor de conversie a energiei electrice în energie primară [19]

Studiul realizat în 2016 de Institutul Fraunhofer [18] prezintă un centralizator al factorilor de conversie a energiei primare utilizați de către țări membre UE pentru surse de combustibili fosili și valorile factorului pentru gaze naturale, calculat cu metoda ciclului de viață. În cazul gazelor naturale, diferențele dintre valorile utilizate și valorile calculate denotă influența politică și strategică în alegerea metodei de determinare a factorilor de conversie a energiei primare și implicit opțiunile de promovare a utilizării resurselor. Compararea dintre cele două seturi de valori pentru Ungaria (factor utilizat = 1,00 și factor calculat = 1,34) și pentru Marea Britanie (factor utilizat = 1,20 și factor calculat = 1,09) scoate în evidență două tipuri de strategii naționale în care utilizarea gazelor naturale este promovat mai mult sau mai puțin, la un moment dat.

12 Tendințe globale în domeniul energiei - 1.3

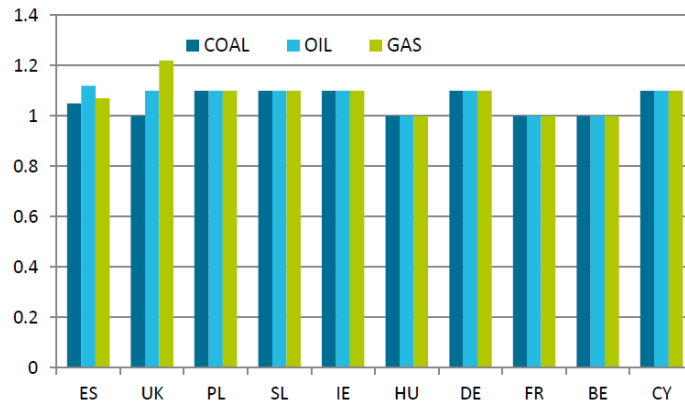


Figura 1.12 - Factori de conversie a energiei primare utilizată de țări membre UE, pentru surse de combustibili fosili [18]

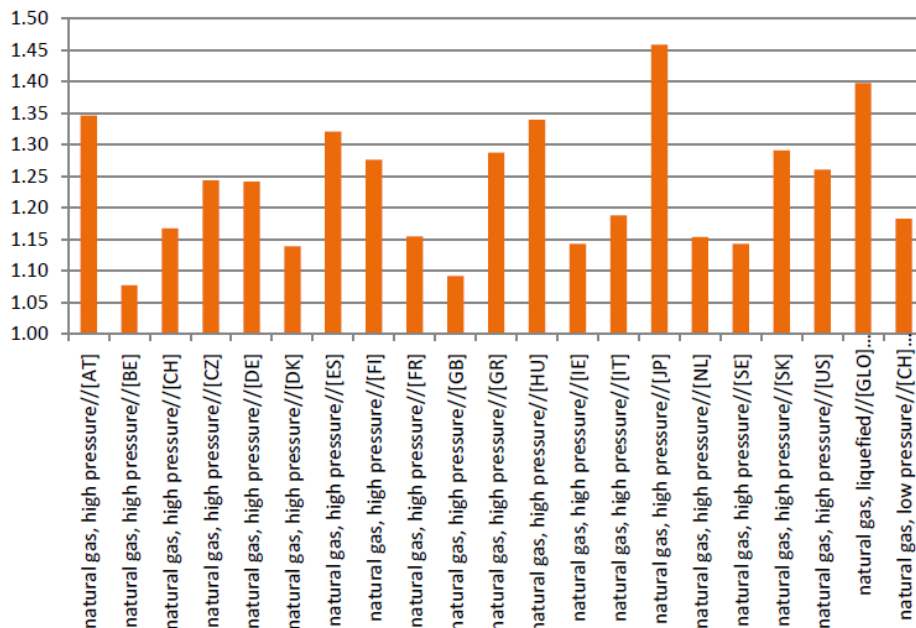


Figura 1.13 - Factori de conversie a gazelor naturale în energie primară, calculați utilizând metoda ciclului de viață pentru diverse țări [18]

Valorile factorilor de conversie a energiei primare utilizați în România, în funcție de tipul de sursă de energie, sunt stabiliți în metodologia de calcul a performanței energetice a clădirilor Mc 001 / 2006 [20]. Valoarea factorului energiei electrice (2,62) este o consecință a ponderii resurselor energetice primare în producția acesteia, prezentate în Tabelul 1.7.

În cazul consumurilor de energie a clădirilor, raportul dintre factorul de conversie a energiei electrice și cel al gazelor naturale (2,24) reprezintă un factor important în stabilirea sursei de energie pentru încălzire și prepararea apei calde menajere. Rezultatul comparației cel mai des întâlnită, între alegerea pompelor de căldură alimentate electric și centralele în condensare pe combustibil gazos,

depinde de diferențele de randament între cele două tipuri de surse. Astfel, din punct de vedere al consumului de energie de energie primară, alegerea pompelor de căldură alimentate electric în detrimentul centralelor în condensatie pe combustibil gazos devine fezabilă atunci când coeficientul mediu de performanță a pompei de căldură este mai mare decât raportul dintre factorii celor două tipuri de surse (2,24).

Tabelul 1.7 - Factori de conversie a energiei finale în energie primară – România [21]

Combustibil/Sursa de energie	Factor		
	neregenerabilă	regenerabilă	total
Lignit ^{*)}	1,30	0,00	1,30
Huile ^{*)}	1,20	0,00	1,20
Păcură ^{*)}	1,10	0,00	1,10
Gaz natural ^{*)}	1,17	0,00	1,17
Deșeuri ^{*)}	0,05	1,00	1,05
Biomasa - lemne de foc ^{*)}	0,18	0,90	1,08
Biomasa - brichete/peleți ^{*)}	0,28	0,80	1,08
Energie electrică din SEN	2,62	0,00	2,62
Termoficare (cogenerare)	0,92	0,00	0,92
Energie termică produsă cu panouri termice solare	0,00	1,00	1,00
Energie electrică produsă cu panouri fotovoltaice	0,00	2,62	2,62
Energie termică pentru răcire (free cooling)	0,00	1,00	1,00
Energie termică pentru încălzire furnizată de pompe de căldură alimentate electric	0,86	0,67	1,53

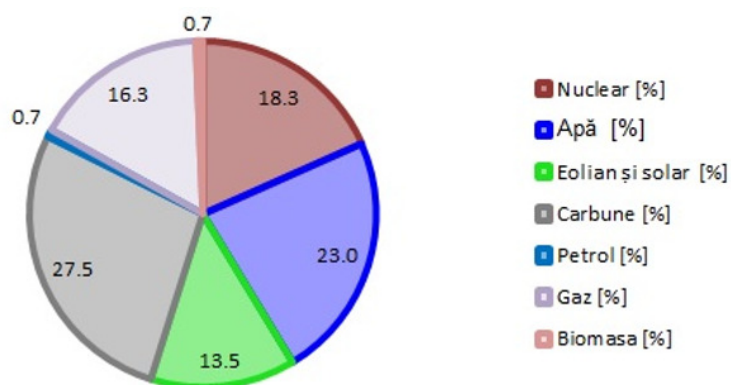


Figura 1.14 - Producția de energie electrică în anul 2017 – România [21]

Strategia Energetică a României 2019-2030, cu perspectiva anului 2050 [22], realizat de Ministerul Energiei, are în vedere creșterea capacității de producție a energiei electrice din surse regenerabile (apă, eolian și solar) și din gaze naturale, dar păstrarea constantă a fracțiunii de 36-37% respectiv 16-17% din totalul surselor de producție. Modificările proporționale cele mai evidente se regăsesc la sursa de cărbune, care este estimat să scadă de la 27,5% la 17,3%, și la sursa nucleară, care estimat să crească de la 18,3% la 26,9%.

Chiar dacă proporția utilizării surselor regenerabile ar rămâne constantă, schimbările unei proporții de cărbune cu sursă nucleară ar duce la scăderea factorului de conversie a energiei electrice în energie primară.

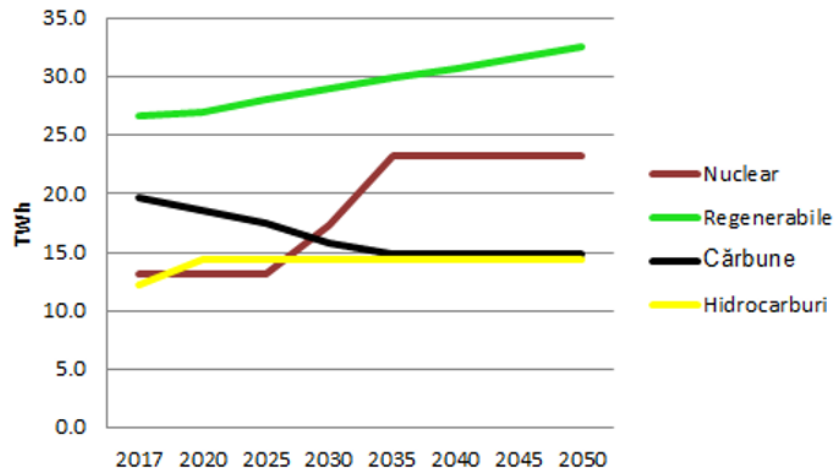


Figura 1.15 - Evoluția producției de energie electrică – România [22]

1.3.2. Emisii CO₂

Cel mai utilizat factor de caracterizare a efectelor consumului de energie a clădirilor asupra mediului înconjurător este emisia de CO₂. Pentru fiecare tip de sursă de energie sunt definiți factori de conversie prin care se determină cantitatea echivalentă de CO₂ emisă pentru fiecare kWh de energie primară consumată. Valorile factorilor de emisie utilizate în România sunt prezentate în Tabelul 1.8.

Tabelul 1.8 - Factori de emisie CO₂ a energiei primare – România [21]

Tip combustibil/sursa de energie	Factor de emisie [Kg CO ₂ /kWh]
Lignit*)	0,334
Huila*)	0,341
Păcură*)	0,279
Gaz natural*)	0,205
LPG = GLP	0,230
Biomasă - lemne de foc	0,019
Biomasă - deșeuri lemnoase, rumeguș	0,016
Biomasă - brichete/peleți*)	0,039
Biomasă - deșeuri agricole	0,010
Biogaz	0,145
Energie electrică din SEN	0,299
Termoficare (cogenerare)	0,220
Energia solară	0,000
Energia eoliană	0,000
Energia geotermală, aerotermală	0,000
Energie termică pentru încălzire și preparare apă caldă menajeră furnizată de pompe de căldură alimentate electric**)	0,257

În cazul consumurilor de energie a clădirilor, raportul dintre factorul emisiei energiei electrice și cel al gazelor naturale (1,46) reprezintă un factor important în stabilirea sursei de energie pentru încălzire și prepararea apei calde menajere. Astfel, din punct de vedere al emisiei de CO₂ al consumului de energie primară, alegerea pompelor de căldură alimentate electric în detrimentul centralelor în condensatie pe combustibil gazos devine fezabilă atunci când coeficientul mediu de performanță a pompei de căldură este mai mare decât 3,27, care reprezintă produsul dintre raportul dintre factorii de conversie a energiei primare (2,24) cu raportul dintre factorii de emisie CO₂ (1,46) ale celor două tipuri de surse.

Conform Raportului "EU Energy in Figures 2018" [2], publicat de Comisia Europeană pentru perioada 2010 - 2016, emisiile de CO₂ în anul 2016 ale statelor membre UE a fost de 3637,3 milioane tone CO₂ iar a României a fost de 75,9 milioane tone CO₂.

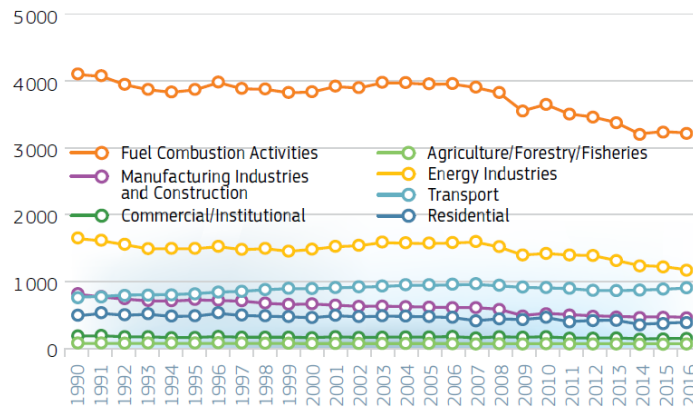


Figura 1.16 - Evoluția emisiilor de CO₂ - UE [2]

În cazul emisiilor totale de gaze cu efect de seră (GHG), emisiile în anul 2016 ale statelor membre UE a fost de 4440,8 milioane tone CO₂ echivalent iar a României a fost de 113,4 milioane tone CO₂ echivalent.

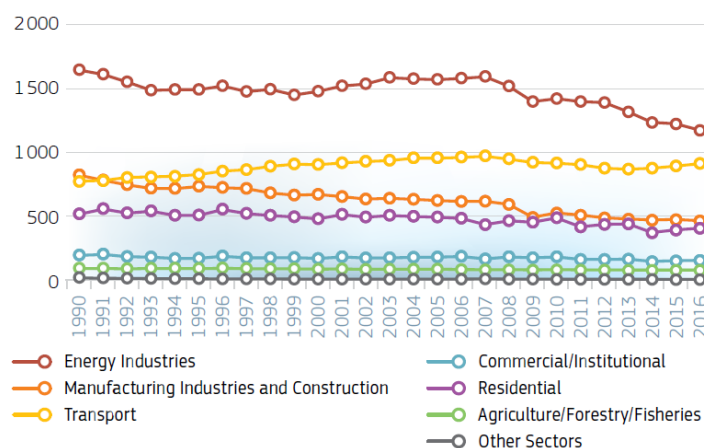


Figura 1.17 - Evoluția emisiilor de GHG - UE [2]

1.3.3. Preț unitar energie electrică

Evoluția prețurilor unitare medii a energiei electrice în țările membre UE, pentru consumatorii non-casnici care se încadrează în consumul anual de 500 MWh, a cunoscut o creștere medie anuală de 2,5%, conform datelor statistice Eurostat [23]. În ceea ce privește alcătuirea costului unitar, se constată păstrarea constantă a costului de producție, stocare și transport, respectiv o creștere a fracțiunii taxelor. Prețul unitar al energiei electrice, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,1856 Euro / kWh, TVA inclus.

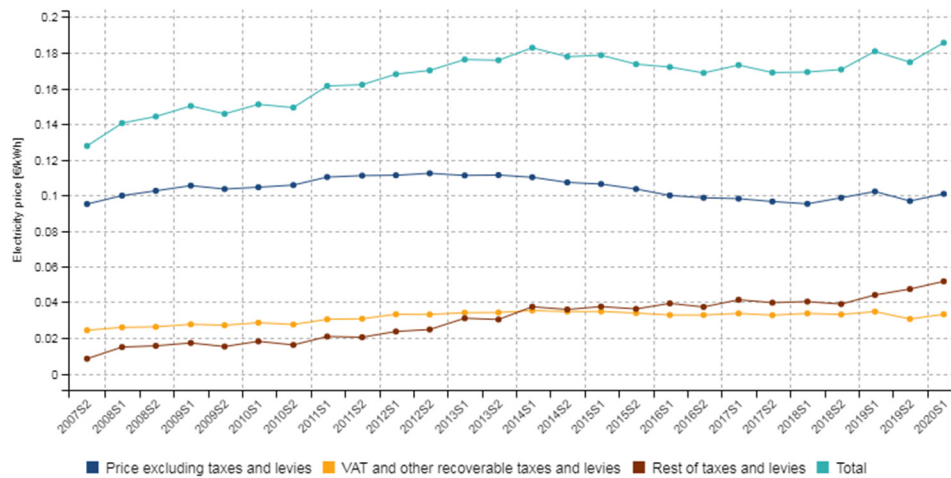


Figura 1.18 - Evoluție preț unitar energie electrică – Medie state membre UE [23]

În evoluția prețurilor unitare medii a energiei electrice în România se constată o creștere medie anuală de 0,85% utilizând datele din 13 ani avute la dispoziție. Prețul unitar al energiei electrice, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,1422 Euro / kWh, TVA inclus.

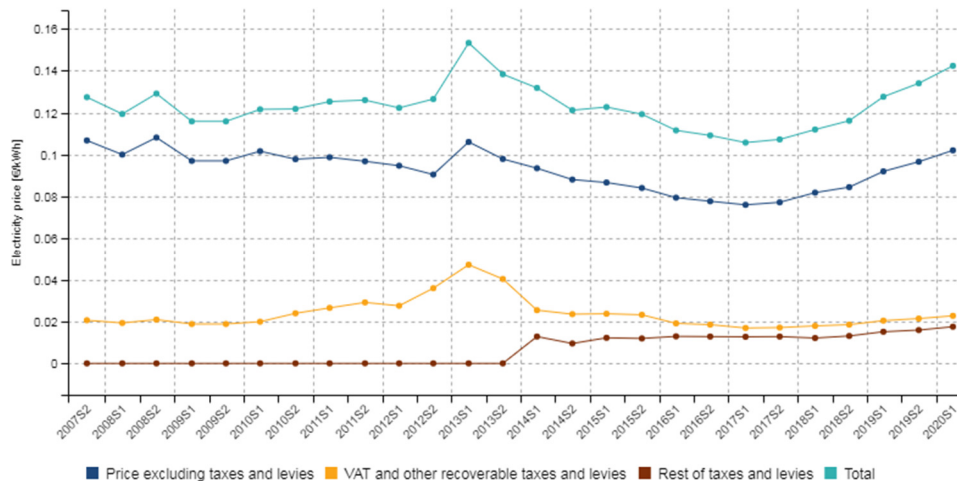


Figura 1.19 - Evoluție preț unitar energie electrică – România [23]

Comisia Europeană, prin studiul "EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050" [24] din 2013, după o creștere de 31% între anii 2010 și 2020 a prețului unitar mediu al energiei electrice în cadrul UE, estimează o evoluție constantă a prețului unitar pentru consumatorii non-casnici până în anul 2050.

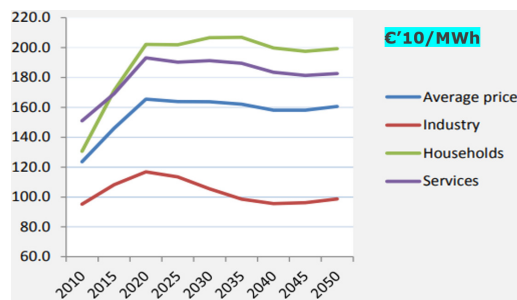


Figura 1.20 – Estimarea evoluției prețului unitar de energie electrică – UE [24]

1.3.4. Preț unitar gaze naturale

Evoluția prețurilor unitare medii a gazelor naturale în țările membre UE, pentru consumatorii casnici care se încadrează în consumul anual de 200 GJ, a cunoscut o variație constantă, conform datelor statistice Eurostat [23]. Datele arată scăderea constantă a prețului în prima jumătate a anului, respectiv creșterea constantă în a doua jumătate. Evoluția costului unitar pe baza datelor din 13 ani avute la dispoziție arată o creștere medie anuală de 2%. În ceea ce privește alcătuirea costului unitar, se constată variația constantă a costului de producție, stocare și transport, respectiv o creștere ușoară a fracțiunii taxelor. Prețul unitar al gazelor naturale, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,0656 Euro / kWh, TVA inclus.

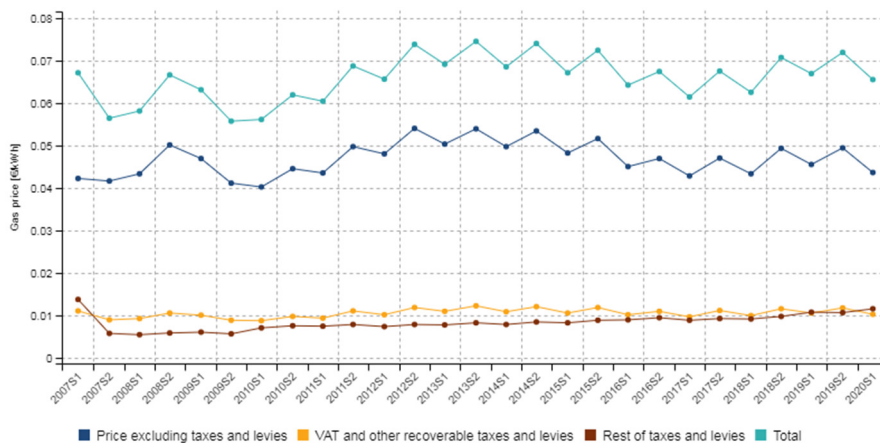


Figura 1.21 - Evoluție preț unitar gaze naturale – Medie state membre UE [23]

În evoluția prețurilor unitare medii a gazelor naturale în România se constată o creștere constantă până în anul 2017 când s-au eliminat o parte din taxe, respectiv o scădere ușoară a prețului unitar din 2018. Raportat la perioada de 13 ani de date, variația prețului unitar a cunoscut punctul minim în anul 2009 iar în anul

18 Tendințe globale în domeniul energiei - 1.3

2020 a revenit la nivelul anului 2007. Prețul unitar al gazelor naturale, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,0324 Euro / kWh, TVA inclus.

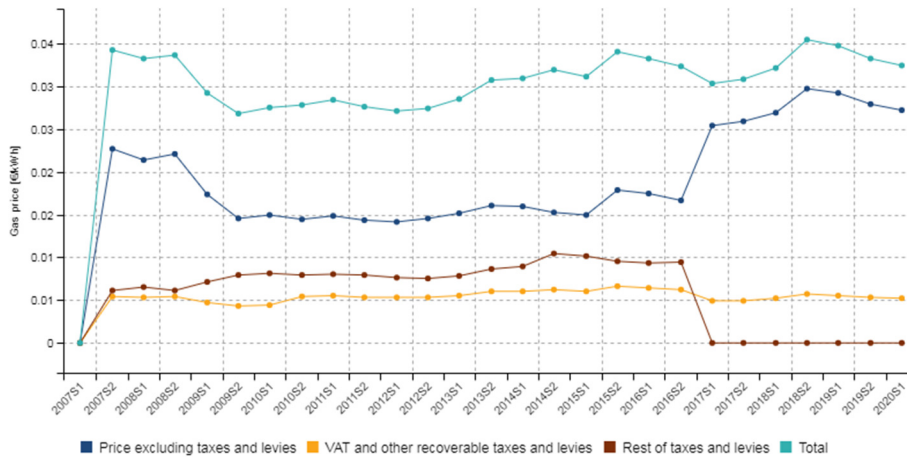


Figura 1.22 - Evoluție preț unitar gaze naturale – România [23]

Estimările Băncii Mondiale [25] în privința evoluției prețului unitar al gazelor naturale în Europa, între anii 2020 și 2030 implică o creștere medie anuală de 2%.

Tabelul 1.9 - Estimare evoluție preț unitar gaze naturale – Europa [25]

Commodity	Unit	Forecasts							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
Energy									
Coal, Australia	\$/mt	79.0	71.0	69.8	68.6	67.5	66.4	65.3	60.0
Crude oil, avg	\$/bbl	60.0	58.0	59.1	60.2	61.4	62.5	63.7	70.0
Natural gas, Europe	\$/mmbtu	4.5	4.5	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6	7.0
Natural gas, US	\$/mmbtu	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	4.0
Natural gas LNG, Japan	\$/mmbtu	10.7	10.0	9.8	9.7	9.5	9.4	9.2	8.5

Estimările Ministerului Energiei prin Strategia Energetică a României 2019-2030, cu perspectiva anului 2050 [22] în privința evoluției prețului unitar al gazelor naturale în România, între anii 2020 și 2030 implică o creștere medie anuală de 2,8%.

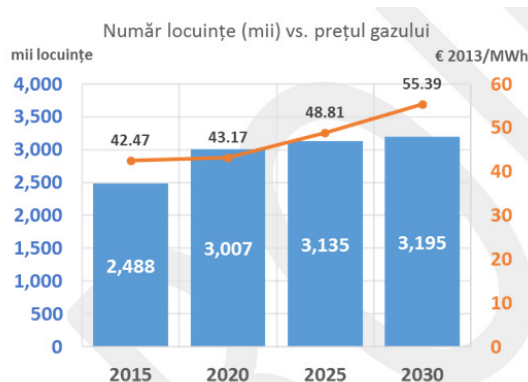


Figura 1.23 – Estimare evoluție preț unitar gaze naturale – România [22]

1.4. Eficiența energetică a clădirilor

1.4.1. Performanța energetică a clădirilor de învățământ

Erhorn et al. [26] au realizat un studiu privind performanța energetică a trei clădiri de învățământ din Germania care au fost construite în așa fel încât consumul total de energie primară a acestora să fie mai mică decât producția de energie electrică la nivelul clădirii din surse regenerabile. Autorii au prezentat soluțiile tehnice adoptate (anvelopă etanșă cu rezistențe la transfer termic ridicate, sisteme de umbrire, surse termice cu randament ridicat, ventilare cu recuperare de căldură) pentru obținerea unui consum de energie scăzut, respectiv sistemele de panouri fotovoltaice și sisteme eoliene de producere a energiei electrice. Valorile calculate pentru una din clădiri au fost comparate cu valorile contorizare. Rezultatele au arătat că în cazul consumurilor, valorile contorizate (43,13 kWh/m²an) sunt de două ori mai mari decât cele calculate (23,6 kWh/m²an), iar în cazul producției panourilor fotovoltaice, cele două valori sunt aproape identice (18 kWh/m²an).

Reiss et al. [27] au realizat un studiu similar prin analizarea proceselor de renovare majoră a cinci clădiri de învățământ aplicând aceleași soluții tehnice. Obiectivul a fost obținerea unor clădiri care generează mai multă energie decât consumă și astfel s-au obținut reduceri de necesar de energie finală de 57-87%. Măsurătorile realizate din clase au arătat că frecvența depășirii valorii de 1500 ppm a concentrațiilor de CO₂ a fost de doar 2%.

Lou et al. [28] prezintă conceptul unei clădiri de învățământ din Hong Kong care este alcătuită pe baza aceluiași principii precum cele două studii prezentate anterior. Diferența dintre acest studiu și celelalte două este necesarul mai mare de răcire în cazul clădirii conceptuale din Hong Kong datorită temperaturile exterioare mai ridicate.

1.4.2. Performanța energetică a anvelopei termice

Analiza caracteristicilor termotehnice a elementelor de anvelopă a clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero, prin prisma costului optim, a fost realizată de către Loukaidou et al. [29] în funcție de raportul A/V (arie totală anvelopă / volum) pentru trei zone climatice diferite. Concluziile lucrării arată o corelare între raportul A/V și rezistența termică necesară a elementelor de anvelopă astfel încât consumurile de energie ale clădirii să rămână scăzute. Astfel, rezultatele optime se obțin atunci când raportul A/V = 1.

Soluții inovative de anvelopă au fost studiate de Giovannetti et al. [30] prin utilizarea unor panouri solare verticale alcătuite din panouri de sticlă emailată și un schimbător de căldură, care ar putea să înlocuiască elementele clasice de anvelopă verticale vitrate sau opace. Radiația solară este utilizată pentru producerea de agent termic necesar clădirii.

Studiul realizat de Jokisalo et al. [31] urmărește determinarea etanșeității anvelopei clădirilor de locuit, prin determinarea prin măsurători a ratei de schimburi de aer pe oră, pentru diverse soluții constructive și de clasa de adăpostire. Valorile medii ale schimburilor de aer măsurate variază între 1,5 și 5,8 h⁻¹. Valorile cele mai scăzute s-au determinat pentru clădiri realizate cu pereți din zidărie cu blocuri de beton celular autoclavizat (BCA) iar valorile cele mai mari pentru soluții constructive din bușteni. Sursele principale de infiltrații necontrolate s-au descoperit la nivelul

intersecției planșeelor cu pereții, la acoperiș și pe perimetrul ferestrelor. În cazul clasei de adăpostire, etanșeitatea anvelopei este ridicată dacă în vecinătatea clădirii nu se află alte imobile sau obiecte.

1.4.3. Performanța energetică a instalațiilor clădirii

Utilizarea instalațiilor de ventilare cu recuperare de căldură în clădirile eficiente energetic au fost analizate de Rey-Hernández et al. [32] printr-un studiu de caz al unui sistem din dotarea unei clădiri educaționale cu consum de energie aproape egal cu zero. Instalația asigură încălzirea, răcirea și aportul de aer proaspăt al clădirii. Echipamentul este dotat cu un recuperator de căldură cu o eficiență de recuperare de 70% iar funcționarea acestuia este condiționată de senzori de CO₂. Prin automatizarea funcționării instalației și în funcție de ocuparea discontinuă, numărul de ore de utilizare reală reprezintă o treime din timpul total și astfel consumurile anuale de energie electrică obținute a instalației de ventilare au fost de 2,11 kWh/m²an.

Impactul instalării unui sistem fotovoltaic integrat într-o clădirile de cercetare cu consum de energie aproape egal cu zero au fost analizate de Lee et al. [33]. Sistemul integrat are o putere instalată de 116 kW, respectiv o suprafață de captare de 1178 m² și s-a aplicat pe pereții, ferestrele, atriumul și acoperișul clădirii cu suprafață de 2500 m². În urma monitorizării consumurilor și producției de energie a primului an de utilizare, cele două valori sunt aproape identice.

Katzin et al. [34] au realizat un studiu privind dotarea clădirilor cu corpuri de iluminat echipate cu surse LED în detrimentul lămpilor tubulare cu vapori de sodiu de înaltă presiune (HPS), pentru condițiile climatice exterioare a 15 locații. Prin folosirea surselor LED, media reducerii emisiilor de GHG a fost de 40%, dar în toate situațiile analizate necesarul de încălzire a fost mai ridicat datorită fluxurilor termice emise mai scăzute a surselor LED. În cazul consumurilor de energie finală, sursele HPS au avut un consum mai ridicat cu 15-25%, în funcție de climatul exterior.

1.4.4. Confortul interior și comportamentul utilizatorilor

Abdallah et al. [35] au realizat un studiu privind monitorizarea temperaturilor interioare și nivelurile de CO₂ ale unor săli de clasă din două clădiri de învățământ din Egipt, în intervalele orare 8-13. Ferestrele sălilor de clasă sunt de slabă calitate și neetanșe dar sunt dotate cu sisteme de umbrire. În cazul clădirii care nu este umbrită de imobile vecine și la care ventilarea se realizează natural organizat pe durata cursurilor, frecvența depășirii valorii de confort a temperaturii interioare este de 60%. În cazul clădirii care este în apropierea altor imobile și la care ventilarea se realizează parțial mecanizat, frecvența depășirii valorii de confort a temperaturii interioare este de 7%. Nivelurile măsurate de CO₂ depășesc valoarea de 1000 ppm în intervale de timp nesemnificative din cauza ventilării natural organizate sau parțial mecanice pe întreg parcursul cursurilor.

Gecova et al. [36] au investigat influența ocupării umane asupra microclimatelor din interiorul unei săli de clasă, din punct de vedere al aporturilor interne de căldură, emisiilor interne de CO₂ și de umiditate. Măsurătorile au fost realizate între intervalele orare 9-11, cu un număr de 18 ocupanți și fără utilizarea ventilării. Nivelul de CO₂ măsurat a fost de 2200 ppm după o singură oră de utilizare și a început să coboare doar după ora 11, când s-au deschis ferestrele și ușile. Din punct de vedere al umidității, valorile măsurate (35-45%) s-au încadrat în limitele

confortului interior. Frecvența supraîncălzirii temperaturii interioare pe perioada realizării monitorizării nu a fost relevantă datorită temperaturilor exterioare reduse.

Nivelurile de radon dintr-o clădire de învățământ reabilitată din Portugalia au fost analizate de Curado et al. [37]. Clădirea nu este dotată cu instalații permanente de încălzire, răcire sau de ventilare mecanică. Ventilarea se realizează natural organizat prin deschiderea regulate a ferestrelor iar în cazul unor temperaturi exterioare scăzute pe perioada iernii, încălzirea locală se realizează cu ajutorul unor radiatoare electrice. În urma măsurărilor realizate, nivelul maxim admis de expunere la radon de 300 Bq m^{-3} este depășit în 46% din zonele de măsurare.

1.4.5. Modele numerice și date monitorizate

Loreti et al. [38] au realizat un studiu privind determinarea performanței energetice a unei clădiri de învățământ construită în variantă tradițională propusă spre reabilitare termică, prin calcul numeric automat în regim dinamic. Soluțiile tehnice de reabilitare vizează intervenții la nivelul tâmplăriei exterioare, termoizolarea planșeelor exterioare și instalarea sistemelor de ventilare cu recuperare de căldură. Rezultatele analizei pentru implementarea soluțiilor de reabilitare a anvelopei termice arată o scădere a consumului de energie finală pentru perioada de încălzire cu 44%.

Bernardo et al. [39] au analizat efectele îmbunătățirii performanței unui sistem de ventilare mecanizată într-o clădire de învățământ, utilizând un model numeric calibrat. Scopul principal al realizării studiului a fost faptul că în realitate funcționarea zilnică a instalației de ventilare s-a limitat la 4 ore din considerente financiare. În cazul simulării utilizării clădiri în condițiile inițiale, diferențele dintre consumurile calculate și contorizate au fost de doar 1%. Unul dintre scenariile propuse de reglare a funcționării instalației de ventilare îmbunătățește consumurile de energie cu 4% și prelungeste durata de utilizare la 9 ore.

1.4.6. Evaluarea ciclului de viață

Sartori et al. [40] și Rossi et al. [41] au investigat ciclurile de viață a clădirilor rezidențiale și nerezidențiale din nouă țări diferite, din punct de vedere al consumurilor de energie, în toate fazele de implementare și utilizare. Deși clădirile analizate prezintă diferențe privind climatul în care sunt amplasate sau particularități tehnice, consumurile de energie din etapa de utilizare reprezintă fracțiunea predominantă în toate situațiile.

Scheuer et al. [42] au realizat un studiu privind impactul asupra mediului a unei clădiri cu funcțiuni mixte dintr-un campus universitar din SUA. Categoriile de impact analizate au fost: potențialul de încălzire globală, potențialul de epuizare a ozonului, potențialul de acidifiere, potențialul de nutrifiere și generarea de deșeuri solide. Ciclul de viață considerat include producția de materiale, transportul acestora pe amplasament, punerea acestora în operă, utilizarea clădirii timp de 75 de ani, demolarea și transportul deșeurilor. Din punct de vedere al consumului de energie primară, etapele de construire (2,2%), de demolare (0,2%) și de utilizare a apei menajare (3,3%) reprezintă fracțiuni minore din totalul ciclului de viață. Fracțiunea predominantă este alcătuită din consumurile de energie primară a instalațiilor termice, ventilare și iluminat (94,4%). Autorii arată că toate categoriile de impact analizate sunt corelate îndeaproape cu consumurile de energie primară.

Kofoworola et al. [43] au realizat un studiu similar pentru o clădire de birouri din Thailanda, în care durata de viață considerată a fost de 50 de ani iar

categoriile de impact analizate au fost potențialul de încălzire globală, potențialul de acidifiere și potențialul de formare de photo-oxidanți. Din faza de construcție, elementele de oțel și beton reprezintă fracțiunile predominante a potențialul de încălzire globală (24% și 47%). Autorii atrag atenția asupra necesității de dezvoltare a bazelor de date de sisteme și componente pentru construcții pentru a putea defini modele de calcul mai precise și cu încredere ridicată.

1.5. Motivația și obiectivele cercetării

Proiecțiile studiilor de mediu arată că influențele negative actuale ale societății moderne asupra climatului global nu sunt sustenabile și trebuie întreprinse acțiuni imediate pentru a evita atingerea unei stări iremediabile. Efectele acțiunilor umane (aglomerări urbane, creștere industrială exponențială, utilizare excesivă a resurselor naturale), se resimt în categorii precum: climă, ecosisteme și oceane. Aceste efecte sunt deja vizibile prin creșterea temperaturilor medii globale, creșterea densității fenomenelor meteo extreme, dispariția unor specii de animale, creșterea nivelului oceanelor, diminuarea recifurilor de corali. Industria construcțiilor, prin ramurile sale (producție, execuție, utilizare), reprezintă o fracțiune semnificativă a acestor efecte.

Strategiile recente de reducere a influențelor negative ating toate subdomeniile construcțiilor. Astfel, politicile globale și legislația recentă au stabilit priorități și direcții precum: reciclarea materialelor de construcție, utilizarea materialelor locale și ecologice, re tehnologizarea proceselor de fabricare, utilizarea energiei regenerabile, reabilitarea energetică a fondului construit existent și construirea clădirilor eficiente energetic. Îndeplinirea obiectivelor de reducere a efectelor dăunătoare depinde într-o proporție ridicată de aplicarea principiilor sustenabile de către majoritatea practicantilor. Factorii decizionali și specialiștii în domeniul construcțiilor au datoria să contribuie la protejarea mediului înconjurător.

În România, aplicarea principiilor sustenabile în procesele specifice construcțiilor este încă într-o fază incipientă. Deși legislația națională a preluat principiile sustenabile ale Directivelor Europene, aplicarea prevederilor acestora în practica curentă este departe de a fi implementată pe scară largă. Realizarea unui proiect-pilot care să poată fi utilizat ca un exemplu de bune practici atât din punct de vedere al economiei de energie cât și din punct de vedere al îmbunătățirii calității fondului construit reprezintă motivația principală a prezentei lucrări.

Sintetizarea obiectivelor principale ale prezentei teze cuprinde:

- Realizarea unui proiect-pilot de clădiri de învățământ eficientă energetic atât la nivel de proiectare, cât și la nivel de execuție.
- Determinarea consumurilor de energie teoretice în conformitate cu metodologia națională de calcul, încadrarea acestora în clase energetice definite de standarde naționale și internaționale, respectiv compararea acestora cu cele ale unor clădiri de referință.
- Implementarea unui sistem de monitorizare complex de măsurare a parametrilor ce definesc performanța energetică a clădirii și confortul interior.
- Procesarea datelor înregistrate de sistemul de monitorizare privind consumurile reale de energie a clădirii, compararea acestora cu valorile teoretice calculate și identificarea surselor diferențelor.
- Evaluarea ciclului de viață al clădirii de învățământ.
- Propunerea de modificări ale legislației și metodologiilor de calcul existente în baza rezultatelor cercetării.

1.6. Prezentarea generală a tezei de doctorat

Prezenta teză de doctorat este structurată în șapte capitole principale și șapte anexe însumând un număr total de 291 pagini. Activitatea de cercetare prezentată în teză s-a realizat pentru a continua studiile în domeniul performanței energetice a clădirilor în scopul obținerii unui fond construit eficient din punct de vedere al consumurilor energetice. Obiectivul principal al tezei îl constituie analizarea și propunerea unor soluții eficiente energetic pentru o clădire de învățământ, evaluarea performanței energetice a acesteia prin metode de calcul avansate și validarea performanțelor prin monitorizarea consumurilor reale în timp. Parametrii ce definesc comportarea din punct de vedere energetic a clădirii sunt urmăriți în timp real de către un sistem complex de monitorizare propus. Metodologia de calcul națională tratează diferențiat clădirile cu altă destinație decât cea de locuit definind cinci categorii principale (birouri, spații comerciale, învățământ, sănătate și turism). Prezenta lucrare se referă la clădirile de învățământ.

Capitolul 1 prezintă aspecte generale privind consumurile de energie a industriei construcțiilor, cadrul legislativ existent, tendințe globale în domeniul energetic și al costurilor unitare de energie, stadiul existent al cercetării în domeniu, motivația respectiv obiectivele prezentei lucrări și o prezentare generală a tezei.

În capitolul 2 au fost menționate aspectele generale privind metodologiile de calcul existente la nivel național și internațional, standardele de performanță energetică existente și viitoare ale clădirilor, respectiv sistemele de monitorizare existente în studiile de specialitate.

Capitolul 3 prezintă în detaliu aspecte referitoare la o situație reală de proiectare a unei clădiri de învățământ cu eficiență energetică ridicată. Sunt incluse aspecte privind conceptul clădirii în fază de proiectare și execuția acesteia, menționând soluțiile tehnice adoptate pentru elementele de anvelopă și instalațiile acesteia.

Capitolul 4 conține calculul detaliat în regim staționar al consumurilor energetice și emisiilor de CO₂ ale clădirii propuse, respectiv încadrarea acestora în clase energetice în conformitate cu cerințele tehnice ale standardelor naționale actuale și viitoare.

Capitolul 5 prezintă în detaliu conceptul, subsansamblurile și scopul sistemului de monitorizare, respectiv aspecte privind măsurătorile și activitatea de control al calității realizate în timpul execuției lucrărilor.

Capitolul 6, conține evaluarea ciclului de viață (50 ani) a clădirii analizate și a altor două variante de clădiri, din punct de vedere al consumurilor de energie finală și primară, al impactului asupra mediului (prin emisiile de CO₂ din etapa de execuție și exploatare) și al costurilor globale.

Capitolul 7 sintetizează concluziile principale deduse din activitatea de cercetare și studiile realizate în cadrul prezentei teze.

Anexele conțin date și informații suplimentare prezentate prin figuri și sub formă tabelară. Aceste date sunt utile pentru analize de specialitate, autorul tezei apreciind că prin punerea la dispoziție în mod transparent a acestora concluziile tezei sunt susținute, putând fi convingătoare pentru viitoare decizii de realizare a unor investiții similare. Anexa 1 cuprinde planuri, secțiuni și fațade de arhitectură respectiv planuri și scheme funcționale ale tuturor instalațiilor clădirii. Anexa 2 prezintă caracteristicile termotehnice a principalelor materiale utilizate, Anexa 3

conține detalii ale tâmplărilor exterioare iar Anexa 4 include repartizarea elementelor de anvelopă în funcție de orientarea cardinală. Anexa 5 cuprinde tabele de calcul care conțin parametrii utilizați pentru determinarea consumurilor energetice prezentate în Capitolul 4 iar Anexa 6 prezintă planuri, detalii, scheme și tabel centralizator al componentelor sistemului de monitorizare. Anexa 7 conține tabelele de calcul al evoluției în timp a consumurilor de energie finală, energie primară, emisii de CO₂ și componentele costului global.

2. PERFORMANȚA ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR

2.1. Tipuri de metodologii de calcul

La nivel mondial, fiecare țară reglementează propriile metodologii de calcul și cerințele performanței energetice a clădirilor, în funcție de specificul zonelor climatice în care se află, în funcție de disponibilitatea surselor de energie și în funcție de contextul economic regional.

La nivelul Uniunii Europene (UE), statele membre au procedat la adaptarea principiilor date de Directive Europene în reglementările tehnice naționale dar cu posibilitatea stabilirii unor parametri de calcul prin anexe naționale, în funcție de aspecte specifice locale. Astfel, se urmărește armonizarea principiilor de reglementare la nivel continental.

Tabelul 2.1 - Reglementările naționale în domeniul clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero, a statelor membre UE [44]

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	nZEB definition for new buildings		Share of renewable energy	Other indicators
			Public	Non-public			Maximum primary energy [kWh/m ² y]			
							Residential buildings	Non-residential buildings		
Italy	Still to be approved (under publication)	Draft of the new EPBD decree	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]		Quantitative	EP, TS
Latvia	✓	Regulation 383/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	95	95	✓ Quantitative	EP
Lithuania	✓	Regulation STR 2.01.09 :2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A++		✓ Quantitative	EP
Luxembourg	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A-A-A		✓ Qualitative	EP, CO ₂
Malta	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Current values to be revised	40	60	Qualitative	EP
Netherlands	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with energy performance coefficient = 0		✗	EP
Norway	Under development	Presentation by Research Centre on Zero Emission Buildings	1/01/2021	1/01/2021	✓	Under development			Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator), EP, TS
Poland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	60-75 [2]	45-70 [2]	✗	
Portugal	Under development	Law 118/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	In current requirements for buildings			✗	
Romania	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	93-217 [2,3]	50-192 [2,3]	✓ Quantitative	CO ₂
Slovakia	✓	Decree 364/2012	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	32-54 [2]	34-96 [2]	✓ Quantitative	EP
Slovenia	Still to be approved	Official Journal 17/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	45-50 [2]	70	Under development	EP
Spain	Under development	Decree 235/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	Included in the calculation; it is foreseen that buildings will need to comply with class A		Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator)
Sweden	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	30-75 [2,3]	30-105 [2,3]	✗	
UK (England)	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan, presentation by Zero Carbon Hub	1/01/2018 (from 2016 for residential buildings) [9]	1/01/2019 (from 2016 for residential buildings) [9]	✓	✓	- 44 [2]	ND	✓ Qualitative	CO ₂ (main indicator), EP, TS
							Included in the calculation; building will need to comply with carbon emissions - 0			

Metodologiile de calcul naționale ale performanței energetice a clădirilor a statelor membre UE sunt în principal bazate pe principii de calcul în regim staționar, prin metode sezoniere sau lunare. Calculul în regim dinamic, care implică utilizarea unor programe de calcul avansate de către personal specializat, se utilizează în mod curent în aplicații speciale (de exemplu la clădiri cu volumetrie atipică sau regim special de exploatare) sau atunci când investitorii doresc un nivel de evaluare mai precis decât nivelul minim cerut prin reglementările tehnice.

În ceea ce privește nivelurile minime de performanță ale clădirilor noi proiectate, fiecare stat membru are libertatea de a stabili propriile cerințe tehnice, atâta timp cât obiectivele generale regionale de reducerea a emisiilor de gaze cu efect de seră sunt îndeplinite. Un exemplu de astfel de diferențe se poate remarca la categoria necesarului maxim de energie primară a clădirilor nerezidențiale, în funcție de zonele climatice și clădiri de referință. În cazul Poloniei, aceste valori maxime sunt 45-70 kWh/m²an iar în cazul României sunt 50-192 kWh/m²an [44].

Pe lângă standardele naționale reglementate, s-au dezvoltat în timp și alte tipuri de metodologii dar care sunt în principiu opționale. Astfel de concepte (BREEAM [45] și LEED [46]) urmăresc obținerea unor clădiri sau investiții sustenabile în prisma unei multitudini de factori, din care eficiența energetică reprezintă doar o anumită fracțiune. Alte categorii care sunt luate în considerare sunt: ciclul de viață, confort vizual, accesibilitate, acustică, calitatea apei, transport public, utilizarea materialelor ecologice și locale, gestionarea deșeurilor, ocuparea terenului, poluare, etc [45][46]. În ceea ce privește standardele dedicate eficienței energetice și a confortului interior, conceptul de Casă Pasivă [47] este cel mai cunoscut și utilizat standard. Această abordare implică maximalizarea utilizării resurselor de calcul pentru obținerea unui rezultat cât mai eficient și precis.

Sistemul de aplicare a metodologiilor alternative conțin și componente de certificare prin care se validează respectarea prevederilor acestor standarde de către organizații specializate [48]. Beneficiile certificării clădirilor construite în standarde sustenabile sunt: încredere ridicată în respectarea cerințelor, crearea de baze de date a astfel de clădiri și promovarea sustenabilității. Aplicarea soluțiilor sustenabile sunt parțial promovate de către autoritățile publice locale, prin facilități fiscale de impozitare în cazul obținerii unui anumit nivel de certificare [49].

2.2. Metodologia de calcul națională

În România, calculul performanței energetice a clădirilor se realizează în conformitate cu Mc 001/2006 [20] care este alcătuită din șase părți:

- Partea I – Anvelopa clădirii (2006)
- Partea a II-a – Performanța energetică a instalațiilor aferente clădirii (2006)
- Partea a III-a – Auditul și certificatul de performanță a clădirii (2006)
- Partea a IV-a – Breviar de calcul al performanței energetice a clădirilor și a apartamentelor (2009)
- Partea a V-a – Model certificat de performanță energetică a apartamentului (2009)
- Partea a VI-a – Parametrii climatici necesari determinării performanței energetice a clădirilor noi și existente, dimensionării instalațiilor de climatizare a clădirilor și dimensionării higrotermice a elementelor de anvelopă ale clădirilor (2013)

Elaborarea metodologiei din 2006 s-a realizat în baza prevederilor Legii 372/2006 [8] și ca o continuare a reglementării tehnice C107 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, părțile 1-7 [50]. Prin Ordinul MDRAP nr. 2641 din 2017 [51], metodologia de calcul este modificată și completată cu prevederile Legii 159/2013 [9] și Legii 156/2016 [10] privind adaptarea legislației naționale la principiile impuse de Directivele 2010/31/UE [4] și 2012/27/EU [6]. Adaptarea reglementării C107 [50] cu prevederile prezentate anterior s-a realizat prin Ordinul MDRAP nr. 386 din 2016 [52]. Legea 101/2020 [11] reprezintă ultima modificare a Legii 372/2006 [8] până la data redactării prezentei lucrări, prin care se adoptă principiile impuse de Directiva 2018/844/UE [7]. Suplimentar, parcurgerea procedurilor de calcul implică utilizarea unor standarde privind performanța termică a clădirilor precum: SR EN ISO 13789 [53] și SR EN ISO 13790 [54].

2.2.1. Principii de calcul

Metodologia dezvoltă proceduri de calcul în regim staționar pentru determinarea consumurilor energetice a instalațiilor clădirilor (încălzire, apă caldă menajeră, răcire, ventilare mecanică și iluminat). Pentru fiecare tip de instalație, există posibilitatea evaluării în regim de funcționare continuă sau cu intermitență. Metodele utilizate, cu grade diferite de precizie, sunt de tip sezonier, lunar sau orar. În mod curent, metoda sezonieră este cea mai utilizată pentru cazul evaluării realizate fără ajutorul programelor de calcul automate.

Obiectul principal al alcătuirii formei originale a metodologiei sunt apartamentele din blocuri de locuit realizate din panouri mari prefabricate. Astfel, exemplele de calcul, procedurile de calcul simplificate și exemplele de valori ale parametrilor utilizați în metodologie sunt cele mai dezvoltate pentru această categorie.

Metodologia dezvoltă, în principal, tipologii de calcul calitative (de exemplu coeficient global de izolare termică) și cantitative (consumuri de energie). În ceea ce privește performanțele, sunt stabilite valori limită ale componentelor (rezistențe la transfer termic elemente de anvelopă) și ale rezultatelor globale (consum de energie primară). Valorile maxime pentru aceste categorii în cazul clădirilor de învățământ sunt prezentate în Figurile 2.2 și 2.3. Rezultatele procedurilor de calcul sunt exprimate în energie finală, energie primară și emisii de CO₂. Factorii de conversie între acești trei tipuri de rezultate sunt prezentate în Cap. 1.

Tabelul 2.2 – Valori coeficienți de control clădiri de categoria 2 [55]

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m ² K/W]	b [m ² K/W]	c [m ² K/W]	d [W/mK]	e [m ² K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,50	4,00	2,00	1,40	0,69
	II	1,60	4,50	2,30	1,40	0,69
	III	1,70	5,00	2,60	1,40	0,69
	IV	1,70	5,00	2,60	1,40	0,69
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,50	4,00	2,00	1,40	0,50
	II	1,60	4,50	2,30	1,40	0,50
	III	1,70	5,00	2,60	1,40	0,50
	IV	1,70	5,00	2,60	1,40	0,50

Tabelul 2.3 – Consumul anual specific maxim de energie primară pentru încălzirea clădirilor nerezidențiale [56]

Clădire nerezidențială	Consumul anual specific maxim al energiei primare $q_{an,max}$ [kWh/m ² an]
Clădire de birouri	60
Spațiu comercial	101
Clădire de învățământ	123
Clădire pentru sănătate	149
Clădire pentru turism*)	81

2.2.2. Clasificare performanțe energetice clădiri

Consumurile de energie finale determinate pentru clădiri (kWh/m²an) sunt încadrate în grile de clasificare energetică, în funcție de fiecare tip de consum specific și în funcție de consumul total. Astfel, sunt definite clasele energetice A ... G, care definesc intervale de consum specific. Pentru fiecare tip de consum sunt definite intervale specifice diferite. Grila de încadrare a consumului total se obține pentru fiecare clădire în parte, în funcție de numărul și tipurile de instalații cu care sunt dotate.

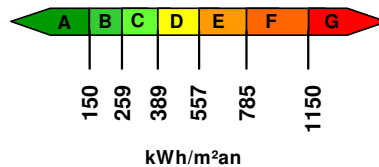


Figura 2.1 – Grilă de încadrare consum total clădiri dotate cu toate cele cinci tipuri de instalații [57]

Suplimentar, se definește notarea energetică a clădirilor care oferă o caracterizare a consumurilor totale în funcție de un coeficient de penalizare (p_o). Penalizările acordate clădirilor țin cont de deficiențele de întreținere și exploatare a clădirii care au consecință utilizarea nerațională a energiei. Notarea energetică este un termen care se utilizează pentru definirea unei clasificări care ține cont atât de consumuri specifice cât și de modul de utilizare a clădirii. În cazul clădirilor noi, efectele întreținerii și exploatării necorespunzătoare nu sunt luate în considerare și astfel $p_o = 1,00$.

În practică, notarea energetică este un parametru care nu se utilizează în mod curent de către factorii decizionali. Investitorii, proprietarii și ordonatorii de credite utilizează doar încadrarea consumurilor clădirii în clase energetice ca și criteriu de îndeplinire a obiectivelor sau de fundamentare a deciziilor de finanțare.

Metodologia definește sintetic termenul de clădiri ale căror consum de energie este aproape egal cu zero (nZEB), prin stabilirea valorilor maxime admise pentru consumul de energie primară totală și ale emisiilor de CO₂ în funcție de destinația clădirilor, zone climatice în care sunt amplasate și perioada de proiectare.

Tabelul 2.4 – Valori limită maxim admise ale energiei primare totale și ale emisiilor de CO₂ pentru nZEB [58]

Zona climatică ^{*)}	Orizont	CATEGORII DE CLĂDIRI									
		CLĂDIRI DE LOCUIT INDIVIDUALE		CLĂDIRI DE LOCUIT COLECTIVE		CLĂDIRI DE BIROURI		CLĂDIRI DESTINATE ÎNVĂȚĂMÂNTULUI		CLĂDIRI DESTINATE SISTEMULUI SANITAR	
		Energie primară [kWh/m ² an]	Emisii CO ₂ [kg/m ² an]	Energie primară [kWh/m ² an]	Emisii CO ₂ [kg/m ² an]	Energie primară [kWh/m ² an]	Emisii CO ₂ [kg/m ² an]	Energie primară [kWh/m ² an]	Emisii CO ₂ [kg/m ² an]	Energie primară [kWh/m ² an]	Emisii CO ₂ [kg/m ² an]
I (-12°C)	2015	131	36	105	28	75	21	115	28	135	37
	31.12.2018	115	31	100	25	50	13	100	25	79	21
	31.12.2020	98	24	93	25	45	12	92	24	76	21
II (-15°C)	2015	147	42	112	30	93	27	135	37	155	43
	31.12.2018	121	34	105	28	57	15	120	25	97	27
	31.12.2020	111	30	100	27	57	15	115	30	97	26
III (-18°C)	2015	172	48	130	36	110	28	154	39	171	49
	31.12.2018	155	41	122	34	69	19	136	37	115	32
	31.12.2020	145	40	111	30	69	19	136	37	115	32
IV (-21°C)	2015	226	57	152	38	107	28	192	56	190	55
	31.12.2018	201	51	144	40	89	24	172	48	149	42
	31.12.2020	189	42	127	35	83	24	170	49	142	41
V (-24°C)	2015	248	78	178	48	127	29	210	58	214	58
	31.12.2018	229	57	152	38	98	28	192	56	174	49
	31.12.2020	217	54	135	37	89	24	185	53	167	48

2.2.3. Calcul numeric automat

Modelarea bilanțului și performanței energetice a clădirilor se poate realiza cu ajutorul unor programe de calcul automate, atât în regim staționar cât și în regim dinamic. În România, există o serie de asemenea programe dedicate care sunt realizate în conformitate cu metodologia de calcul națională [20] pentru eliberarea automată a certificatelor energetice cerute prin Legea 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor [8] precum: Dosec-Pec [59], AllEnergy® Software [60], TermoExpert [61] și Certificat-Energetic [62]. Nemetschek a dezvoltat un modul de calcul automat [63] integrat în cadrul programului Allplan BIM (Building Information Modeling) astfel încât volumetria și caracteristicile materialelor clădirii analizate pot fi preluate automat din modelul 3D a acesteia.

În ceea ce privește modelarea în regim dinamic, Energy Plus [64] și TRNSYS [65] sunt programele de calcul cele mai cunoscute și utilizate, care pot simula bilanțul energetic. Aceste programe utilizează interfețe de lucru grafice în care clădirile sunt modelate în format 3D iar determinarea comportării energetice a acestora se face prin realizarea unor calcule orare și prin variația orară a parametrilor de calcul, care în regim staționar sunt considerate constante. Condițiile mediului exterior (temperatură, intensitate radiație solară, viteza vântului), mediului interior (temperatură, aporturi interne) și parametrii de funcționare a instalațiilor (randament, coeficienți de performanță, pierderi) sunt simulate la fiecare interval orar, astfel determinându-se comportarea energetică a clădirii cu o precizie mai ridicată decât în cazul calculului în regim staționar.

2.2.4. Propunere de modificare a metodologiei de calcul

În urma transpunerii în Legea 372/2005 a Directivei privind Performanța Energetică a Clădirilor EPBD 2010/31/EU [4], a Directivei 2018/844/EU [7] și a Planului național de acțiune în domeniul eficienței energetice aprobat prin HG nr. 122/25.02.2015 [66], Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice (MDRAP) [67] a contractat o echipă condusă de Universitatea Tehnică de Construcții București (UTCB) [68] pentru revizuirea metodologiei Mc 001/2006 [20]. Procesul de revizuire nu a fost finalizat în momentul analizării documentului în prezenta teză,

astfel analiza s-a realizat pe varianta de anchetă publică "Redactarea a II-a – faza a II-a, revizia 5 – septembrie 2019" [69].

Propunerea de modificare a metodologiei dezvoltă principiile impuse prin Directivele EU privind îmbunătățirea cerințelor de performanță energetică a clădirilor (prin majorarea rezistențelor minime la transfer termic a elementelor de envelopă, prin micșorarea consumurilor maxime de energie primară) respectiv prin definirea termenului de clădire al cărei consum de energie este aproape egal cu zero (nZEB). Se dezvoltă, de asemenea, procedurile de calcul pentru determinarea consumurilor de energie din surse convenționale și regenerabile a instalațiilor clădirii (răcire, ventilare mecanică), se prezintă o lista transparentă a reglementărilor tehnice aplicate și se pun la dispoziție mai multe date despre parametrii utilizați în calcul (aporturi interne, umbrire).

Nivelul minim propus de izolare termică pentru clădiri nerezidențiale se face diferențiat în funcție de destinație, zona climatică în care sunt amplasate și categoria clădirii, dar cu valori superioare față de prevederile metodologiei actuale. Diferențele cele mai accentuate se remarcă la nivelul cerințelor minime ale planșeelor peste ultimul nivel și ale tâmplărilor exterioare.

Tabelul 2.5 – Propunere valori coeficienți de control clădiri de categoria 2 [69]

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m ² K/W]	b [m ² K/W]	c [m ² K/W]	d [W/mK]	e [m ² K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,50	4,00	2,00	1,40	0,77
	II	1,55	4,50	2,30	1,40	0,77
	III	1,60	5,00	2,60	1,40	0,77
	IV	1,65	5,50	2,65	1,40	0,77
	V	1,70	6,00	2,70	1,40	0,77
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,50	4,00	2,00	1,40	0,77
	II	1,55	4,50	2,30	1,40	0,77
	III	1,60	5,00	2,60	1,40	0,77
	IV	1,65	5,50	2,65	1,40	0,77
	V	1,70	6,00	2,70	1,40	0,77

Stabilirea clasei energetice a consumurilor de energie primară a fiecărui tip de instalație și total se propune să se realizeze după grile de încadrare diferite de metodologia actuală. În această variantă, valorile minime și maxime de încadrare sunt mai reduse și astfel impunându-se obținerea unor clădiri cu performanță energetică mai ridicată. Față de metodologia actuală, se definesc suplimentar niveluri de poluare (A ... G) pentru încadrarea emisiilor de CO₂ ale clădirilor, similar cu procedura de încadrare a consumurilor.

Tabelul 2.6 – Propunere clase energetice și de mediu pentru clădiri destinate învățământului [69]

Energie primară totală, kWh/(m ² an)														
Utilități tehnice	Clase energetice													
	A+	A		B		C		D		E		F		G
TOTAL	< 90	90	127	127	180	180	255	255	360	360	509	509	720	> 720
Încălzire	< 61	61	86	86	122	122	173	173	244	244	345	345	488	> 488
Răcire	< 6	6	9	9	13	13	18	18	25	25	36	36	51	> 51
Ventilare	< 10	10	14	14	20	20	29	29	41	41	58	58	82	> 82
ACC	< 2	2	3	3	5	5	7	7	9	9	13	13	19	> 19
Iluminat	< 10	10	14	14	20	20	29	29	41	41	57	57	81	> 81
Emisii de CO ₂ , kg/(m ² an)														
Emisii	Niveluri de poluare													
	A+	A		B		C		D		E		F		G
TOTAL	< 21	21	30	30	42	42	59	59	84	84	119	119	168	> 168

În cadrul metodologiei propuse se definește termenul de clădire al cărei consum de energie este aproape egal cu zero (nZEB) atât din punct de vedere conceptual cât și din punct de vedere tehnic.

Clădirile nZEB sunt definite de performanță energetică foarte ridicată, caracterizată de un consum de energie aproape egal cu zero care este acoperit în proporție de minimum 30% din surse regenerabile produsă la fața locului sau în apropierea clădirii.

Principiile tehnice care trebuie respectate pentru proiectarea clădirilor nZEB sunt:

- Dimensionarea elementelor de anvelopă astfel încât să se obțină nivelurile de izolare termică minime (Tabelul 2.7)
- Alcătuirea continuă a elementelor de anvelopă și minimalizarea punților termice $\Psi_m \leq 0,15 \text{ W/mK}$
- Utilizarea tâmplăriilor cu performanțe energetice ridicate și dotarea acestora cu dispozitive de umbrire
- Evaluarea elementelor de anvelopă la transferul de masă
- Verificarea stabilității termice prin calculul inerției termice
- Realizarea unei anvelope termice etanșe $n_{50} \leq 1,00 \text{ h}^{-1}$
- Implementarea instalațiilor de ventilare cu recuperare de căldură la care eficiența recuperării $> 75\%$ și eficiența electrică a echipamentului de ventilare $< 0,50 \text{ Wh/m}^3$

Tabelul 2.7 - Propunere valori medii U și R pentru elementele de anvelopă ale nZEB [69]

Elementele anvelopei clădirii	Valori medii	
	U W/(m ² K)	R m ² K/W
Pereți exteriori	0,25	4,00
Ferestre	1,00*	1,00
Acoperiș	0,12	8,33
Plășeu peste subsol neîncălzit/ Placa pe sol	0,33	3,03

Tabelul 2.8 - Propunere valori limită maxim admise ale energiei primare totale și ale emisiilor de CO₂ pentru nZEB [69]

Zona climatică	Orizont	CLĂDIRI DE BIROURI		CLĂDIRI DESTINATE ÎNVĂȚĂMÂNTULUI		CLĂDIRI DESTINATE SISTEMULUI SANITAR	
		Energie primară	Degajări CO ₂	Energie primară	Degajări CO ₂	Energie primară	Degajări CO ₂
		[kWh/m ² ,an]	[kg/m ² ,an]	[kWh/m ² ,an]	[kg/m ² ,an]	[kWh/m ² ,an]	[kg/m ² ,an]
I	31 dec. 2019	50	13	100	25	79	21
	31 dec. 2021	45	12	92	24	76	21
II	31 dec. 2019	57	15	120	35	97	27
	31 dec. 2021	57	15	115	30	97	26
III	31 dec. 2019	69	19	136	37	115	32
	31 dec. 2021	69	19	136	37	115	32
IV	31 dec. 2019	89	24	172	48	149	42
	31 dec. 2021	83	24	170	49	142	41
V	31 dec. 2019	98	28	192	56	174	49
	31 dec. 2021	89	24	185	53	167	48

Consumurile maxime propuse de energie primară a clădirilor nZEB sunt prezentate în Tabelul 2.8 și se diferențiază în funcție de destinație și zona climatică în care este amplasată. Respectarea cerințelor tehnice minime nu asigură încadrarea automată a consumurilor maxime admise, astfel soluțiile tehnice trebuie adaptate pentru fiecare clădire în parte în funcție de particularitățile acestora până la atingerea consumurilor impuse. Factorii de conversie și factorii de emisie a surselor de energie reprezintă parametrii importanți în determinarea consumurilor de energie primară și a emisiilor de CO₂. În consecință, alegerea sursei de energie influențează semnificativ rezultatele obținute.

Tratarea diferențiată a clădirilor noi proiectate față de prevederile nZEB în propunerea de modificare a metodologiei generează situații în care clădirile noi proiectate, a căror autorizație de construire se va emite după 31.12.2020, vor avea obligativitatea respectării standardului nZEB [8] dar se pot încadra în clasa energetică B sau C a consumurilor totale de energie primară. Astfel de situații se pot întâlni în cazul clădirilor de învățământ în zonele climatice III – V sau în cazul clădirilor destinate sistemului sanitar în zonele climatice IV – V.

Avantajele și îmbunătățirile propunerii de modificare a metodologiei actuale, față de varianta actuală, sunt reprezentate de transparența superioară și furnizarea de date suplimentare ale parametrilor utilizați pentru calculul consumurilor energetice a clădirilor. Pe de altă parte, complexitatea semnificativă a procedurilor de calcul și durata necesară pentru punerea acestora în practică pot să reprezinte un dezavantaj în ceea ce privește fezabilitatea aplicării pentru toate tipurile de clădiri prezentate în domeniului de aplicare a metodologiei. Complexitatea rezultată constrânge la utilizarea, în mod curent, a programelor de calcul numeric automat.

2.3. Standardul de Casă Pasivă

Clădirile proiectate și construite în standardul de Casă Pasivă sunt caracterizate prin eficiență energetică, confort interior ridicat, fezabilitate financiară și impact redus asupra mediului înconjurător [70].

Conceptul constructiv implică realizarea unei anvelope etanșe cu performanță termică ridicată, eficientizarea utilizării aperturilor interne și solare, respectiv asigurarea necesarului de aer proaspăt prin instalații de ventilație mecanică.

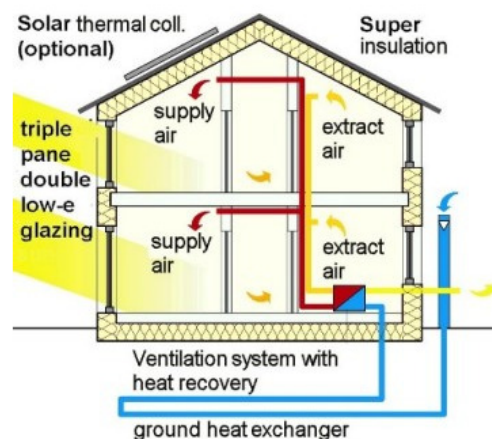


Figura 2.2 – Concept Casă Pasivă [70]

Cerințele principale care trebuie respectate pentru îndeplinirea criteriilor tehnice de Casă Pasivă sunt:

- Transmitanțele termice a pereților exterior și a planșeelor peste ultimul nivel să nu depășească valoarea $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ iar a plăcii pe sol $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Alcătuirea continuă a elementelor de anvelopă și minimalizarea punților termice $\Psi_m \leq 0,15 \text{ W/mK}$
- Utilizarea tâmplăriilor $U_w \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ prevăzute cu vitraj din trei foi de sticlă tip low-e, distanțier cald și factor solar $g > 0,50$
- Realizarea unei anvelope termice etanșe $n_{50} \leq 0,60 \text{ h}^{-1}$
- Utilizarea instalațiilor de ventilare cu recuperare de căldură la care eficiența recuperării $> 75\%$ și eficiența electrică a echipamentului de ventilare $< 0,40 \text{ Wh/m}^3$
- Necesarul anual de energie pentru încălzire și răcire să nu depășească $15 \text{ kWh/m}^2\text{an}$
- Sarcina de încălzire și răcire să nu depășească 10 W/m^2
- Frecvența supraîncălzirii pe perioada verii să fie mai mică de 10%

Până în anul 2015, singura cerință privind consumurile totale a unei clădiri pentru încadrarea acestora în prevederile Caselor Passive de tip Standard a fost raportat la energia primară ($q_{PE,an}$) obținută prin factorii de conversie a surselor de energie convenționale. După anul 2015 s-au introdus suplimentar alte patru tipuri de încadrări (PHI Low Energy, Classic, Plus și Premium) [71] care sunt raportate la necesarul de energie primară regenerabilă ($q_{PER,an}$) și la cantitatea de energie regenerabilă produsă (de exemplu cu panouri fotovoltaice) la nivelul clădirii analizate ($q_{G,an}$).

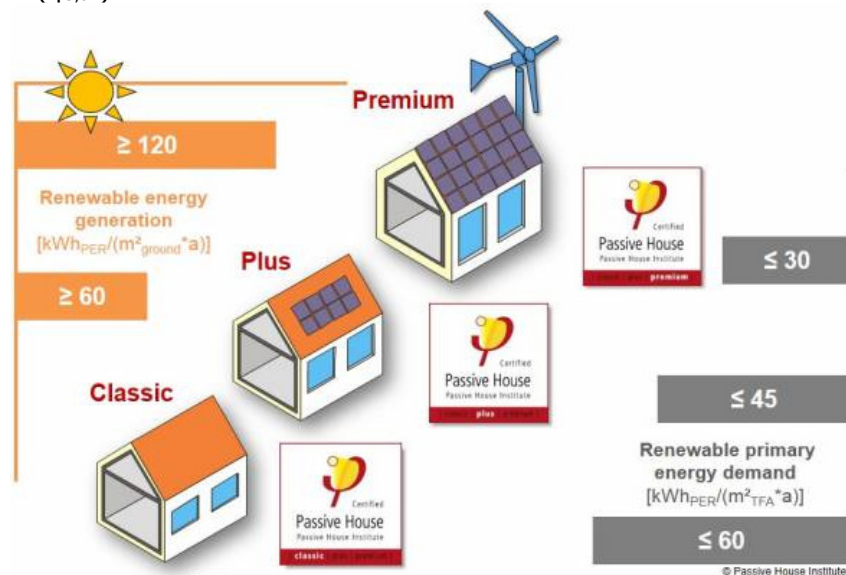


Figura 2.3 – Criterii de încadrare a Caselor Passive de tip Classic, Plus și Premium [70]

Energia primară regenerabilă (PER) este un concept nou care se determină prin înmulțirea necesarului de energie al clădirii (raportat la suprafața utilă încălzită) cu factorul de conversie în energie primară regenerabilă (f_{PER}). f_{PER} este un factor

care ține cont de simultaneitatea accesibilității resurselor energetice și necesarul de energie, respectiv de pierderile cauzate de stocarea energiei la nivel local [70]. Determinarea factorilor f_{PER} se recomandă să se realizeze la nivel regional datorită dimensiunilor sistemelor publice de generare și alimentare cu energie electrică. Astfel, în cadrul evaluării unei clădiri, Institutul de Case Pasive recomandă utilizarea unor valori medii ai f_{PER} din baza lor de date. În cazul sistemului de încălzire valoarea medie a $f_{PER} = 1,70$ [70].

Energia regenerabilă produsă la nivelul clădirii ($q_{G,an}$) se raportează la suprafața definită de amprenta la sol a dimensiunilor maxime a clădirii [71].

Tabelul 2.9 – Criterii de încadrare a tipurilor de Case Pasive [71]

Cerință	U.M.	Standard	PHI Low Energy	Classic	Plus	Premium
$q_{PE,an}$	kWh/m ² an	120		-		
$q_{PER,an}$		-	75	60	45	30
$q_{G,an}$				-		60

În cazul clădirilor de învățământ, Institutul de Case Pasive a definit o serie de cerințe specifice [70], care vin în completarea cerințelor tehnice principale:

- Dimensionarea instalațiilor de ventilare mecanică pentru asigurarea unui debit de 15 - 20 m³/persoană/oră și a unei limite de CO₂ de 1200 - 1500 ppm
- Automatizarea utilizării cu intermitență a instalației de ventilare în funcție de gradul de ocupare
- Asigurarea puterilor necesare pentru reîncălzirea spațiilor înainte de începerea programului școlar
- Recomandarea obținerii unei anvelope mai etanșe $n_{50} \leq 0,30 \text{ h}^{-1}$
- Utilizarea ventilării pe durata nopților (prin sisteme de ventilare cu bypass de vară cu eficiență ridicată sau prin ventilare naturală) și a sistemelor de umbrire eficiente în perioada de vară

Instrumentul de calcul numeric automat utilizat pentru proiectarea Caselor Pasive este Passive House Planning Package (PHPP) [48]. Programul este dezvoltat sub forma unor foi de calcul pentru fiecare etapă a determinării consumurilor energetice lunare, în regim staționar. Complexitatea procedurilor de calcul utilizate în PHPP este superioară programelor de calcul utilizate în mod curent la nivel național în aspecte precum: date climatice (valori medii de la trei surse diferite), aporturi interne și solare, umbrire, bilanț energetic și definirea parametrilor instalațiilor. Astfel, PHPP oferă posibilitatea integrării în modelul numeric a unui număr semnificativ de parametri prin care se pot obține rezultate cu precizie ridicată. Exemple de diferențe dintre datele utilizate în PHPP și metodologia națională sunt: suprafețele de calcul al elementelor de anvelopă și suprafața utilă încălzită. În cazul elementelor de anvelopă, PHPP utilizează suprafețele exterioare ale acestor iar metodologia națională utilizează cele interioare. În cazul stabilirii suprafeței utile încălzite, Institutul de Case Pasive nu ia în considerare fracțiuni ale anumitor zone secundare.

La nivel global, numărul clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit certificate după standardul de Casă Pasivă este de 782, din care numărul clădirilor de învățământ este de 303 [72].

2.4. Sisteme de monitorizare

Sistemele de monitorizare în domeniul eficienței energetice a clădirilor sunt utilizate preponderent la aplicații industriale, acolo unde consumurile energetice reprezintă un cost semnificativ al procesului tehnologic. În categoria clădirilor civile, monitorizarea se rezumă la utilizarea contoarelor de energie totală conectate la stații de achiziții de date [73]. Datele furnizate de aceste sisteme sunt folosite pentru stabilirea strategiilor de utilizare a clădirii sau pentru a fundamenta investiții care să ducă la reducerea consumului de energie. De obicei, aceste sisteme sunt implementate pentru utilizarea proprie a instituțiilor iar publicarea rezultatelor globale și detaliate ale acestor procese de îmbunătățire a consumurilor energetice sunt limitate. De asemenea, datele procesate ale monitorizării consumurilor reale ale clădirilor nu reprezintă momentan un factor relevant în stabilirea metodologiilor de calcul. Acestea sunt utilizate preponderent pentru evaluarea globală a consumurilor de energie reale, pentru planificare financiară, dar și pentru stabilirea strategiilor regionale sau naționale de reglementare în domeniul energiei. O altă aplicație a sistemelor de monitorizare este utilizată în cazul instalațiilor de iluminat stradal, la care se poate asigura urmărirea corpurilor de iluminat privind durata de funcționare, prevenirea defecțiunilor și înregistrarea consumurilor de energie.

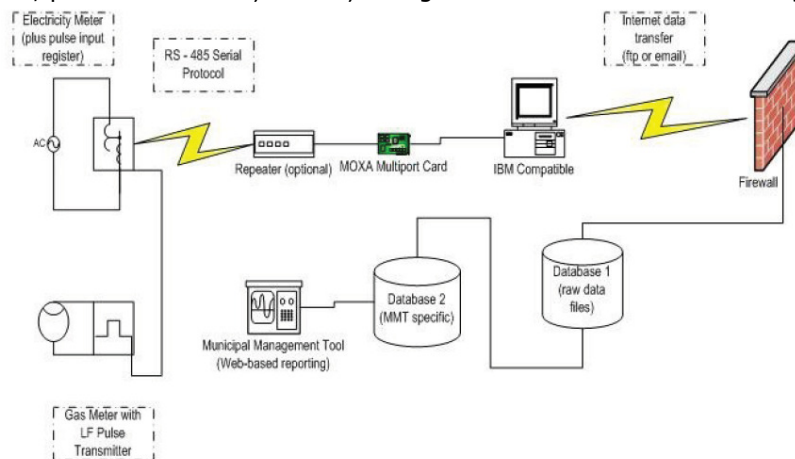


Figura 2.4 - Schemă funcțională sistem de monitorizare consumuri de energie [73]

Giraldo-Soto et al. [74] au realizat un studiu privind utilizarea sistemelor de monitorizare ale clădirilor pentru estimarea coeficientului de pierderi de căldură pentru 24 de metode implementate între anii 1978 - 2018. Studiul analizează aspecte precum precizia și incertitudinea măsurărilor, erori ale senzorilor, degradări ale infrastructurii de monitorizare și efectul acestora asupra datelor înregistrate, respectiv asupra deciziilor luate în baza datelor eronate. Astfel, autorii propun utilizarea metodelor automate de detectare și diagnosticare a defecțiunilor. Concluziile studiului arată variația majoră în principiile și infrastructura utilizată la fiecare din cele 24 de sisteme analizate și scoate în evidență lipsa standardizării sistemelor de monitorizare pentru utilizare ca metode experimentale în domeniul performanței energetice a clădirilor. Pentru a putea utiliza sistemele de monitorizare cu un nivel ridicat de încredere și precizie, autorii atrag atenția asupra necesității informațiilor suplimentare privind preciziile echipamentelor utilizate, continuarea

cercetării privind diferențele între datele înregistrate și cele teoretice, respectiv urmărirea comportării în timp a acestora.

Tabelul 2.10 - Componentele sistemului de monitorizare a unei clădiri publice a University of the Basque Country [74]

Typology	Measurement	Device identification	Accuracy
Energy consumption	Heating system	7 Calorimeter: Kamstrup Multical 602 for heating (F0 1 calorimeter; F1, F2 and F3 2 calorimeters per floor)	$E_r \pm (0.4 + 4/\Delta T)\%$ (for the set of sensors)
	Lighting system	4 Electricity Power Meter: 1 ABB EM/S 3.16.1 meter 3 ABB A43 meters (1 meter per floor)	$\pm 2\%$ for all
Indoor Conditions	Brightness Level (lux)	13 Brightness sensors: Siemens 5WG1 255-4AB12	-
	Air Quality (ppm CO ₂)	13 Air quality, Temperature and Humidity Sensors: ARCUS SK04-S8-CO2-TF	$\pm 1\%$ Measurement Error
	Temperature (°C)		$\pm 0.5^\circ\text{C}$
Relative Humidity (%)	$\pm 3\%$ RH		
Weather	Brightness Level (lux)	1 Weather Station on roof: ELSNER 3595 Sun tracer KNX basic	$\pm 35\%$ at 0...150,000 lux
	Temperature (°C)		$\pm 0.5^\circ\text{C}$
	Wind Speed (m/s)		$\pm 25\%$ at 0...15 m/s
	Rain (yes/no)	-	
	Temperature (°C)	1 Outdoors Temperature and Humidity Sensor on roof:	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
	Relative Humidity (%)	ARCUS SK01-TFK-AFF	$\pm 3\%$ RH
	Global Horizontal Solar Radiation (W/m ²)	1 Pyranometer on roof: ARCUS SK08-GLBS	$\pm 5\%$

Ling Cao et al. [75] prezintă un concept de sistem de monitorizare a consumurilor energetice destinat investițiilor de tip campus educațional. Conceptul propus include o serie de contoare de energie și o rețea de comunicare cu stațiile de achiziții de date. Sistemul este propus a fi utilizat ca un instrument de prognozare a consumurilor viitoare și de calibrare a regulilor de utilizare a clădirilor în scopul reducerii consumului de energie.

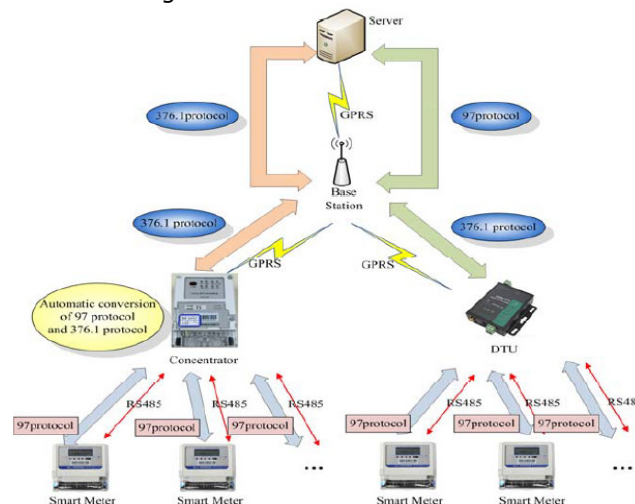


Figura 2.5 – Schemă funcțională sistem de monitorizare campus educațional [75]

Tianzhen Hong et al. [76] au realizat un studiu privind consumurile de energie electrică a unor clădiri de birouri din China și SUA, realizate cu ajutorul unor

sisteme de monitorizare, și compararea acestora cu consumurile medii naționale. Clădirile analizate sunt dotate cu sisteme diferite de instalații. Sistemele de monitorizare a acestor construcții sunt alcătuite din instrumente de măsurare care înregistrează citiri în timp real ale consumurilor de energie, ale parametrilor climatici interiori și exteriori, ale gradului de ocupare și ale unor parametri a instalației de ventilare. Concluziile studiului prezintă motivele diferențelor de consum care sunt datorate aspectelor precum zonă climatică, temperaturi interioare folosite, respective performanța echipamentelor și sistemelor de instalații utilizate. Standardizarea principiilor sistemelor de monitorizare este, de asemenea, o concluzie subliniată de autori.

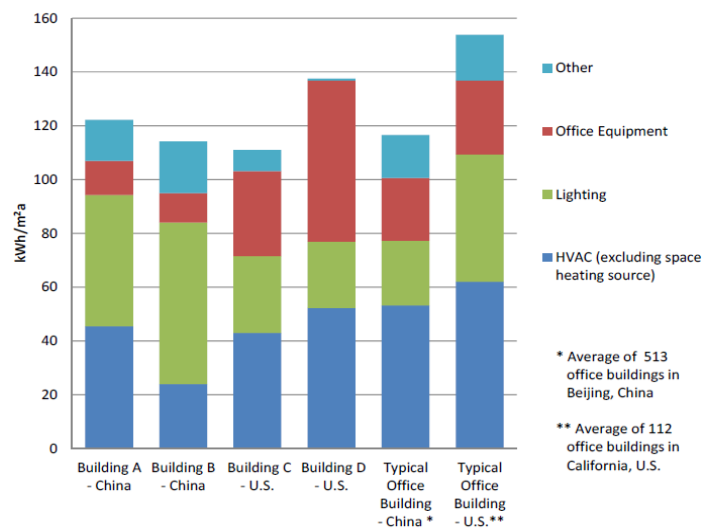


Figura 2.6 - Consumuri anuale energie electrică clădiri analizate [76]

Anggraini et al. [77] prezintă un sistem de monitorizare a puterilor electrice și a consumurilor de energie electrică a unei clădiri de învățământ, din rețeaua de alimentare publică și dintr-un sistem propriu de panouri fotovoltaice. Studiul pune accent pe fluctuația celor trei faze ale curentului și a puterii, respectiv pe necesitatea echilibrării acestor valori. De asemenea, autorii evidențiază importanța citirilor și interpretării datelor în timp real pentru eficientizarea utilizării energiei electrice din panourile fotovoltaice.

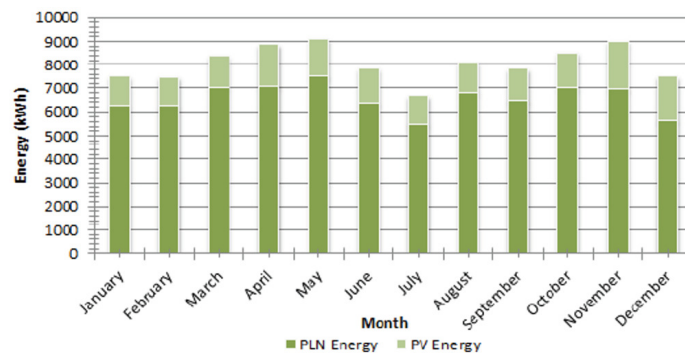


Figura 2.7 - Consumuri de energie electrică clădire de învățământ [77]

Dongmei Li [78] a realizat un studiu privind utilizarea unui sistem de monitorizare a economiei de energie și a nivelului de confort asigurat de o instalație de răcire dintr-o clădire de birouri. Parametrii precum temperatură, umiditate, viteza de funcționare a ventilatoarelor și gradul de ocupare sunt monitorizate cu ajutorul a unui set de senzori. Pe durata utilizării încăperilor, sistemul automatizează funcționarea instalației în baza citirilor încât să se maximizeze coeficienții de performanță a echipamentelor de răcire și confortul interior asigurat. Concluziile studiului arată că prin reglementarea funcționării echipamentelor în baza măsurătorilor sistemului de monitorizare, se poate eficientiza durata de funcționare și se poate îmbunătăți eficiența de economiei a energiei cu până la 8%.

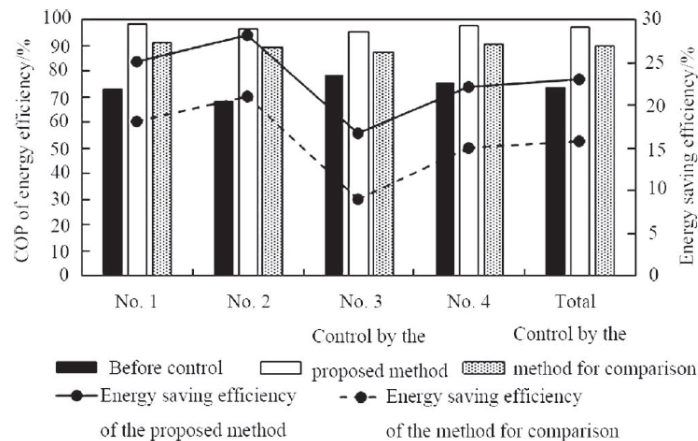


Figura 2.8 – Comparație eficiență energetică instalație de răcire [78]

Stoian et al. [79] prezintă un sistem de monitorizare complex a unei Case Pasive rezidențiale unifamiliale, care este alcătuit dintr-o multitudine de tipuri de instrumente de măsurare. Acestea cuprind categorii precum: temperaturi în stratificația elementelor de anvelopă, temperaturi ale agentului termic între toate componentele instalațiilor, parametrii climatici interiori și exteriori, respectiv consumurile de energie electrică a tuturor tipurilor de consumatori. Complexitatea sistemului permite analiza detaliată a comportării energetice a clădirii în timp real și oferă posibilitatea elaborării unor studii comparative ale acesteia cu modelele numerice de calcul.

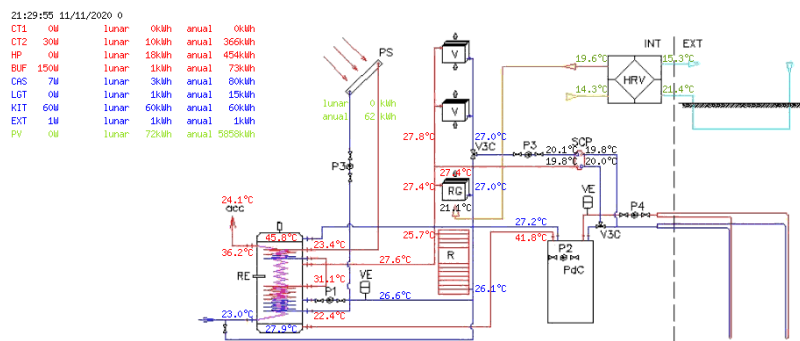


Figura 2.9 – Schemă funcțională sistem de monitorizare Casă Pasivă [79]

2.5. Evaluarea ciclului de viață

Cuantificarea pe termen lung a nivelului de efecte negative a industriei construcțiilor asupra mediului înconjurător se poate realiza utilizând metodele evaluării ciclului de viață. Metoda se poate utiliza pentru a analiza o unitate funcțională sau un produs în toate fazele ciclului de viață. Metoda se poate utiliza într-o gamă largă de aplicații [80] și în diferite forme de complexitate [81], atât timp cât obiectul și scopul studiului sunt clar definite [82]. Abordarea și selecția datelor utilizate depind în mare măsură de scopul declarat al studiului [83]. Stadiile principale a unui ciclu de viață cuprind: materie primă, prelucrare, transport, utilizare, sfârșit de viață și reciclare. Aplicațiile în construcții analizează cicluri complete sau doar până la sfârșitul de viață.

O unitate funcțională se poate construi prin definirea unor ansambluri, care la rândul lor sunt alcătuite din procese unitare sau funcționale. Procesele pot defini activități precum producția unui material de construcție, consumul de energie sau transport. Clădirile reprezintă elemente complexe a căror modelare numerică implică date pentru o multitudine de materiale și procese tehnologice. Astfel, rezultatele studiilor anterioare [82] pot fi folosite pentru a defini limitele dimensiunii modelului. Consumurile de energie în etapa de utilizare a clădirii reprezintă impactul predominant al acesteia asupra mediului înconjurător. În mod curent, bazele de date existente oferă informații limitate privind instalațiile și echipamentele clădirilor. Bazele de date ale proceselor de construcții care să definească caracteristicile tehnologice și condițiile locale sunt, la rândul lor, limitate. În consecință, evaluările etapei de execuție a unei clădiri conțin de obicei doar procese privind elementele de structură, compartimentări și finisaje.

Etapa de utilizare implică definirea consumurilor de energie, a reparațiilor curente și a lucrărilor de mentenanță, pe durata de viață considerată. Evoluția în timp a parametrilor care definesc performanța respectiv consumurile energetice, fără elaborarea unor modele numerice complexe, pot fi determinate doar cu un grad de încredere scăzut. Evoluția consumurilor pot fi influențate semnificativ de: creșterea temperaturilor medii globale, îmbătrânirea materialelor anvelopei termice, degradarea etanșeității anvelopei, scăderea performanțelor energetice a echipamentelor și progresul tehnologic în momentul înlocuirii componentelor.

Cele mai multe studii de ciclu de viață a clădirilor consideră o durată de utilizare de 50 ani respectiv un sfârșit de viață. Această abordare poate să reprezinte un factor care diminuează gradul de încredere în rezultatele obținute datorită faptului că strategiile de sfârșit de viață sunt direct influențate de legislația națională și obiceiuri locale, iar incertitudinea respectării în realitate a ipotezelor de calcul este ridicată. Una din motivele principale pentru aceasta incertitudine este că proporția clădirilor cu vârsta de peste 50 de ani, din fondul construit existent, este ridicată.

Utilizarea resurselor, influența asupra sănătății umane și deteriorarea mediului înconjurător sunt categoriile principale de impact pentru care se pot determina rezultate. Impactul clădirilor se poate calcula și asupra unor subcategorii mai specifice precum apă, utilizare de combustibili fosili, schimbări climatice sau epuizarea stratului de ozon. Tipurile de procese se corelează cu categoriile de impact analizate, iar efectul acestora este determinat de caracteristicile procesului și cantitățile în care sunt definite. Se utilizează o serie de factori pentru a aduce la numitor comun numărul semnificativ de procese, inclusiv emisiile și substanțele aferente acestora. Emisiile și substanțele definite într-un

proces acționează diferit asupra fiecărei categorii de impact. Este interzisă publicarea studiilor la care aducerea la numitor comun a subcategoriilor de impact se face prin ponderare pentru determinarea cantitativă a rezultatelor [84].

2.6. Metodologie de calcul și date utilizate

Calculul performanței energetice a clădirii de învățământ analizate (prezentat în Cap. 4) s-a realizat în regim staționar, în conformitate cu prevederile metodologiei de calcul naționale Mc 001 actualizată cu modificările ulterioare până în data de 31.12.2019.

Datele climate privind temperaturile exterioare medii lunare și valorile intensităților radiației solare utilizate sunt în conformitate cu prevederile Mc 001/1 și Mc 001/6, pentru localitatea Oradea, județul Bihor (aflat la o distanță de 39 km de Salonta).

Pentru determinarea exactă a perioadelor de utilizare (cu intermitență) a instalațiilor clădirii, s-a definit un scenariu de ocupare a zonelor principale, pentru un an întreg, în ceea ce privește numărul de utilizatori și intervalele orare de ocupare.

Necesarul anual de căldură pentru încălzire s-a calculat prin determinarea necesarului de căldură lunar în regim de ocupare continuă, în baza numărului de grade-zile, și corectarea acestora cu coeficienți de corecție pentru încălzirea cu intermitență aferent ocupării discontinue. Procedura implică determinarea unei temperaturi interioare reduse prin aportul degajărilor interne și temperaturi exterioare medii corectate lunare prin considerarea aporturilor solare respectiv a temperaturilor echivalente a elementelor de anvelopă. Cele două seturi de parametrii determină perioada de încălzire și numărul de grade-zile de încălzire anuală și lunară. Numărul de schimburi de aer utilizat în calcul este cel real determinat pentru clădire prin testul Blower-Door [85].

Temperaturile medii lunare și coeficienții de pierderi de căldură prin transfer ale spațiilor neîncălzite s-au calculat în baza SR EN ISO 13789 [53] iar aporturile solare și debitele de calcul pentru instalația de ventilare mecanică cu recuperare de căldură s-au calculat în baza SR EN ISO 13790 [54].

Necesarul anual de frig pentru răcire s-a calculat cu metoda orară simplificată și cu determinarea duratei reale de răcire prin corelarea perioadei de răcire cu scenariul de utilizare a clădirii.

Temperaturile exterioare și echivalente pentru încălzire, necesarul de frig pentru răcire respectiv consumurile de energie al variantelor constructive de comparație a clădirii s-au determinat prin calcul numeric automat utilizând programul AllEnergy v7.0 [60].

Datele utilizate pentru determinarea performanței energetice a elementelor de anvelopă (conductivitate termică a materialelor utilizate, coeficienți de transfer termic a unor elemente de anvelopă, coeficienți de transfer termic punctuali diabluri) și a instalațiilor clădirii (coeficienți de performanță pompe de căldură, caracteristici rezervor de acumulare și boiler, conductivitate termică termoizolație conducte, puteri instalate și consumate pompe de circulație, ventiloconvectoare, ventilatoare și corpuri de iluminat, randament de recuperare de căldură centrale de tratare a aerului) sunt cele din declarațiile de performanță a producătorilor. Datele utilizate pentru fluxurile termice emise de corpurile de iluminat, aparate electrice și dotări tehnologice ale bucătăriei sunt în conformitate cu declarațiile de performanță a

producătorilor și în conformitate cu 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) [86].

Obiectivul evaluării ciclului de viață este să se determine impactul asupra mediului a clădirii de învățământ analizate prin emisiile de CO₂ în etapa de execuție și de utilizare, respectiv compararea rezultatului acestuia cu impactul a două clădiri de referință. Ciclul de viață definit pentru clădirea analizată este alcătuit din producția și punerea în operă a cantităților reale de materiale pentru construirea clădirii și consumurile de energie calculate pe durata a 50 ani de utilizare, în baza scenariilor de mentenanță și înlocuire. Nu s-a definit un sfârșit de viață a clădirii.

Procesele luate în calcul pentru determinarea impactului etapei de execuție cuprind materialele structurale, de compartimentare și închidere, de finisaje dar și transportul acestora pe șantier. Componentele instalațiilor nu sunt luate în considerare.

3. CLĂDIRE DE ÎNVĂȚĂMÂNT EFICIENTĂ ENERGETIC – STUDIU DE CAZ

3.1. Prezentare generală

Clădirea este amplasată în zona centrală a municipiului Salonta, județul Bihor, într-o zonă preponderent rezidențială și cu funcțiuni conexe. Necesitatea construirii unui corp nou de clădire în cadrul unității de învățământ liceale existente a fost fundamentată de funcționarea actuală a școlii în mai multe clădiri amplasate în diferite zone. De asemenea, pe lângă funcțiunile specifice de învățământ, a fost necesară înglobarea unei unități de cazare și alimentație publică astfel încât să se poată asigura și astfel de activități conexe în cadrul unui singur complex educațional.

Amplasamentul existent a impus încadrarea clădirii noi pe latura sudică astfel încât să se contureze o curte interioară mărginită pe toate părțile de imobile respectiv să se eficientizeze utilizarea terenului. Astfel forma poligonală în plan a construcției și orientarea sa sunt dictate de conturul limitei de proprietate.

Regimul de înălțime P+3E este rezultatul maximizării reglementărilor urbanistice admise pentru o zonă caracterizată de un număr redus de niveluri supraterane admise, datorate caracteristicii rezidențiale ale zonei, precum și de criteriul de umbrire către imobilele vecine. Forma compactă și alegerea acoperișului de tip șarpantă în două ape principale este consecința încadrării în stilul arhitectural al clădirilor existente din împrejurimi. Pereții tip calcan de la cele două laterale prezintă configurarea acestor elemente ca pereți antifoc către clădiri vecine.



Figura 3.1 - Vedere de ansamblu clădire

Podul rezultat în urma alcătuirii șarpantei este realizat astfel încât să rezulte un spațiu ușor reconfigurabil în cazul în care necesitatea numărului de locuri de cazare crește în viitor. Toate aspectele privind dimensionarea clădirii precum calcule structurale și utilități au avut în vedere posibilitatea extinderii pe verticală cu încă un nivel, cu minime intervenții.

Funcțiunile nivelurilor sunt astfel distribuite încât cele publice, și anume cele care implică activitatea altor persoane care sunt conexe unității de învățământ, să fie amplasate la parter. Etajul 1 și 2 cuprind spațiile necesare desfășurării activității educaționale, iar amplasarea spațiilor de cazare s-a realizat izolat la nivelul etajului 3.

În ceea ce privește parterul, funcțiunea de alimentație publică este asigurată cu ajutorul unei săli de mese și a unei bucătării cu spațiile conexe aferente. Capacitatea sălii de mese este de 192 de persoane, iar bucătăria este dimensionată astfel încât să se poată realiza mai multe cicluri de alimentare atât pentru elevii din clădirea în discuție, cât și pentru cei care sunt din alte clădiri ale complexului educațional. Parterul oferă loc și pentru o bibliotecă școlară și o sală de lectură, care poate fi frecventată și de către persoane externe imobilului.

Din cele 15 săli de clasă amplasate la primele două etaje, 6 sunt configurate cu dotări specifice laboratoarelor tematice, care la rândul lor sunt prevăzute cu anexe pentru depozitare materiale didactice. Sunt prevăzute, de asemenea, și încăperi auxiliare precum: administrație, secretariat, contabilitate, sală profesorală și cabinet psihologic.

Etajul 3 este dedicat internatului care este format din 10 spații de cazare tip apartament. Fiecare spațiu respectiv este format din două camere de locuit cu trei locuri, un hol și grupuri sanitare comune. Capacitatea de cazare a internatului este de 62 de locuri. Complementar, sunt prevăzute spații pentru socializare, oficiu-bucătărie, cameră pedagog supervizor și cabinet medical.

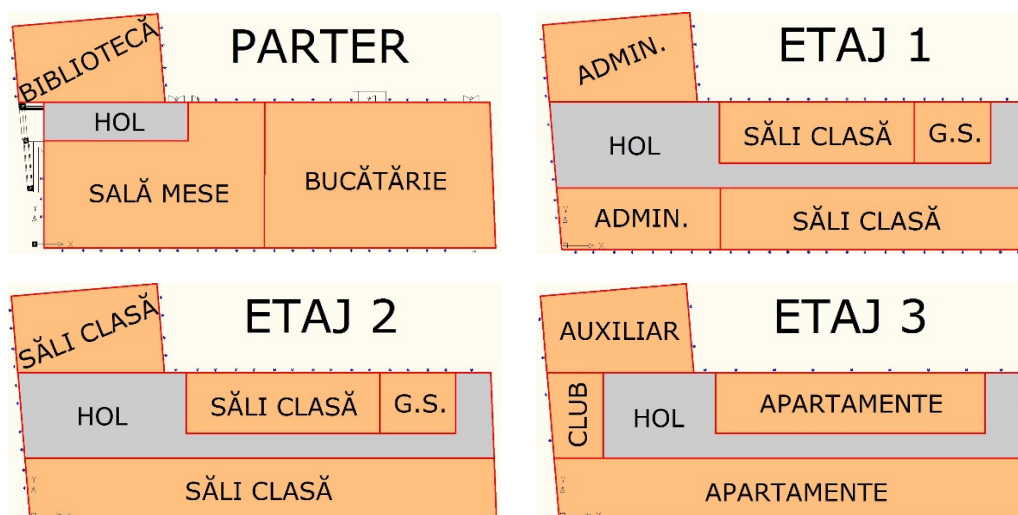


Figura 3.2 - Planurile funcționale ale nivelurilor clădirii

Distribuția circulației pe orizontală se face prin holurile centrale longitudinale care dispun de zone dedicate socializării. Circulația pe verticală este realizată prin cele două case de scară interioare localizate în capetele opuse ale clădirii.

44 Prezentare generală - 3.1

Accesul principal în clădire, din stradă se realizează pe ușa holului de intrare amplasat pe fațada Vest iar aprovizionarea cu materie primă a bucătăriei se face direct de pe domeniul public prin ușa secționabilă, de pe fațada Sud. Accesele din curtea interioară sunt dispuse în cele două case de scară dar și separat din sala de mese și bucătărie. Chepengul de urcare în pod este prevăzut într-una din casele de scări.

Suprafețele generale ale clădirii sunt prezentate în Tabelul 3.1.1.

Tabelul 3.1 - Suprafețe generale

Denumire	Simbol	Suprafață [m ²]
Aria construită	A _c	1009,70
Aria desfășurată	A _d	4038,80
Aria utilă totală	A _{u,total}	3531,70
Arie utilă bucătărie și sală de mese	A _{u,buc+sm}	620,47
Arie utilă învățământ	A _{u,învățământ}	1992,60
Arie utilă cazare	A _{u,cazare}	883,40
Aria utilă încălzită totală	A _{u,încălzit}	3496,47
Aria utilă neîncălzită	A _{u,neîncălzit}	35,23

Înălțimile nivelurilor sunt dimensionate astfel încât, pe lângă asigurarea înălțimilor libere specifice funcțiilor, să se prevadă spațiile necesare pentru dispunerea instalațiilor. Astfel, înălțimile nivelurilor sunt de 3,90 m, 3,50 m și 2,70 m.

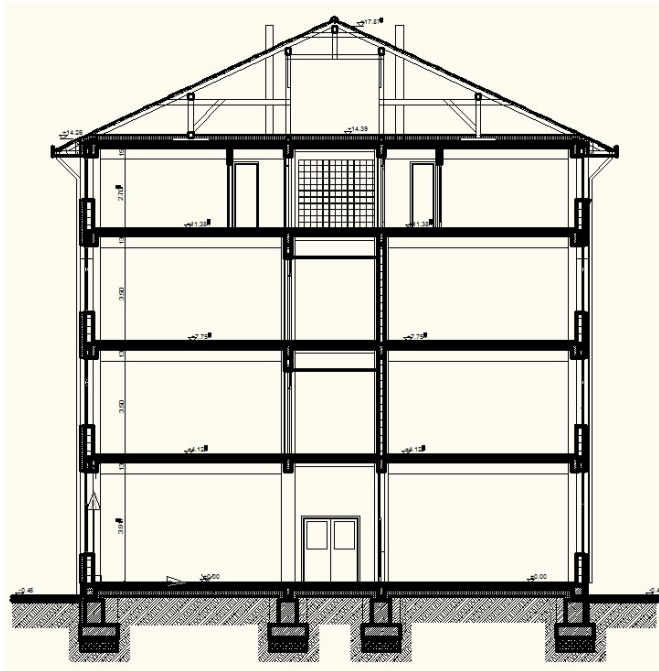


Figura 3.3 - Secțiune transversală

Elementele de închidere perimetrice și compartimentările interioare sunt realizate din zidărie BCA, a căror finisare a fost realizată cu tencuială, glet și zugrăveală. Sistemele de pardoseli sunt alcătuite din polistiren extrudat, șapă și straturi finite din gresie, linoleum, covor PVC și parchet. Tavanele clădirii sunt

formate din trei categorii de stratificații și anume: tavane casetate pentru zone care maschează distribuții de instalații care necesită intervenții și mentenanță, tavane de ghips-carton pentru zone care nu necesită mentenanță și tavane rezultate prin aplicarea tencuiei, gletului și zugrăvelii pe intradosul plăcilor de beton. Tâmplăria clădirii este realizată preponderent din profile PVC. Profile de lemn stratificat au fost utilizate pentru ușa de intrare principală, iar o ușă tip garaj a fost folosită pentru zona de aprovizionare bucătărie. Datorită configurației clădirii și posibilităților reduse de iluminare directă a holurilor de circulație orizontală, au fost prevăzute închideri din cărămidă de sticlă în pereții de calcan.

Termoizolațiile utilizate sunt din polistiren extrudat la nivelul fundațiilor și plăcii pe sol, din vată minerală bazaltică la nivelul pereților exteriori respectiv planșee exterioare inferioare și vată minerală de sticlă la nivelul planșeului sub pod.

Structura principală de rezistență este realizată din fundații continue, cadre și plăci de beton armat monolit. Structura acoperișului este alcătuită dintr-o șarpantă de lemn, iar învelitoarea este din țiglă ceramică profilată. Pentru asigurarea utilităților necesare clădirii principale, spațiile tehnice au fost dispuse într-o clădire independentă învecinată. Utilitățile asigurate pentru clădire cuprind: instalații termice pentru încălzire și răcire, ventilare mecanică cu recuperare de căldură, apă rece și caldă menajeră, iluminat și alimentare electrică dotări.

Planurile detaliate și alte componente din partea desenată a proiectului tehnic de execuție a clădirii sunt prezentate în Anexa 1 și se pot accesa online pe domeniul dedicat prezentării detaliilor tehnice ale clădirii [87].

Regimul de utilizare este unul mixt în care anumite funcțiuni precum unitatea de învățământ și încăperile auxiliare, bucătăria și sala de mese sunt ocupate în regim discontinuu, iar unitatea de cazare de la etajul 3 este asimilat unei funcțiuni rezidențiale, fiind considerată regim de ocupare continuu. Scenariile și gradele de ocupare sunt prezentate în capitolele următoare iar capacitățile maxime ale zonelor sunt sintetizate în Tabelul 3.2.

Tabelul 3.2 - Capacități maxime de ocupare (nr. persoane)

Zonă	Nivel	Capacitate
Învățământ – elevi	Etaj 1 și 2	450
Învățământ – personal didactic		40
Bucătărie – personal specific	Parter	5
Sală de mese – elevi		192
Cazare – elevi	Etaj 3	62

3.2. Conceptul de proiectare

Pe lângă îndeplinirea obiectivelor funcționale, unul dintre aspectele principale ale temei de proiectare, a fost realizarea unei clădiri cu eficiență energetică ridicată, pentru obținerea unui confort interior sporit și unui consum de energie minim, ce va fi reflectat într-un cost de întreținere redus pe perioada de exploatare.

Astfel, în etapa de proiectare s-a dispus implementarea principiilor configurării și detalierei standardelor de casă pasivă [70] respectiv de clădire cu consum de energie aproape egal cu zero [44]. Având în vedere faptul că numărul clădirilor de învățământ eficiente energetic este redus la nivel național dar și global [72], a fost considerat ca fiind oportună tratarea investiției ca și un proiect pilot care să fie utilizat ca un reper viabil pentru investiții similare. Pentru a facilita verificarea

comportării energetice s-a proiectat și implementat un sistem de monitorizare a parametrilor care definesc bilanțul energetic și confortul interior.

Principiile de configurare care s-au utilizat la proiectarea clădirii sunt :

- Configurare volumetrică compactă
- Utilizarea elementelor de anvelopă cu rezistență la transfer termic ridicată
- Limitarea punților termice
- Etanșeitarea elementelor de anvelopă
- Utilizarea orientării clădirii pentru a beneficia de aporturile solare în asigurarea necesarului de căldură
- Utilizarea unei surse eficiente de încălzire și răcire
- Distribuția eficientă a instalațiilor termice
- Asigurarea de aer proaspăt prin dispunerea instalațiilor de ventilare cu recuperare de căldură

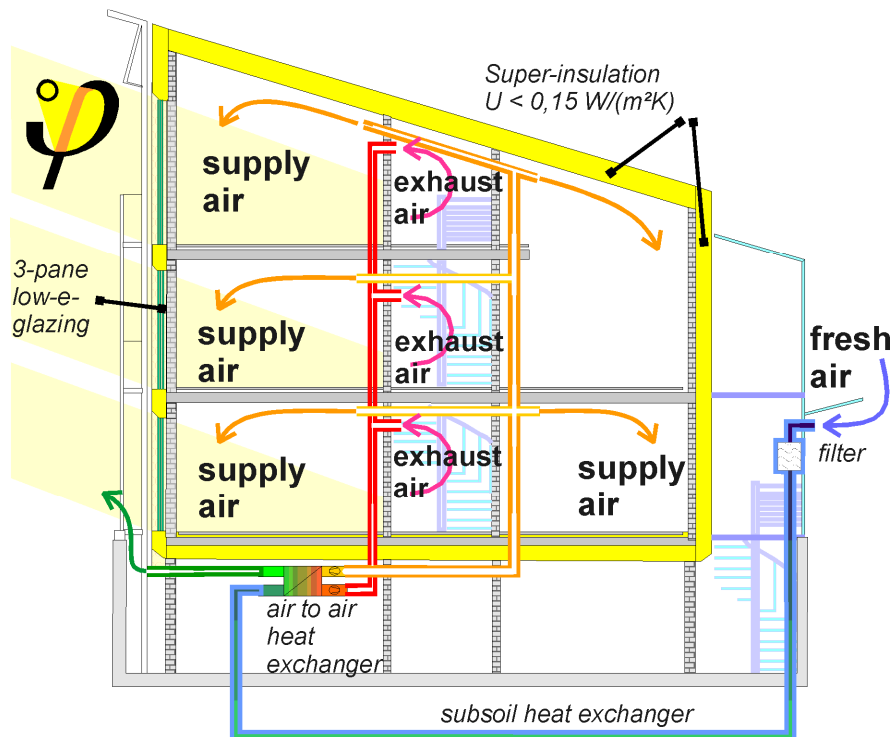


Figura 3.4 - Concept de proiectare [70]

3.2.1. Configurare volumetrică

Distribuția în plan a clădirii este raportată benefic la regimul de înălțime și înălțimea totală, astfel încât să se obțină un raport arie anvelopă – volum încălzit (A/V) favorabil [31].

Devieri minime de la forma compactă au fost acceptate și asumate pentru a asigura necesități funcționale precum înglobarea în volumul brut al clădirii a spațiului de aprovizionare a bucătăriei, dispunerea unei platforme de intrare

principală acoperită și forma poligonală în plan care asigură utilizarea la maximă a terenului de-a lungul limitei de proprietate.

Zona de aprovizionare s-a tratat ca spațiu neîncălzit iar elementele de construcție care delimitează spațiul de restul clădirii au fost configurate ca elemente către un mediu exterior. Motivația acestei strategii este faptul că nu există posibilități tehnico-economice de a prevedea o ușă de acces de tip garaj care să ofere o etanșeitate similară cu restul tâmplărilor uzuale.

Necesitatea funcțională de a prevedea o platformă de intrare principală acoperită a implicat reducerea la nivelul parterului a suprafeței construite, în raport cu nivelurile superioare. Consecințele tehnice a acestei soluții sunt elemente de anvelopă care necesită soluții de termoizolare specifice pentru a limita efectele eventualelor punți termice.



Figura 3.5 - Intrarea principală – proiect și executat

3.2.2. Elemente de anvelopă

Performanța energetică a clădirii este determinată într-o proporție importantă de configurația și de parametrii termotehnici ai elementelor de anvelopă a volumului încălzit. Elementele care definesc anvelopa termică sunt definite astfel încât să rezulte un ansamblu de suprafețe din care să reiasă contururile închise și continue ale volumului încălzit. Valorile suprafețelor luate în calcul sunt cele de la fața interioară a elementelor de construcție [56].

În principal, identificarea și tratarea independentă a elementelor de anvelopă s-a făcut în funcție de poziție (orizontal / vertical), orientarea față de punctele cardinale (Nord / Sud / Vest / Est), transluciditate (opac / vitrat) și mediul cu care intră în contact (exterior / spațiu neîncălzit).

Materialele utilizate pentru termoizolarea elementelor opace sunt: polistiren expandat, polistiren extrudat, vată minerală bazaltică rigidă și semirigidă. Caracteristicile termotehnice ale acestora care au fost luate în calcul sunt prezentate

în Anexa 2. Prezentarea în detaliu a fiecărei poziții de tâmplărie exterioară care face parte din anvelopa termică sunt prezentate în Anexa 3.

Interacțiunea dintre elemente respectiv formele geometrice rezultate determină identificarea punților termice geometrice și constructive, liniare și punctuale, dar și asocierea acestora la fiecare element în parte [58]. Efectele acestora s-au eliminat sau limitat, în funcție de natura fiecărui detaliu în parte.

Configurarea elementelor de anvelopă s-a realizat în funcție de poziția elementelor în Tabelul 3.2.2 și în funcție de orientarea față de punctele cardinale în Tabelul 3.2.5.

Tabelul 3.3 - Elemente de anvelopă – poziție

Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Planșeu pe sol	PS	873,75
Planșeu inferior	PI	35,40
Planșeu spre spațiu neîncălzit	PN	38,73
Planșeu spre pod	PP	946,90
Chepeng acces pod	CH	0,98
Pereți exteriori	PE	1423,97
Cărămidă de sticlă	PCS	12,96
Pereți spre spațiu neîncălzit	PSN	61,11
Tâmplărie PVC	F1 - 14 / U1 - 2'	621,32
Tâmplărie lemn	U5	10,89
Tâmplărie metalică	U3 - U4	5,61
Aria totală		4031,62

Pereții exteriori reprezintă o fracțiune dominantă din suprafața totală a anvelopei termice. Celelalte elemente cu suprafață semnificativă sunt în contact cu alte medii decât cel exterior (planșeul pe sol, către terenul natural și planșeul spre pod, către un spațiu neîncălzit). Stabilirea unei rezistențe la transfer termic medii corectate ridicate pentru pereții exteriori are un efect predominant în obținerea unui consum energetic scăzut pentru încălzire sau răcire.

Închiderea perimetrală nestructurală a clădirii s-a realizat din zidărie de BCA. Alegerea blocurilor din BCA pentru configurarea pereților s-a făcut datorită conductivității termice favorabile [88] a acestora în raport cu alte tipuri de materiale utilizabile pentru această aplicație. Termoizolarea acestor elemente s-a realizat cu vată minerală bazaltică rigidă de 150 mm grosime [89] și care este dispusă astfel încât să se asigure continuitatea acesteia dar și conexiunea potrivită cu restul elementelor de anvelopă. Alegerea vatei minerale ca și material termoizolant s-a făcut și din considerente de securitate la incendiu datorită condițiilor de clasă de reacție la foc necesare (A1) pentru placarea fațadelor pentru construcții încadrate în categorie de importanță B [90].

Aplicarea plăcilor pe peretele exterior s-a realizat prin aplicarea de adeziv pe toată suprafața acesteia și prin prindere mecanică cu dibluri și ancore din oțel inoxidabil în colțurile de intersecție a plăcilor dar și în câmp curent. În zonele de îmbinare deficitară geometrică s-a aplicat spumă poliuretanică pentru umplerea golurilor rezultate între plăci. Utilizarea prinderilor mecanice a termosistemului este o cerință de rezistență și stabilitate a agrementului tehnic a producătorului de sistem [89] în aplicații cu regim de înălțime precum clădirea de învățământ în cauză.



Figura 3.6 - Perete exterior: detaliu și implementare

Configurarea de colț intrând al soclului respectiv dispunerea unui profil picurător de aluminiu la baza termosistemului curent al pereților exteriori a impus retragerea soclului cu 30 mm. Astfel, grosimea termoizolației din această zonă a fost aleasă a fi de 120 mm grosime, asigurând totodată și conexiunea continuă dintre cele trei termosisteme de la elementele adiacente. Utilizarea polistirenului extrudat [91] pe înălțimea soclului s-a impus pentru proprietățile mecanice sporite în raport cu varianta expandată, dat fiind faptul că este supus acțiunilor mecanice umane.

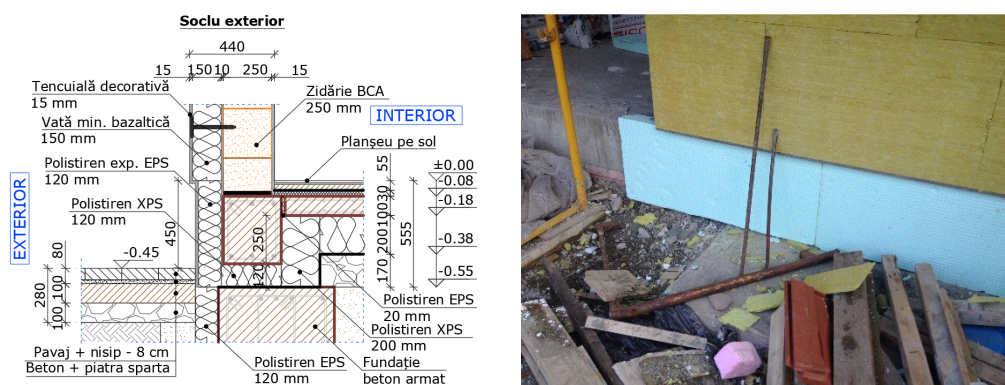


Figura 3.7 - Soclu: detaliu și implementare

Elementul de anvelopă de suprafață în contact cu solul este realizat astfel încât să asigure transmiterea încărcărilor utile de la nivelul parterului către terenul natural dar și să limiteze pierderile de căldură către sol. Pe suprafață plană a umpluturii de balast compactat s-a dispus un strat de termoizolare din polistiren extrudat de 200 mm grosime [91]. Capacitatea portantă de transmitere a încărcărilor gravitaționale a polistirenului s-a ales în concordanță cu încărcările utile aferente spațiilor aglomerate. Peste stratul de termoizolare s-a prevăzut stratul portant de beton armat, polistiren extrudat de 30 mm [91] și straturile specifice de finisaj. În planul plăcii pe sol există o rețea de grinzi structurale de beton armat care asigură transmiterea încărcărilor din pereții nestructurali de la parter către nodurile de la baza stâlpilor de cadru. Termoizolarea sistemului de grinzi s-a tratat respectând principiul continuității. Nodurile structurale de la baza stâlpilor au fost considerate punți termice structurale acceptate încă din faza de proiectare. Distribuția rețelelor de canalizare interioară care racordează obiectele sanitare sunt

dispuse parțial în stratul de termoizolare și parțial în umplutura de balast compactat în funcție de pantele necesare de scurgere a apei. Efectul țevilor de PVC în planul plăcii pe sol nu a fost luat în considerare la calculul rezistenței la transfer termic a elementului de anvelopă datorită lungimilor relativ scurte care perturbă distribuția constantă a grosimii de termoizolare.

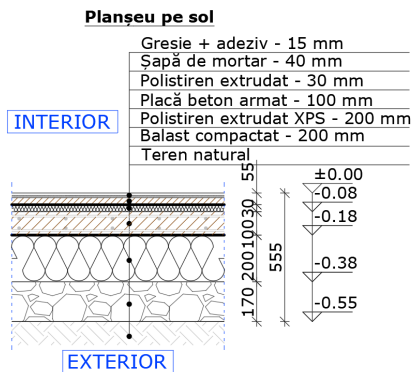


Figura 3.8 - Planșeu pe sol: detaliu și implementare

Planșeul spre pod este alcătuit dintr-o placă de beton armat de 130 mm grosime și un strat de termoizolare de 250 mm din vată minerală bazaltică semirigidă [92]. Continuitatea stratificației este întreruptă local de elementele de lemn parte componentă a structurii de rezistență a acoperișului, de sprijinirea punctuală a podinei tehnice de lemn confecționat pentru circulație dar și de racordarea tubulaturii de ventilare a etajului 3, a cărei distribuție se află în volumul podului.

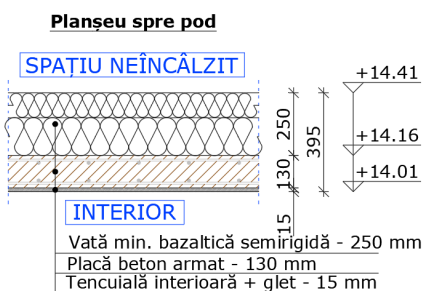


Figura 3.9 - Planșeu spre pod: detaliu și implementare

Retragerea de la forma compactă a volumului care formează intrarea principală acoperită a dat naștere la un planșeu care este delimitat de mediu interior încălzit la partea superioară și de mediu exterior la partea inferioară. Termoizolarea planșeului s-a realizat cu vată minerală bazaltică de 250 mm [89] grosime astfel încât să se asigure continuitate și în jurul grinzilor structurale care reprezintă

proeminențe geometrice ale plăcii de beton armat. Suplimentar, stratificația anvelopei beneficiază și de un strat de 30 mm grosime de polistiren extrudat [91].

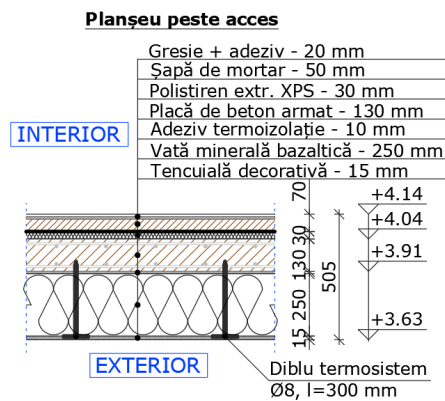


Figura 3.10 - Planșeu inferior: detaliu și implementare

Încăperea de aprovizionare a bucătăriei este considerată un spațiu neîncălzit datorită posibilităților tehnico-economice limitate de prevedere a unei uși tip garaj care să asigure etanșarea corespunzătoare. Nesiguranța respectării unor eventuale reglementări de ordine internă de staționare a vehiculului cu ușa închisă în timpul descărcării a reprezentat un motiv suplimentar pentru această abordare a spațiului. La nivelul temei de proiectare a instalațiilor termice s-a stabilit să nu se prevadă sisteme de distribuție a agentului termic în această încăpere.

Strategia de termoizolare a elementelor de construcție care delimitează volumul încălzit de acest spațiu neîncălzit a fost să se utilizeze principiile aplicate pentru elementele în contact cu exteriorul și anume termoizolare cu vată minerală bazaltică de 150 mm grosime la pereții [89] respectiv 250 mm la planșeul inferior [89].

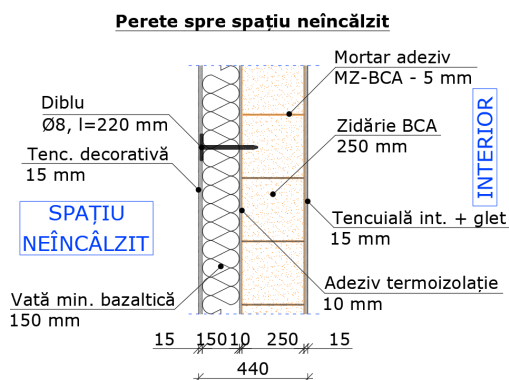


Figura 3.11 - Perete spre spațiu neîncălzit: detaliu și implementare

Una dintre consecințele configurării în plan a unui hol central longitudinal cu încăperi adiacente laterale este necesitatea iluminării naturale la capătul acestora prin pereții de calcan care trebuie să îndeplinească atât condiția de perete antifoc dar și de transluciditate care să asigure respectarea prevederilor Codului Civil în ceea ce privește suprafețelor vitrate de pe fațadele imobilelor amplasate în apropierea limitelor de proprietate. Soluția tehnică aleasă pentru îndeplinirea acestor condiții este umplerea golului din peretele exterior cu cărămidă de sticlă marca Seves Vetroarredo 1919/16 Clearview. Cărămizile au dimensiunea de 190 x 190 x 80 mm care sunt dispuse în strat dublu rezultând o grosime totală de 160 mm. Valoarea declarată a coeficientului de transfer termic este $U = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ [93].



Figura 3.12 - Perete din cărămidă de sticlă: detaliu și implementare

Fracțiunea predominantă a tâmplărilor utilizate s-au realizat din profile PVC marca Salamander bluEvolution92. Lățimea profilelor utilizate pentru tocurele de ferestre și uși este de 92 mm iar pentru cercevele și foi de ușă este de 103 mm. Valoarea declarată a coeficientului de transfer termic a gamei de profile este $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ [94]. La partea inferioară a ferestrelor și ușilor de la nivelul parterului care nu au parapet s-a prevăzut un profil de completare din aceeași gamă de 80 mm grosime care să asigure evitarea punții termice și continuitatea straturilor termoizolante. La partea inferioară a foilor de ușă s-a montat un profil prag de aluminiu de 92 mm lățime.

La partea inferioară a ferestrelor curente s-a montat un profil solbanc de 30 mm grosime pentru facilitarea montajelor de pervaze interioare și exterioare. Închiderea etanșă a cercevelor pe tocure se realizează cu trei rânduri de garnituri dar și prin închiderea mecanică a feroneriei în puncte multiple. Montajul tâmplăriei s-a realizat la exteriorul grosimii peretelui de închidere utilizând bride metalice și cu bandă de etanșare marca Illbruck Trioplex+ TP652 [95], Soudal SWS Universal Interior / Exterior [96], Penosil Premium Sealing Tape Internal / External [97] de 100 mm lățime, atât pe interior cât și pe exterior.

Configurarea tâmplăriilor s-a realizat astfel încât să se evite, pe cât posibil, utilizarea ochiurilor mobile în detrimentul ochiurilor fixe. Acest detaliu s-a putut realiza preponderent la parter iar la restul nivelurilor posibilitatea de deschidere a cercevelor a fost necesară din considerente de mentenanță. Un număr redus de poziții de tâmplărie au fost configurate astfel încât în cadrul supraluminii s-au integrat grilele de refulare către exterior ale centralelor de tratare a aerului pentru a evita alte perforări ale anvelopei termice. Ușile parterului sunt dotate cu dispozitive

de autoînchidere (amortizoare cu braț și balamale cu arc) care sunt montate pentru evitarea păstrării deschise a ușii.

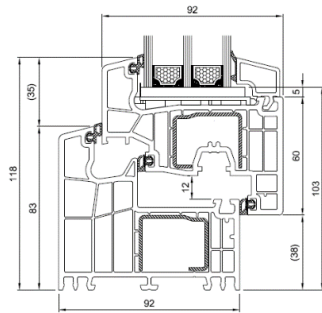


Figura 3.13 - Tâmplărie din profile PVC: detaliu și implementare

Vitrajele utilizate la tâmplăriile din profile PVC sunt de 52 mm grosime cu trei foi de sticlă (LE4/20Ar/4FI/20Ar/LE4) având valoarea declarată a coeficientului de transfer termic de $U = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ și a factorului solar $g = 0,54$ [98]. Distanțarea foilor de sticlă s-a realizat cu baghete termice de tip WarmEdge de 20 mm care are valoarea coeficientului liniar de transfer termic $\Psi = 0,039 \text{ W/mK}$ [99].



Figura 3.14 - Elemente vitrate sticlă

Ușa de intrare principală în clădire s-a realizat din profile din lemn stratificat marca IV78 din molid îmbinat în dinți. Utilizarea profilelor PVC pentru această aplicație nu s-a putut realiza din considerente de rezistență și stabilitate ale acestora dar și din cauza numărului mare de cicluri de deschidere-închidere. Valoarea declarată a conductivității termice a materialului lemnos utilizat pentru producția profilului este de $\lambda = 0,186 \text{ W/mK}$ [100]. Profilul de lemn de 78 mm grosime este completat cu elemente vitrate de 36 mm cu trei foi de sticlă (LE4/12Ar/4FI/12Ar/4FI) având valoarea declarată a coeficientului de transfer termic de $U = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ [101]. Panourile opace ale ochiurilor fixe inferioare și a foilor de ușă sunt realizate din două plăci de lemn laterale de 3 mm grosime fiecare și un strat interior termoizolant din polistiren extrudat de 30 mm [91]. La partea inferioară a foilor de ușă s-a montat un profil prag de aluminiu de 22 mm înălțime.

La partea inferioară s-a prevăzut un profil de lemn de completare de 80 mm grosime care să asigure evitarea punții termice și continuitatea straturilor termoizolante. La partea superioară s-au prevăzut două profile de lemn de completare în grosime totală de 250 mm pentru a putea conecta tâmplărie cu stratul de termoizolare din vată minerală a planșeului inferior de deasupra intrării

54 Conceptul de proiectare - 3.2

principale. Închiderea etanșă a foilor de ușă pe tocul principal se realizează prin două rânduri de garnituri iar dispozitivul de autoînchidere (amortizor cu braț) montat asigură evitarea păstrării deschise a ușii celei mai utilizate din clădire. Montajul tâmplăriei s-a realizat la exteriorul grosimii peretelui de închidere utilizând bride metalice și cu bandă de etanșare marca Penosil Premium Sealing Tape [97] de 100 mm lățime, atât pe interior cât și pe exterior.

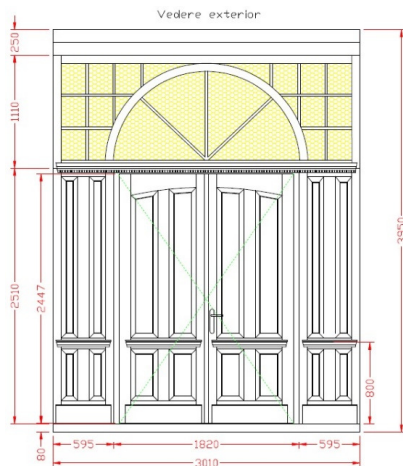


Figura 3.15 - Ușă principală din profile de lemn: detaliu și implementare

Ușa de garaj secțională pentru accesul de aprovizionare a bucătăriei este realizată dintr-o structură de susținere și acționare din oțel și dintr-un panou de ușă marca Kingspan format din înveliș de oțel galvanizat și nucleu de termoizolare din spumă rigidă cu structură celulară de 40 mm. Închiderea etanșă a panoului pe conturul ramei și la partea inferioară se realizează printr-un singur rând de garnitură. Valoarea declarată a conductivității termice a termoizolației panoului este $\lambda = 0,0224 \text{ W/mK}$ [102].

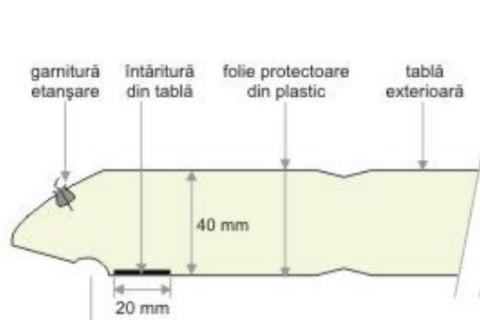


Figura 3.16 - Ușă tip garaj: detaliu și implementare

Comunicarea dintre volumul încălzit și încăperea de aprovizionare neîncălzită se realizează prin cele două uși interioare cu dimensiunea de 900 x 2050 mm și 1820 x 2070 mm. Cerința de delimitare între aceste două spații cu elemente de construcție rezistente la foc a impus utilizarea unor uși realizate cu toc de colț din

oțel galvanizat și foaie de ușă din înveliș de oțel galvanizat și miez din vată minerală de 60 mm grosime. Închiderea etanșă a foilor de ușă pe toc se face cu ajutorul unor garnituri termocontractile, iar etanșarea la partea inferioară a tâmplăriei, care nu este prevăzută cu un profil tip prag, se realizează printr-un accesoriu tip profil de măturare automată montat la baza foilor. Autoînchiderea ușilor se face prin utilizarea unor balamale cu arc care asigură evitarea păstrării deschise a lor. Valoarea declarată a coeficientului de transfer termic a tâmplăriei într-un singur canat este de $U = 1,49 \text{ W/m}^2\text{K}$ iar a tâmplăriei în două canaturi este de $U = 1,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ [103].

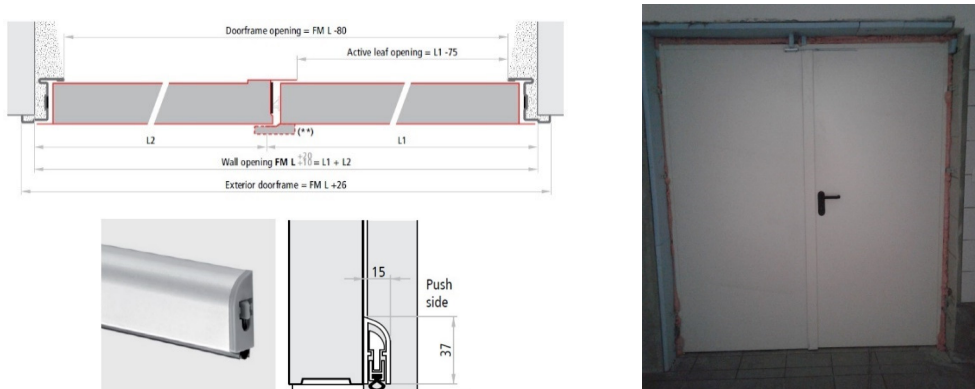


Figura 3.17 - Ușă metalică spre zonă aprovizionare: detaliu și implementare

Accesul în podul neîncălzit al clădirii se realizează printr-un singur chepeng amplasat în planșeul spre pod în zona casei de scară aferente intrării principale. Scara de acces utilizată este marca Fakro LWF 45 cu dimensiunea de 680 x 1380 x 370 mm. Structura tocului este realizată din lemn, iar foaia de ușă are grosime de 80 mm din care 74 mm reprezintă material termoizolant.

Dotările acesteia conțin trei rânduri de garnituri de etanșare pe întreg perimetrul închiderii foii pe tocul scării, kit de izolare marca LXD care asigură o izolare etanșă între toc și tavan, respectiv trapă superioară marca LXW care îmbunătățește parametrii termoizolatori și de etanșare ai scării. Trapa superioară este prevăzută cu o garnitură perimetrală suplimentară și o foaie de ușă termoizolantă de 36 mm grosime. Valoarea declarată a coeficientului de transfer termic a chepengului este $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ [104].



Figura 3.18 - Chepeng acces pod: detaliu și implementare

3.2.3. Limitarea punților termice

Performanța energetică a clădirii este dependentă într-o proporție semnificativă de rezistența la transfer termic medie corectată a întregii anvelope [20]. Pentru a obține un consum energetic redus este necesar să se configureze o anvelopă care are o rezistență termică cât mai ridicată. Eliminarea sau limitarea punților termice reprezintă un factor care influențează pozitiv performanța energetică a unei clădiri [20]. Astfel, utilizarea detaliilor care favorizează eliminarea punților termice în etapa de proiectare a fost un aspect prioritar.

Planșeul pe sol este o parte a anvelopei cu componentă de suprafață semnificativă. Limitarea pierderilor de căldură către sol reprezintă un capitol cu impact important asupra performanței energetice a clădirii [105]. Pe lângă dispunerea unui strat continuu de termoizolare, îmbunătățirea distribuției fluxului termic pe suprafața elementului de anvelopă se poate realiza prin prevederea unui strat de termoizolare pe suprafața verticală a fundațiilor perimetrice [106]. Această soluție tehnică limitează variația temperaturii solului pe perimetrul exterior al clădirii datorată condițiilor mediului exterior. Pierderile de căldură sunt dependente de diferența de temperatură dintre cele două medii între care se realizează fluxul termic.

Prin proiectarea unui strat de termoizolare din polistiren expandat de 120 mm [107] grosime pe înălțimea de 0,80 m la partea exterioară a fundațiilor perimetrice se obține atât scăderea pierderilor de căldură cât și limitarea punții termice de sub grinzile de soclu perimetrice.

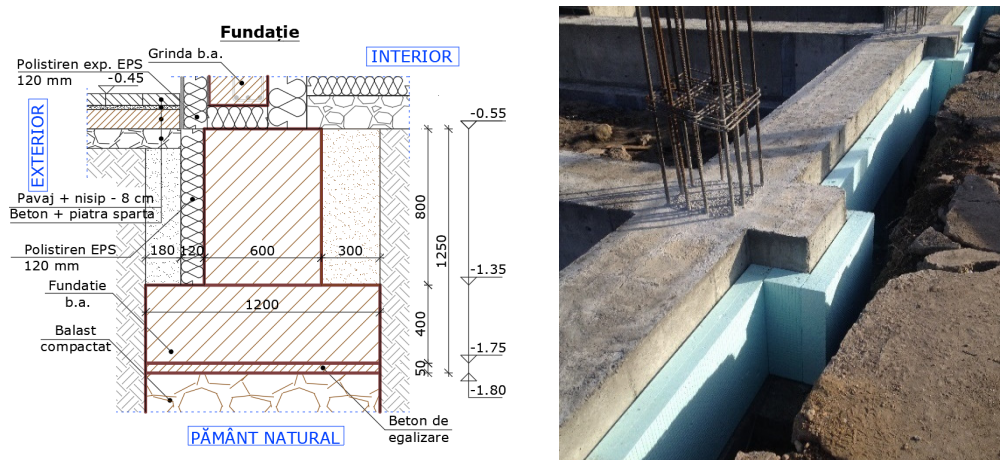


Figura 3.19 - Punți termice – fundații: detaliu și implementare

Modelul structurii principale s-a configurat în așa fel încât pereții nestructurali de închidere și de compartimentare de la nivelul parterului să descarce pe o rețea de grinzi continue care la rândul lor descarcă punctual în dreptul stâlpilor de beton armat de cadru. Grinzile cu dimensiunea de 200 x 350 mm au fost dimensionate și configurate în această manieră pentru a facilita termoizolarea continuă cu polistiren extrudat de 120 mm grosime [91] din jurul acestora și conexiunea dintre stratificația planșeului pe sol cu cel al pereților exteriori.

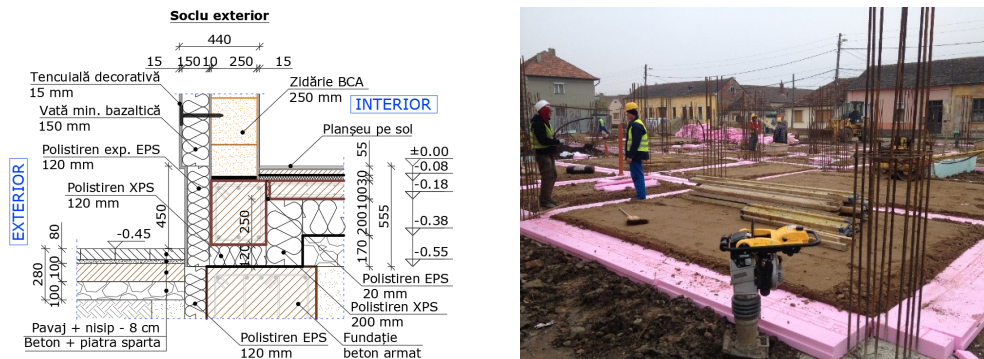


Figura 3.20 - Punți termice – soclu exterior: detaliu și implementare

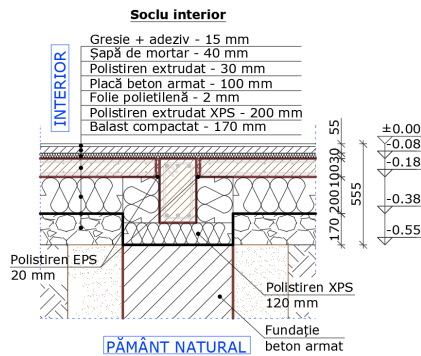


Figura 3.21 - Punți termice – soclu interior: detaliu și implementare



Continuitatea structurală între componentele portante ale infrastructurii și suprastructurii s-a efectuat punctual, la baza elementelor verticale. Aceste punți termice s-au considerat a fi acceptabile datorită limitării variației temperaturii solului de către mediului exterior prin dispunerea termoizolației laterale a fundațiilor perimetrice exterioare dar și a costului semnificativ de termoizolare similar, pe ambele părți, a fundațiilor interioare al planșeului pe sol. Suplimentar, pentru scăderea fluxului termic la baza stâlpilor de beton armat către exterior, s-a prevăzut o termoizolare adițională din polistiren extrudat de 50 mm grosime pe înălțimea soclului.

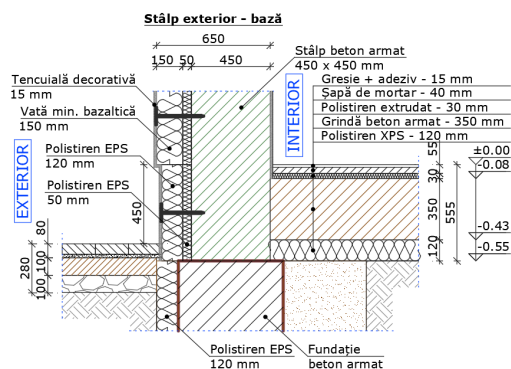


Figura 3.22 - Punți termice – stâlp exterior bază: detaliu și implementare



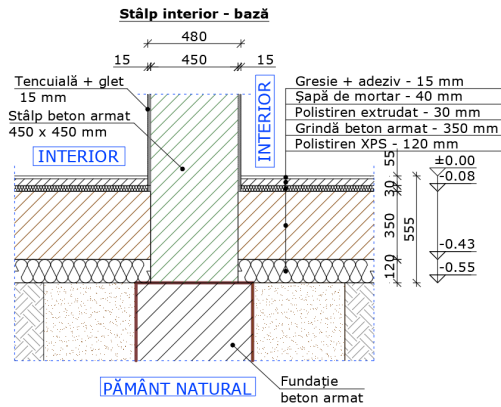


Figura 3.23 - Punți termice – stâlp interior bază: detaliu și implementare

În dreptul stâlpilor structurali perimetrali de beton armat cu secțiunea de 450 x 450 mm, care sunt parte componentă din anvelopa termică, pentru a compensa diferența mare de rezistență la transfer termic între beton și zidăria de BCA s-a dispus termoizolarea suplimentară în dreptul stâlpilor cu vată minerală bazaltică rigidă de 50 mm grosime[89]. Detaliile pereților de închidere perimetrali care să permită realizarea acestui detaliu au fost luate în considerare încă din fazele incipiente a etapei de proiectare. Toți stâlpii structurali din colțurile ieșinde și poziții intermediare de-a lungul laturilor perimetrare ale clădirii au fost prevăzuți cu respectarea acestui detaliu.

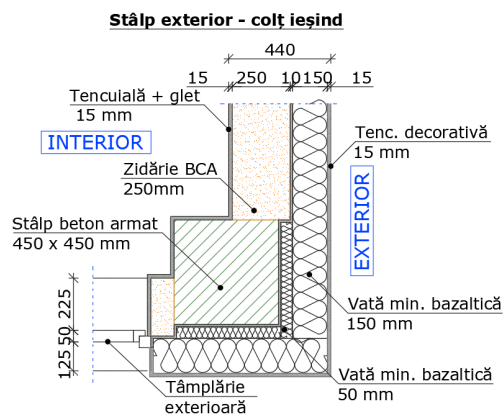


Figura 3.24 - Punți termice – stâlp exterior colț ieșind: detaliu și implementare

Puntea termică geometrică a colțurilor intrânde din dreptul stâlpilor de beton s-a înlăturat prin dispunerea continuă a termoizolației pereților exteriori. În aceste secțiuni nu a fost posibilă introducerea termoizolației suplimentare din cauza formei geometrice a colțului.

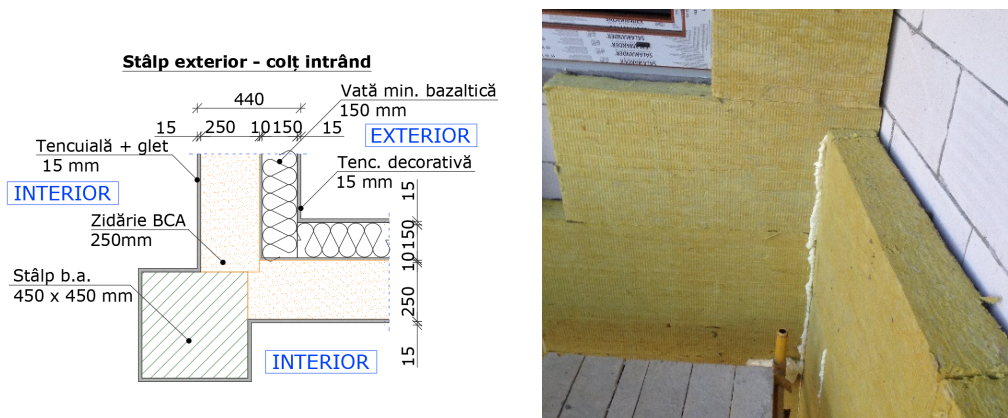


Figura 3.25 - Punți termice – stâlp exterior colț intrând: detaliu și implementare

Principiile tehnice de implementare a unui sistem de termoizolare continuu a anvelopei spațiilor încălzite s-au respectat și către zona de aprovizionare a bucătăriei care este considerată spațiu neîncălzit. Astfel, s-au respectat detaliile precum termoizolarea de 150 mm [89] a pereților către această încăpere, termoizolarea suplimentară de 50 mm [89] în dreptul stâlpilor structurali, termoizolarea de 250 mm [89] la partea inferioară a planșeului dintre parter și etajul 1, continuitatea acesteia în dreptul grinzilor structurale de la nivelul planșeului respectiv. Un detaliu unic al anvelopei se găsește la intersecția peretelui exterior al aprovizionării cu colțul casei scării, parte componentă a volumului încălzit. Eliminarea punții termice s-a realizat prin dublarea termosistemului de 150 mm pe ambele părți ale peretelui exterior.

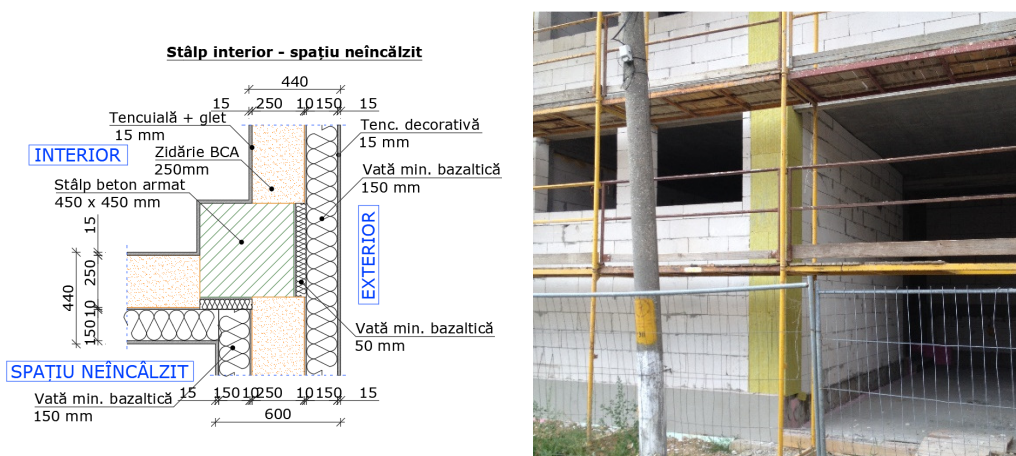


Figura 3.26 - Punți termice – stâlp interior spre spațiu neîncălzit: detaliu și implementare

În zona platformei de intrare principală acoperită există stâlpi de beton armat cu secțiunea de 450 x 450 mm, parte componentă a structurii principale de rezistență, a căror continuitate structurală nu a fost posibil de întrerupt. Acești stâlpi prezintă elemente exterioare la nivelul parterului respectiv elemente aflate în

60 Conceptul de proiectare - 3.2

interiorul anvelopei termice la restul nivelurilor superioare. Efectul punții termice în dreptul intersecției stâlpului cu anvelopa clădirii s-a limitat prin dispunerea unui strat de termoizolare perimetrală din vată minerală bazaltică rigidă de 50 mm grosime [89] pe întreaga înălțime a elementului structural până la intersecția cu termoizolația orizontală a planșeului inferior.

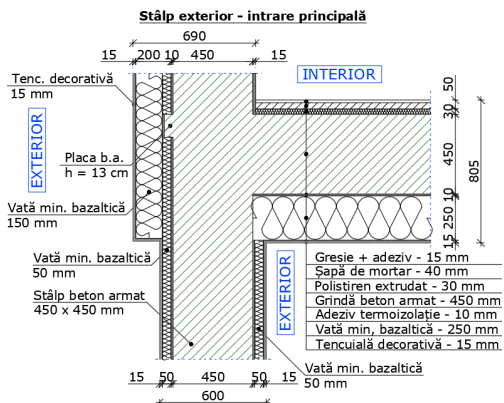


Figura 3.27 - Punți termice – stâlp exterior intrare principală: detaliu și implementare

Asemănător zonei anterioare, din considerente structurale, legătura în plan orizontal a elementelor vertical s-a realizat prin grinzi de beton armat cu secțiunea de 200 x 450 mm în axele perimetrare dar și pe direcția scurtă a planșeului inferior rezultat. Eliminarea punții termice s-a reușit prin îmbrăcarea întregii secțiuni a grinzii cu același principiu de termoizolare cu vată minerală bazaltică de 250 mm grosime [89].

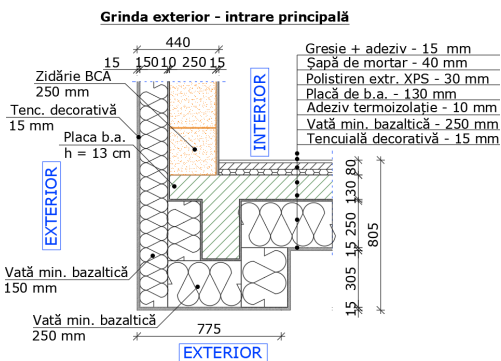


Figura 3.28 - Punți termice – grindă exterior intrare principală: detaliu și implementare

Pereții de calcan amplasați pe laturile Nord și Est a clădirii îndeplinesc și rolul de pereți antifoc dispuși pentru a compensa distanța în plan a imobilului față de clădirile învecinate [90]. Termosistemul peretelui exterior este prevăzut continuu până la partea superioară a aticului pentru a asigura planeitatea fațadei. Pereții respectivi reprezintă o zonă în care este imposibil de a întrerupe continuitatea structurală și de a conecta termoizolațiile din zona podului. Pentru a elimina puntea termică de la nivelul intersecției vatei de sticlă de la nivelul planșeului spre pod cu

peretii de calcan, s-a prevăzut urcarea termoizolației de grosime 150 mm [92] din interiorul podului pe o înălțime de 2,00 m pe perete.

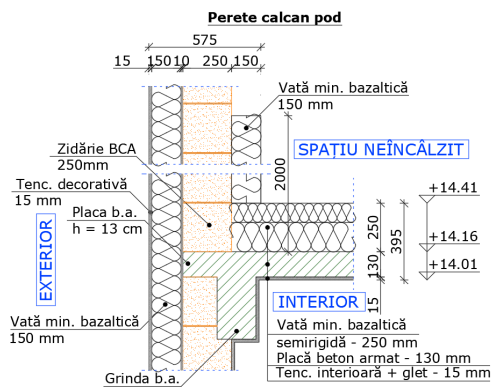


Figura 3.29 - Punți termice – perete calcan pod: detaliu și implementare

Cosoroaba este elementul structurii acoperișului care reazemă continuu pe placa de beton armat și asigură rezemarea părții inferioare a căpriorilor pe structura principală. Pentru a asigura conexiunea continuă a termoizolațiilor verticale de la nivelul peretilor cu cele orizontale de la nivelul planșeului spre pod s-a montat vată minerală bazaltică semirigidă [92], inclusiv pe înălțimea căpriorului de 150 mm în zona de intersecție cu cosoroaba.

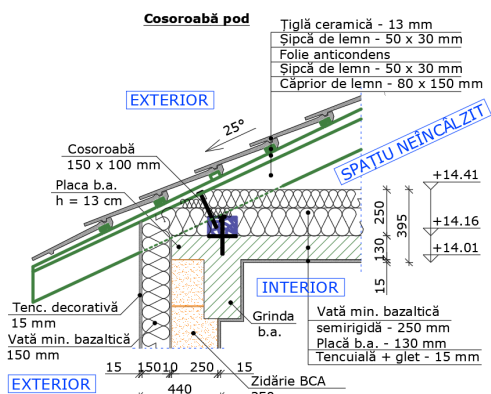


Figura 3.30 - Punți termice – cosoroabă pod: detaliu și implementare

Structura de rezistență a acoperișului de lemn este alcătuită astfel încât de-a lungul panelor curente sunt dispuși popi de lemn care asigură transmiterea încărcărilor gravitaționale spre structura principală de beton armat. În aceste zone de intersecție lemn-beton sunt dispuse tălpi de lemn pentru o distribuție mai uniformă a încărcărilor. Deasupra tălpilor de lemn cu înălțimea de 150 mm este amplasat un strat de termoizolare de vată minerală bazaltică semirigidă de 100 mm [92], iar suplimentar, pentru a elimina puntea termică punctuală, s-a montat un strat de 150 mm de termoizolație în lungul popului de lemn pe o înălțime de 1.00 m.

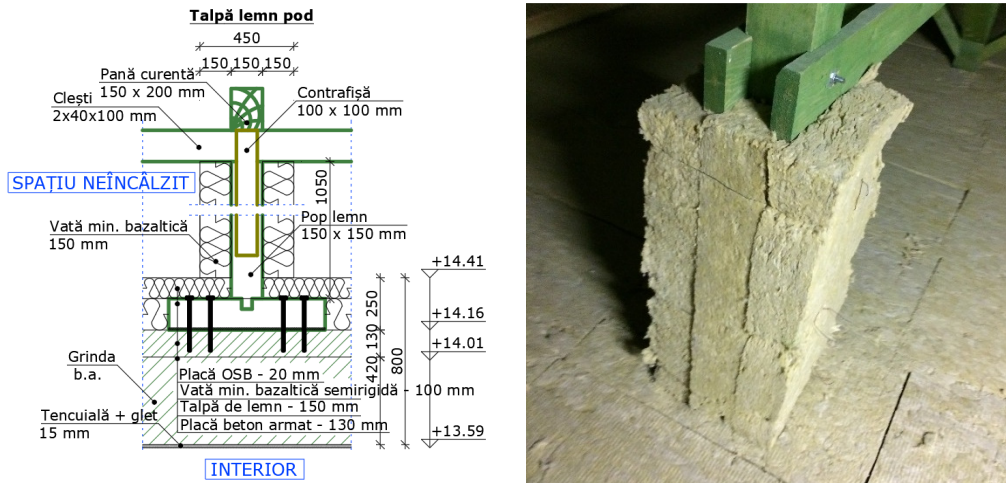


Figura 3.31 - Punți termice – talpă lemn pod: detaliu și implementare

Suprafețele mari vitrate necesare datorită funcționii de învățământ a clădirii reprezintă un element de anvelopă care influențează semnificativ performanța energetică globală a clădirii [56]. În consecință aceste elemente necesită soluții tehnice precum:

- dispunerea tocului tâmplăriei la intersecția planului peretelui de BCA cu cel al termosistemului, astfel limitând puntea termică de instalare de pe perimetrul intersecției tocului de tâmplărie cu peretele exterior
- utilizarea elementelor de vitraj cu trei foi de sticlă care sunt configurate cu distanțieri metalici care limitează puntea termică la nivelul intersecției sticlei cu profilul PVC
- utilizarea unui profil înălțător (solbanc) cu proprietăți termotehnice similare la partea inferioară de 30 mm pentru asigurarea spațiului necesar montării pervazelor de exterior și interior
- dispunerea termoizolației peretelui astfel încât să acopere 20 mm din suprafața tocului pe părțile marginale și superioare, astfel scăzând puntea termică de pe perimetrul intersecției tocului de tâmplărie cu peretele exterior
- utilizarea profilelor de adaos la partea inferioară la ferestrele fără parapet și ușile de exterior de la nivelul parterului, din gama producătorului de profile, respectiv dispunerea unui strat de termoizolare suplimentar de polistiren extrudat de 50 mm în spatele acestora în grosimea stratificației pardoselii, astfel eliminând puntea termică de la partea inferioară a acestor elemente
- utilizarea unui profil care permite instalarea a trei rânduri de garnituri la intersecția tocului cu cerceveaua aferentă și asigurarea controlului calității la montajul și reglajul tâmplăriei astfel încât să se limiteze puntea termică specifică
- montarea tocului de tâmplărie de peretele exterior utilizând bride, în detrimentul soluțiilor de prinderii mecanice care perforază profilul pe întreaga lățime a acestuia

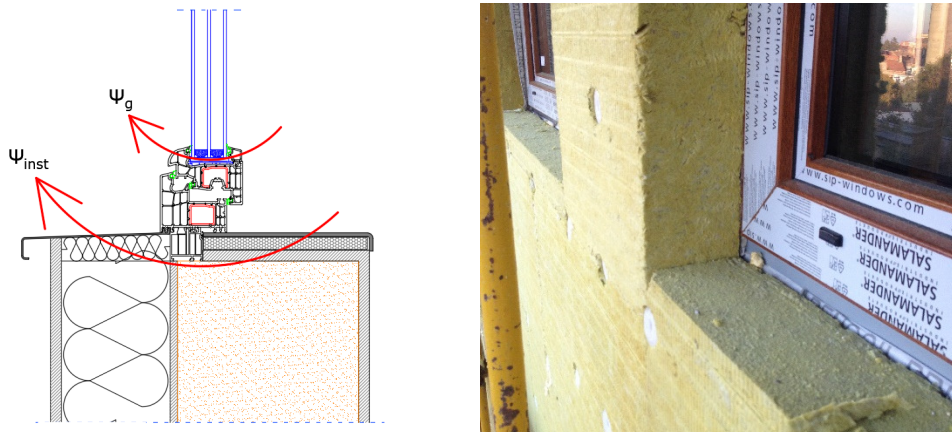


Figura 3.32 - Punți termice – tâmplărie curentă: detaliu și implementare

În zona caselor de scări tâmplăriile propuse din soluția de arhitectură au dimensiuni semnificativ mai mari decât cele curente. Astfel, prinderile mecanice a acestora în pereții exterior de închidere nestructurali din zidărie de BCA au ridicat probleme de stabilitate a elementelor neportante. Soluția tehnică structurală pentru asigurarea cerinței fundamentale de rezistență și stabilitate a constat în dispunerea unui profil țevă de oțel dreptunghiulară montată în planul termoizolației pereților care să preia încărcările gravitaționale din masa tâmplăriei. S-a dispus găurirea în planul longitudinal al profilului pentru a asigura posibilitatea umplerii volumului gol al acestuia cu spumă poliuretanică pentru a limita puntea termică aferentă.

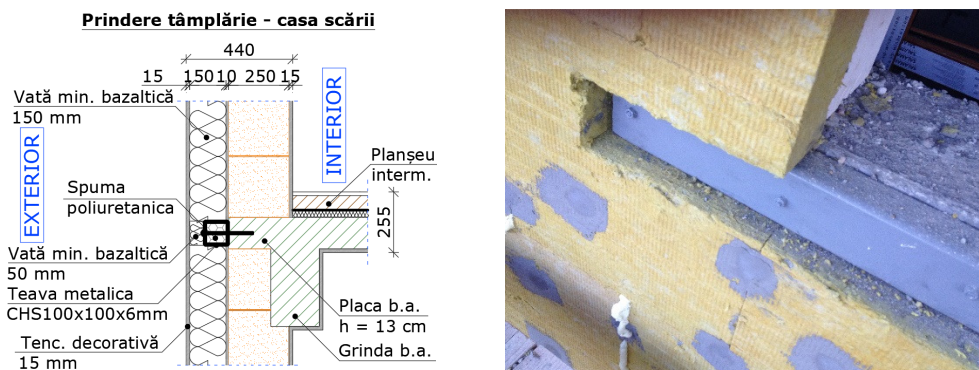
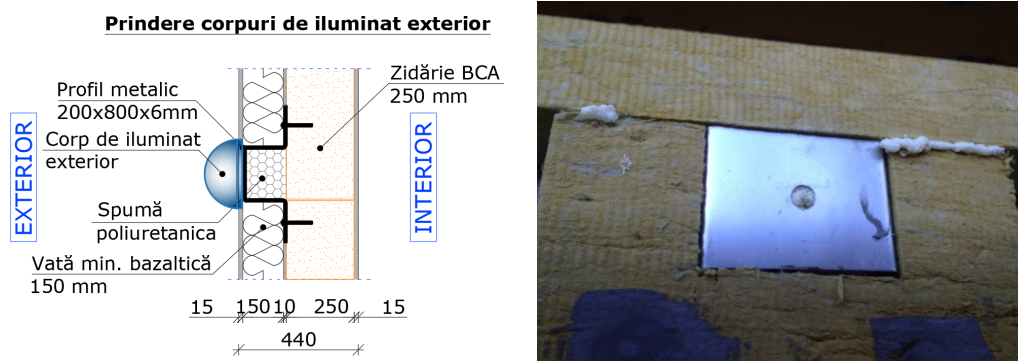


Figura 3.33 - Punți termice – tâmplărie casa scării: detaliu și implementare

Corpurile de iluminat de exterior care asigură lumină artificială pe timpul nopții necesită un detaliu de prindere mecanică într-un element rigid al clădirii, respectiv implică o perforare a peretelui exterior cu un cablu pentru alimentarea cu energie electrică. Astfel, în mod curent, acest detaliu este rezolvat prin lipsa termoizolației în zona de prindere rezultând o punte termică punctuală. Pentru a elimina efectul acestei punți termice, s-a confecționat un element de oțel care să permită umplerea spațiului din spatele acestuia cu spumă poliuretanică [108]. De asemenea, s-a asigurat umplerea suplimentară a găurii de traversare a peretelui de către cablul de alimentare pentru eliminarea neetanșității anvelopei.



3.2.4. Asigurarea etanșeității

Gradul de etanșeitate a anvelopei termice se reflectă în numărul de schimburi de aer pe oră respectiv în viteza de ventilare naturală a clădirii [56]. Viteza de ventilare naturală este determinată, în principal, de neetanșeitățile tâmplărilor exterioare pe perimetrului de instalare a acestora și la nivelul garniturilor de închidere, de goluri în elemente de anvelopă opace cauzate de treceri alte conductelor sau cablurilor, dar și de intersecțiile diferitelor tipuri de materiale de construcție.

Soluțiile tehnice implementate pentru asigurarea etanșeității corespunzătoare sunt: utilizarea profilelor de tâmplărie cu trei rânduri de garnituri, montarea tâmplărilor cu bandă de etanșare de interior și exterior cu lățimea de 100 mm, lipirea corespunzătoare a bandelor de etanșare pe tocul profilelor și pe stratul suport, limitarea perforării pereților și planșeelor exterioare cu țevi și cabluri, etanșarea golurilor pentru instalații care nu s-au putut evita la nivelul anvelopei termice.

Golurile de instalații de la nivelul pereților cuprind: alimentare cu cablu electric a corpurilor de iluminat de exterior și a camerelor de supraveghere, alimentare cu gaz a consumatorilor de bucătărie și grile de refulare a sistemelor de ventilare mecanică. Planșeul spre pod este perforat de către țevile sistemului de aerisire a coloanelor de canalizare menajeră și cutiile plenum ale grilelor de refulare și aspirație a sistemului de ventilare mecanică a etajului 3.

Prin scăderea numărului de schimburi se obține reducerea necesarului de energie pentru încălzire sau răcire. Valoarea recomandată de Passive House Institute pentru acest parametru este $n_{\max} = 0,60 \text{ h}^{-1}$ [70]. Verificarea îndeplinirii condiției se poate realiza prin proceduri de măsurare utilizând tehnologia Blower-Door [85]. În cadrul implementării investiției s-a realizat măsurarea etanșeității și rezultatele respectiv condițiile de testare sunt prezentate în Capitolul 5. Îndeplinirea condiției de etanșeitate a reprezentat o clauză contractuală pentru decontarea lucrărilor de furnizare și montaj tâmplărie. Controlul calității lucrărilor de montaj și reglaj tâmplărie, în faze intermediare, s-a realizat prin verificarea fiecărei poziții de tâmplărie în parte, impunerea rectificării închiderii etanșe a cercevelor și montarea corespunzătoare a benzilor de etanșare perimetrare.



Figura 3.35 - Utilizarea benzilor de etanșare la montarea tâmplăriei

3.2.5. Orientarea clădirii

Façadele principale, pe care sunt amplasate ferestrele prevăzute pentru iluminarea naturală a încăperilor esențiale sunt amplasate pe orientarea Nord și Sud. Clădirile învecinate au regim de înălțime parter, respectiv parter și etaj, care nu umbresc suprafețele vitrate ale clădirii noastre.

Elementele de envelopă care comunică cu mediul exterior sunt clasificate și în funcție de orientarea după punctele cardinale pentru a lua în calcul radiația solară globală și intensitatea radiației solare pentru fiecare orientare, ca parte componentă a calculului de bilanț energetic.

Tabelul 3.4 - Elemente de envelopă – orientare față de punctele cardinale

Orientare - Nord		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior	PE_N	518,75
Tâmplărie PVC	F_N	189,54
Tâmplărie metalică	U_N	1,85
Aria totală		710,14

Orientare - Est		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Est	PE_E	280,91
Tâmplărie PVC	F_E	33,58
Tâmplărie metalică	U_4	3,77
Aria totală		318,26

Orientare - Sud		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Sud	PE_S	419,14
Tâmplărie PVC	F_S	288,20
Aria totală		707,34

Orientare - Vest		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Vest	PE_V	205,11
Tâmplărie PVC	F_V	110,00
Tâmplărie de lemn	U_V	10,90
Aria totală		326,01

Clasificarea în detaliu a fiecărui element de anvelopă independent, în funcție de orientare față de punctele cardinale, este prezentată în Anexa 4.

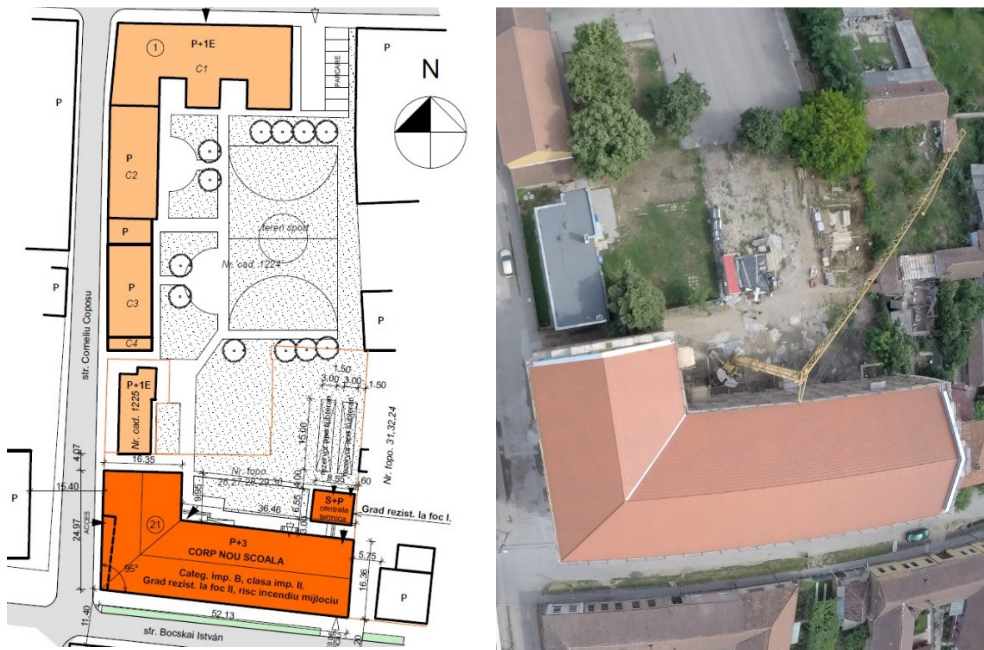


Figura 3.36 - Plan de situație și orientare clădire



Figura 3.37 - Fațadă sudică

3.2.6. Sursa de încălzire / răcire și apă caldă menajeră

Asigurarea agentului termic necesar pentru instalațiile termice și apa caldă menajeră ale clădirii se realizează într-un imobil independent cu funcțiune strict tehnică [87]. Crearea unui nou corp cu această funcțiune s-a datorat faptului că suprafața necesară mare pentru spațiile tehnice nu s-a putut îngloba fezabil cu restul funcțiunilor civile și sociale în clădirea principală. Amplasarea spațiului tehnic în cadrul terenului s-a realizat spre curtea interioară și la o distanță minimă de 3,00 m de clădirea de învățământ. Comunicarea tehnică dintre cele două corpuri, și anume traversarea coloanelor principale de utilități, se face la nivel subteran pentru a limita pierderile de căldură pe lungimea traseului extern. Configurarea spațiului tehnic s-a făcut în regim de înălțime subsol și parter tocmai pentru a facilita comunicarea optimă cu distribuția forajelor și coloanelor principale de alimentare a clădirii principale.

Agentul termic pentru încălzire, răcire și apă caldă menajeră este realizat cu ajutorul a două sisteme de pompe de căldură reversibile integrate marca Dimplex SI 75TER+ [109] și rezervor tampon puffer marca Dimplex PSW1000 [110] cu capacitatea de stocare de 1000 L și termoizolație din spumă poliuretanică de 90 mm grosime. Motivele principale ale alegerii tehnice se datorează coeficienților de performanță (COP) ridicate și faptul că necesită doar alimentare cu energie electrică. Cele două pompe de căldură au fiecare câte o putere instalată de 75 kW și sunt de tipuri diferite: apă-apă și sol-apă.

COP-ul pompelor de căldură în perioada de iarnă și în condițiile funcționării ambelor compresoare interne este de $COP_{i,2C} = 3,20$ [109] iar pentru funcționarea unui singur compresor este de $COP_{i,1C} = 3,55$ [109], aferent temperaturii agentului termic de 45°C și temperaturii solului de 10°C.

COP-ul în perioada de vară și în condițiile funcționării ambelor compresoare interne este de $COP_{r,2C} = 5,40$ [109] iar pentru funcționarea unui singur compresor este de $COP_{r,1C} = 8,10$ [109], aferent temperaturii agentului termic de 10°C și temperaturii solului de 10°C.

În cazul preparării agentului termic pentru apă caldă menajeră, COP-ul pompelor în condițiile funcționării unui singur compresor intern este de $COP_{ACM,1C} = 2,85$ [109] aferent temperaturii agentului termic de 55°C și temperaturii solului de 10°C.

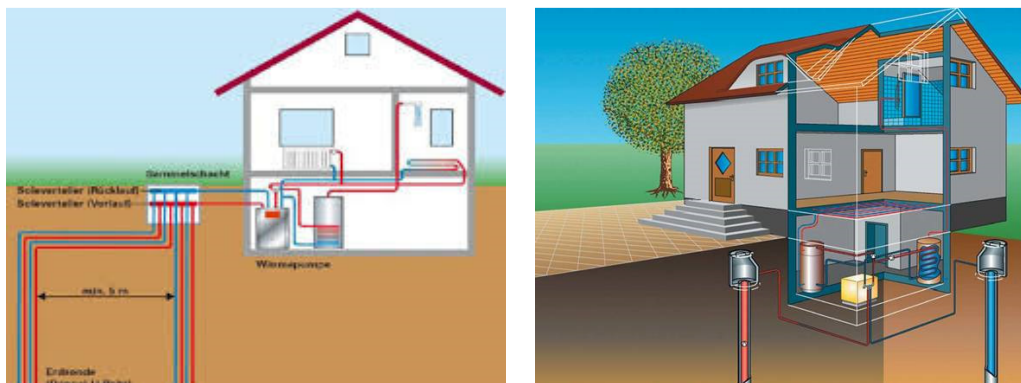


Figura 3.38 - Principii de configurare pompe de căldură [111][112]

Alegerea sistemelor diferite s-a datorat strategiei de prevedere a unor multiple tipuri de surse tocmai pentru a preveni situațiile în care defecțiunile specifice a unui sistem să perturbe alimentarea continuă a clădirii cu agent termic dar și de a avea posibilitatea de a analiza în detaliu comportarea și eficiența sistemelor pentru aplicația în cauză.

Principiul de funcționare a pompelor de căldură apă-apă implică utilizarea unor foraje de extracție, care extrag apa cu temperatură ridicată de la o adâncime mare, a unui schimbător de căldură prin care se transferă energia termică a apei extrase către sistemul interior de distribuție și a unor foraje de injecție care returnează apa uzată înapoi în terenul natural.

Caracteristicile sistemului utilizat cuprind o putere instalată de 75 kW, câte două foraje de extracție și injecție de 125 mm diametru la 110 m adâncime în care sunt introduce țevi din polietilenă de înaltă densitate PE100 Dn 90x5.4 și un schimbător de căldură în plăci marca Danfoss XGM050H-1-77 Cool Pack [113]. Cele două foraje de extracție sunt dotate cu pompe submersibile amplasate în cămine de vizitare de beton. Dimensionarea schimbătorului de căldură s-a făcut pentru următoarele temperaturi ale agentului primar (apă foraj): $T_{tur} = 10^{\circ}\text{C}$ și $T_{retur} = 7^{\circ}\text{C}$.

Pompa de căldură sol-apă implică utilizarea unor grupuri de foraje verticale de adâncime în care se introduc țevi de polietilenă în circuit sub forma literei U și schimbătoare de căldură.

Caracteristicile sistemului utilizat cuprind o putere instalată de 75 kW, zece foraje vertical de 110 mm diametru la 120 m adâncime în care sunt introduce țevi din polietilenă de înaltă densitate PE100 Dn 40x2.4. Amplasarea forajelor s-a făcut astfel încât distanța în plan dintre acestea să fie cel puțin 6.00 m. Puțurile forajelor s-au umplut cu un amestec format din bentonită 9%, ciment 9%, nisip 27% și apă 55% astfel încât să se obțină o conductivitate termică a umpluturii de $\lambda = 0,80$ W/mK. Agentul termic primar este format din apă distilată în amestec cu 25% monoethyleneglycol.

Distribuția tuturor țevilor din foraje din ambele sisteme s-a făcut în terenul natural, fără a se utiliza un distribuitor colector extern și astfel intrând individual în spațiul tehnic. La nivelul subsolului acestuia, țevile aferente ambelor sisteme sunt centralizate, separat pentru fiecare sistem, în coloane tur și retur înainte de interacțiunea cu pompele de căldură.

În urma realizării primului foraj s-a realizat un test de răspuns termic a acestuia pentru verificarea parametrilor măsurăți cu valorile luate în calculul de dimensionare. Astfel, puterea instalată medie reală a unui foraj s-a determinat la 7,40 kW, respectiv 61,66 W/m de foraj.



Figura 3.39 - Cămin foraj și centrală termică

S-a optat pentru instalarea a unei centrale în condensatie cu funcționare pe combustibil gazos marca Viessmann Vitodens 200W B2HA [114] de putere instalată 99 kW și un randament de 92%, ca și sursă de rezervă pentru sistemul de pompe de căldură pentru asigurarea necesarului de energie pentru încălzire și apă caldă menajeră în cazul unor avarii sau lucrări de mentenanță. Forajele de extracție a pompelor de căldură apă-apă pot întâmpina probleme specifice de înfundare, iar curățarea acestora implică lucrări de denisipare executate cu echipamente speciale. Dotarea spațiului tehnic cu centrale cu combustibil gazos este fezabilă și datorită existenței bransamentului de alimentare cu gaz a dotărilor tehnologice a bucătăriei.

Prepararea apei calde menajere se realizează prin intermediul unui schimbător de căldură cu acumulare marca Elbi BF-2-3000 [115] având volumul de 3000 L termoizolat cu spumă poliuretanică de 50 mm grosime.



Figura 3.40 - Pompe de căldură și distribuitor foraje

3.2.7. Sistemul de distribuție a instalațiilor termice și sanitare

În interiorul centralei termice, toate distribuțiile de agent termic sunt realizate din țevi de oțel termoizolate cu spumă elastomerică pe bază de cauciuc sintetic [116] de 19 mm și 13 mm grosime pe toată lungimea traseelor acestora, în funcție de diametrul și funcțiunea fiecăreia. Sunt utilizate distribuitoare pe circuitele tur și retur ale forajelor verticale, ale alimentării cu agent termic a clădirii pentru încălzire / răcire și apă caldă menajeră, respectiv pentru alimentarea cu apă rece [87]. Circulația agentului termic în centrala termică și pe traseul instalațiilor interioare sunt realizate cu ajutorul unor pompe de circulație montate pe circuitele principale de tur ale instalației de încălzire și răcire, pe circuitul principal de retur al apei calde menajere, pe circuitele principale de tur ale forajelor, pe circuitele de tur al apei calde menajere între pompe de căldură - boiler și pe circuitele de retur ale agentului termice de încălzire / răcire între pompă de căldură – rezervor tampon de acumulare.

Traseul instalațiilor dintre clădirea principală și centrala termică s-a realizat subteran la o adâncime de 1,00 m de la cota terenului sistematizat folosind țevi de oțel preizolate cu spumă poliuretanică [117] de 50 mm grosime. Coloanele verticale prin ghene și distribuția orizontală principală a circuitelor interioare prin tavane sunt realizate din țevi de oțel termoizolate cu spumă elastomerică [116] de 19 mm și 13 mm grosime pe toată lungimea traseelor acestora, în funcție de diametrul și funcțiunea fiecăreia. Alimentarea distribuitorilor de nivel din distribuția orizontală principală respectiv a corpurilor de încălzire / răcire din distribuitorii de nivel se

realizează prin conducte de polietilenă reticulată tip Xa [118] termoizolate cu spumă elastomerică [116] de 13 mm și 9 mm grosime, iar traseele acestora sunt dispuse în termoizolația interioară de 30 mm grosime a pardoselilor.



Figura 3.41 - Distribuitor și coloane principale instalații termice

Corpurile de distribuție a agentului termic în încăperi sunt de tipul:

- Ventilconvectoare carcasate de pardoseală montate vertical marca Denco Happel Flex-Geko [119] cu refulare verticală pentru marea majoritate a încăperilor.
- Ventilconvectoare necarcasate de tavan marca Denco Happel Flex-Geko [119] cu refulare prin grile de tavan pentru grupurile sanitare publice respective sala de mese.
- Radiatoare de oțel pentru grupurile sanitare ale unității de cazare.

Comanda corpurilor interioare se face prin termostate de ambient pentru fiecare încăpere în parte. Încăperile cu mai multe ventilconvectoare de pardoseală și cele cu ventilconvectoare de tavan sunt reglate printr-un singur punct de comandă poziționat pe peretele fiecărei încăperi, iar cele care au un singur ventilconvector de pardoseală are termostatul montat direct pe aparat. Radiatoarele sunt prevăzute cu robineti termostatici. Temperatura de lucru a tuturor corpurilor interioare este de 45/35°C pentru încălzire și de 10/15°C pentru răcire.



Figura 3.42 - Ventilconvectoare de pardoseală și tavan

3.2.8. Ventilare mecanică cu recuperare de căldură

Asigurarea aerului proaspăt a clădirii se face cu ajutorul unor sisteme de ventilare mecanizată cu recuperare de căldură. Configurarea sistemelor s-a realizat în așa fel încât să rezulte instalații independente pentru fiecare funcțiune principală respectiv care au regimuri diferite de utilizare [87]. Astfel, clădirea este dotată în total cu șase sisteme independente și anume: bibliotecă, sală de mese, bucătărie precum și câte unul pentru fiecare etaj.

Cu excepția bucătăriei, fiecare sistem este alcătuit dintr-o centrală de tratare a aerului (CTA), comunicarea acesteia cu exterior și distribuția interioară a aerului. Specificul bucătăriei implică o alcătuire care se diferențiază de sistemele anterioare prin înlocuirea CTA-ului cu două ventilatoare de extracție și introducere, un recuperator de căldură, dar și prin prevederea unei hote tehnologice.

Principiul recuperării de căldură aplicate este cel al schimbării de căldură cu flux încrucișat, în care transferul termic dintre aerul proaspăt din exterior către aerul uzat din interior se face prin perețele comun al celor două trasee, dar fără amestecarea directă a acestora.

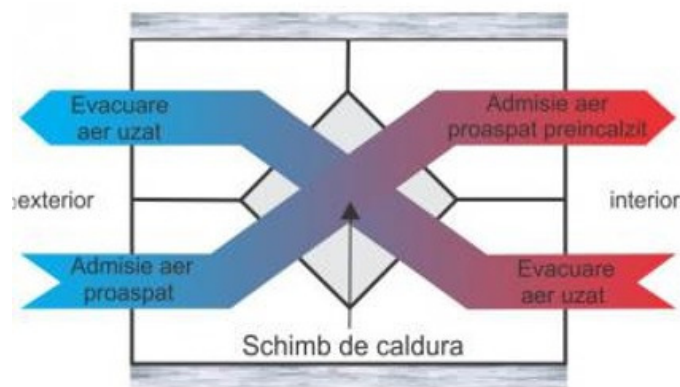


Figura 3.43 - Schemă de principiu recuperator de căldură [120]

Amplasarea CTA-urilor și a distribuției tubulaturii de la primele trei niveluri ale clădirii s-a făcut în tavanele false iar sistemul ultimului nivel este în spațiul neîncălzit al podului. Poziționarea în pod a fost necesară din cauza înălțimii brute necorespunzătoare a etajului 3 pe când spațiul necesar instalării ventilației la restul nivelurilor a fost posibilă datorită înălțimilor libere necesare funcțiunii. Poziționarea CTA-urilor s-a ales în apropierea pereților exterior astfel încât traseul de comunicare al acestora cu mediul exterior să fie cât mai scurt și în locuri care să permită accesul corespunzător pentru mentenanță. CTA-urile etajelor 1 și 2 sunt poziționate în tavanele grupurilor sanitare publice datorită înălțimii utile necesare mai mici și posibilitatea de intervenție la echipament cu deranjarea minimă a procesului de învățământ. Restul CTA-urilor din interiorul volumului încălzit (bibliotecă și sală de mese) și sistemul specific al bucătăriei sunt amplasate în tavanele încăperilor pe care le deservesc.

CTA-urile utilizate au capacitatea debitului de aer vehiculat de 1000 m³/h în cazul bibliotecii (model Mandik AHU P2 1000 [121]) și 4000 m³/h (model Mandik AHU P5 4000 [121]) în cazul celorlalte. Randamentul de recuperare de căldură a acestora este de 68% [121] iar pereții de închidere a echipamentelor sunt

termoizolați cu spumă poliuretanică [108] de 50 mm grosime. Sistemul bucătăriei este dotat cu ventilatoare de evacuare și introducere marca Maico CC-SHT 452-F300-120 de 10000 m³/h [122], recuperator de energie marca Atrea RVZ-P-K/F 750 [123] de capacitate maximă de 10000 m³/h și hotă care să asigure între 30 și 50 de schimburi orare. Randamentul recuperatorului, este de 56% în perioada de iarnă și 49% în perioada de vară [123].



Figura 3.44 - Centrală de tratare a aerului și hotă bucătărie

Comunicarea cu mediul exterior a echipamentelor din interiorul anvelopei termice, atât pentru introducerea de aer proaspăt cât și pentru evacuarea aerului viciat, se face prin tubulatură rectangulară din tablă galvanizată cu grile montate pe tocurele de tâmplărie exterioară. Coloanele principale de distribuție sunt realizate din tubulatură rectangulară din care se alimentează grilele de refulare și aspirație a încăperilor cu tubulatură circulară flexibilă izolată. Termoizolarea tubulaturilor s-a dispus pe toate circuitele de refulare cu vată minerală bazaltică lamelară [124] de 20 mm grosime caserată cu folie de aluminiu. Termoizolarea acestor circuite s-a făcut pentru limitarea pierderilor de căldură pe traseu și din cauza dotării cu baterie de prerăcire a CTA-urilor care pot crea condens. Principiul de circulație a aerului în zona de învățământ a etajului 1 și 2 este de introducere prin perete în săli, grile de transfer în uși și evacuare prin tavanul holurilor de circulație. Principiul de circulație a aerului în bibliotecă și în sala de mese este de introducere prin tavan în apropierea ferestrelor și evacuare prin tavan în apropierea pereților interiori.

Tubulatura de comunicare a CTA-ului din pod cu mediul exterior dar și coloanele principale de distribuție sunt realizate din tubulatură circulară din tablă galvanizată și sunt termoizolate cu spumă elastomerică pe bază de cauciuc sintetic [116] de 19 mm și vată minerală bazaltică lamelară [124] de 50 mm grosime cașerată cu folie de aluminiu. Termoizolarea suplimentară a tuturor circuitelor de ventilare amplasate în pod s-a făcut pentru limitarea pierderilor de căldură către spațiul neîncălzit. Grilele de refulare și aspirație a încăperilor, care sunt amplasate în golurile din planșeul spre pod sunt conectate la coloanele principale prin tubulatură circulară flexibilă izolată. Grilele de refulare și aspirație a aerului proaspăt ale CTA-ului din pod sunt poziționate pe perețele de calcan. Principiul de circulație a aerului la zona de internat a etajului 3 este de introducere prin tavan în camere, grile de transfer în uși și evacuare prin ghețele grupurilor sanitare.

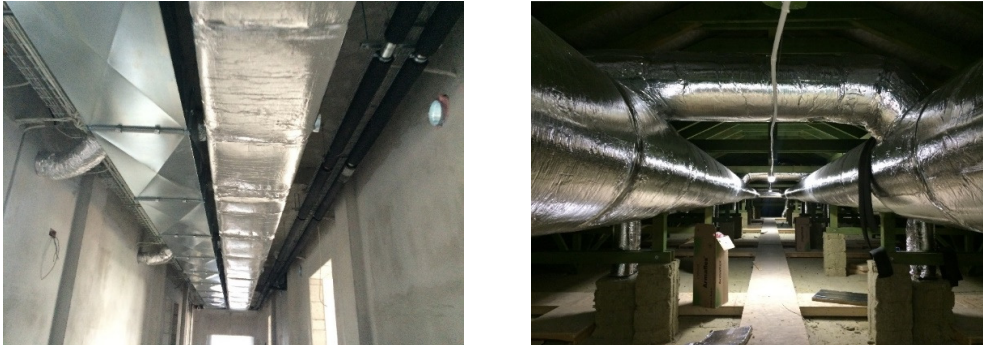


Figura 3.45 - Distribuție interioară instalație de ventilare

În cazul încăperilor interioare, introducerea și evacuarea aerului se face prin grile de refulare cu jaluzele reglabile de perete și de tavan amplasate pe cutii plenum cu clapete de reglare. Amplasarea grilelor de comunicare cu mediul exterior s-a poziționat pe fațade în așa fel încât să existe o distanță cât mai mare (4-6 m) în plan orizontal dar și în plan vertical între sistemele independente.

Automatizarea funcționării instalațiilor de ventilare sunt în funcție de nivelul de CO₂ detectat de senzori pe coloane principale de aspirație, înainte de intrarea în CTA. Turația ventilatoarelor sunt reglate automat pentru păstrarea în limite optime a nivelului de CO₂ a încăperilor cu grad de ocupare ridicat.

3.2.9. Evaluarea costurilor de investiție ale clădirii

Înainte de elaborarea proiectului tehnic, s-a întocmit un studiu preliminar comparativ al costurilor globale ale clădirii în două variante constructive: tradițional și eficient energetic. Scopul studiului a fost să ofere investitorului informații preliminare în ceea ce privește diferențele financiare între soluții pe o durată de viață de 50 de ani. Informațiile rezultate au stat la baza deciziei investitorului de a prevedea cerința de eficiență energetică în tema de proiectare.

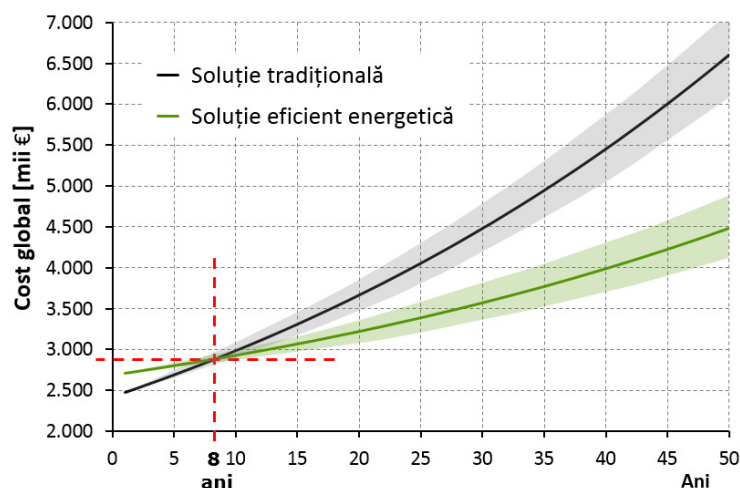


Figura 3.46 - Studiu comparativ al costurilor globale

Pentru evaluarea costurilor globale s-au luat în considerare costurile inițiale de implementare și costurile de utilizare. Studiul comparativ a fost realizat cu datele financiare ale anului 2014 în care valoarea TVA a fost de 24% și s-au luat în considerare o rată de actualizare de 2%, o rată de devalorizare de 3% și un curs RON/EUR de 4,45. Costurile specifice de investiție inițială sunt prezentate în raport cu aria desfășurată a clădirii de 4000 m².

Costurile inițiale mai ridicate de implementare a soluției eficiente energetic sunt alcătuite din:

- asistența tehnică de eficiență energetică
- controlul calității
- cantitate mai mare de termoizolare a anvelopei
- calitatea superioară a tâmplăriei exterioare
- performanța tehnică superioară a instalației de ventilare și a echipamentelor
- utilizarea unei instalații comune de încălzire și răcire prin ventilconvectoroare în detrimentul sistemelor independente
- alegerea pompelor de căldură cu foraje verticale în detrimentul cazanelor în condensare pe gaze naturale
- utilizarea corpurilor de iluminat cu surse LED în detrimentul celor cu surse incandescente sau fluorescente

Rezultatele evaluării costului inițial al clădirii în variantă eficientă energetic este de 565 EURO + TVA / m² iar pentru varianta tradițională este de 510 EURO + TVA / m². Diferența de cost dintre cele două variante este de doar 10%.

Costurile de utilizare considerate sunt reprezentate de întreținere, reparații, înlocuiri și modernizări.

Costurile de întreținere sunt alcătuite din contravaloarea consumurilor de energie pentru instalațiile termice, apă caldă menajeră, ventilare mecanică și iluminat. În cazul clădirii tradiționale s-a considerat un consum specific total de 250 kWh/m²/an (aferent încadrării consumului total al clădirii în clasa energetică C) iar pentru clădirea eficientă energetic s-a considerat de 45 kWh/m²/an (considerând încadrarea consumului total al clădirii în clasa energetică A și evaluând preliminar prin calcul simplificat). Prețurile energiei luate în calcul sunt cele aferente valorilor medii naționale pentru a doua jumătate a anul 2014 (anul lansării investiției) și astfel pentru energia electrică este de 0,453 RON + TVA / kWh iar pentru gazele naturale este de 0,112 RON + TVA / kWh. Suma costurilor de reparații, înlocuiri și modernizări sunt considerate a fi 3% din valoarea costurilor de întreținere în varianta tradițională și 10% în varianta eficientă energetic.

Diferența costurilor inițiale mai mari de aproximativ 10% ale clădirii eficiente energetic, determinate prin evaluarea preliminară a celor două variante constructive, sunt amortizate într-un interval de 8 ani prin costurile semnificativ mai reduse ale consumului de energie. Diferențele costurilor globale după 50 de ani de utilizare, luând în calcul varianta pesimistă a neîndeplinirii ipotezelor de calcul în cazul construcției eficiente energetic și varianta optimistă în cazul construcției tradiționale, este de cel puțin de patru ori mai mare decât diferența de costuri inițiale.

4. EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE A CLĂDIRII

4.1 Consum de energie încălzire

Consumul total de energie termică a instalației de încălzire (Q_{inc}) este definit de consumurile pentru producerea energiei termice și pierderile din subsistemele sale. Instalația de încălzire este alcătuită din sursa de preparare a agentului termic prin pompele de căldură, pompe de circulație, rezervor de acumulare, sistem de distribuție prin conducte și ventiloconvectoare (VCV) interioare.

Pompele de circulație și motoarele VCV reprezintă singurele componente ale sistemului care nu se raportează la performanța sursei de agent termic și astfel cantitatea total necesară de energie electrică a instalației ($Q_{f,h}$) se obține însumând consumurile electrice a sursei ($Q_{inc,sursă}$) cu cele ale pompelor de circulație și ale motoarelor ventiloconvectoarelor ($W_{inc,p}$ și $W_{inc,vcv}$). Conversia energiei termice (Q_{inc}) în energie electrică la nivel de sursă se face prin intermediul coeficientului de performanță al echipamentului (COP_i).

$$Q_{inc} = Q_h - Q_{rhh} - Q_{rwh} + Q_{th} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 1}$$

Q_h	- necesar energie termică încălzire
Q_{rhh}	- pierderi recuperate a sistemului de distribuție a încălzirii
Q_{rwh}	- pierderi recuperate a sistemului de distribuție a apei calde menajere [kWh/an]
Q_{th}	- pierderile totale ale sistemului de încălzire

Pentru determinarea necesarului de energie termică pentru încălzire se definesc elementele de anvelopă și performanțele termice ale acestora. Conductivitățile termice (λ) de calcul sunt cele declarate de producătorii materialelor utilizate [88][89][91][92][93][94][98][100][101][102][103][104] în implementarea clădirii.

În cazul pereților exterior, s-a determinat conductivitatea termică echivalentă pentru ansamblul format din elemente de BCA și mortarul dintre rosturile orizontale și verticale ($\lambda_{ech,zid} = 0,109$ W/mK). În cazul termosistemului pereților exterior, s-a determinat λ_{ech} pentru ansamblul format plăci de vată minerală bazaltică și prinderile mecanice a acestora cu dibluri din oțel inoxidabil ($\lambda_{ech,iz} = 0,0384$ W/mK). Calculul valorilor λ_{ech} utilizate sunt prezentate în Tabelul A5.8 și A5.9 din Anexa 5.

Definirea elementelor de anvelopă s-a făcut în așa fel încât toate tipurile de stratificații să fie luate în considerare. Fiecare categorie principală (acolo unde este cazul, de exemplu pereți exteriori) este alcătuită din mai multe tipuri de elemente de anvelopă care sunt considerate proporțional cu suprafețele și caracteristicile termotehnice în calculul rezistenței termice medii (R_m) a categoriei de element de

anvelopă. În calculul rezistențelor termice (R), rezistențele superficiale interioare (R_{si}) sunt determinate conform Tabel 9.1.1 al metodologiei de calcul [56] iar cele exterioare sunt considerate aferent vitezei vântului de 3 m/s ($R_{se} = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Descrierea stratificației, calculul R și R_m a elementelor de envelopă opace sunt prezentate în Tabelul A5.1, A5.3 din Anexa 5.

$$R = R_{si} + \sum R_s + R_{se} \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ [56]} \quad \text{Ec. 2}$$

$$U = \frac{1}{R} \text{ [W/m}^2\text{K]} \text{ [56]} \quad \text{Ec. 3}$$

$$R_m = \frac{1}{U_m} = \frac{\sum A_j}{\sum (A_j \cdot U_j)} \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ [56]} \quad \text{Ec. 4}$$

R	- rezistență termică specifică unidirecțională	
R_{si}	- rezistență termică superficială interioară	[m ² K/W]
R_s	- rezistență termică straturi componente	
R_{se}	- rezistență termică superficială exterioară	
U	- coeficient de transfer termic unidirecțional	[W/m ² K]
R_m	- rezistență termică specifică medie	[m ² K/W]
U_m	- coeficient de transfer termic mediu	[W/m ² K]

Efectul punților termice liniare (Ψ) a elementelor de envelopă opace sunt considerate în conformitate cu datele existente din metodologia de calcul [58] și alte studii de specialitate [125], adaptate pentru condițiile climatice și detaliile stratificațiilor utilizate.

Calculul coeficienților de reducere (r) și a rezistențelor termice medii corectate (R'_m) a elementelor de envelopă opace sunt prezentate în Tabelul A5.5 din Anexa 5.

$$R' = r \cdot R \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ [56]} \quad \text{Ec. 5}$$

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R \cdot [\sum (\Psi \cdot l) + \sum \chi]}{A}} \text{ [-]} \text{ [56]} \quad \text{Ec. 6}$$

R'	- rezistență termică specifică corectată	[m ² K/W]
r	- coeficient de reducere a rezistenței termice	[-]
Ψ	- coeficient specific liniar de transfer termic	[W/mK]
l	- lungimea punților liniare de același fel	[m]
χ	- coeficient specific punctual de transfer termic	[W/K]

Elementele de tâmplărie care fac parte din envelopa clădirii sunt alcătuite din ferestre și uși realizate din profile PVC, lemn și oțel respectiv din elemente de închidere din sticlă și panouri opace. Caracteristicile termotehnice ale componentelor (U_f , U_g , U_p) sunt considerate conform declarațiilor de performanță ale materialelor utilizate [94][98][100][101][102][103].

Coeficientul de transfer termic liniar pentru distanțierul dintre foile de sticlă ale elementelor vitrate a tâmplăriilor (Ψ_g) s-a considerat în conformitate cu tipul de distanțier tip Thermix ($\Psi_g = 0,039 \text{ W/mK}$) [99].

Coeficientul de transfer termic linear pentru montajul la partea inferioară a tâmplărilor ($\Psi_{f,inf}$) s-a considerat conform detaliului de montaj cu profil suplimentar de înălțare pentru ferestre montate pe parapet ($\Psi_{f,inf} = 0,029$ W/mK) [126] și pentru ferestre și uși fără parapet ($\Psi_{f,inf} = 0,099$ W/mK) [126].

Coeficientul de transfer termic linear pentru montajul în părțile laterale și superioară a tâmplărilor ($\Psi_{f,sup+lat}$) s-a considerat conform detaliului de montaj a tâmplăriei în zona de intersecție a peretelui de zidărie BCA și termosistem ($\Psi_{f,sup+lat} = 0,029$ W/mK) [126].

Descrierea configurației, calculul R' și R'_m a tâmplărilor exterioare sunt prezentate în Tabelul A5.10, A5.11, A5.12, A5.13, A5.14 și A5.6 din Anexa 5.

$$U_F = \frac{1}{R_F} = \frac{A_g \cdot U_g + A_p \cdot U_p + A_f \cdot U_f + \Psi_g \cdot l_g + \Psi_p \cdot l_p}{A_g + A_p + A_f} \quad [W/m^2K] \quad [56] \quad \text{Ec. 7}$$

U_F	- coeficient transfer termic fereastră	[W/m ² K]
R_F	- rezistență termică fereastră	[m ² K/W]
U_g	- coeficient transfer termic geam	
U_p	- coeficient transfer termic panou opac	[W/m ² K]
U_f	- coeficient transfer termic toc și cercevele	
A_g	- suprafață geam	
A_p	- suprafață panou opac	[m ²]
A_f	- suprafață toc și cercevele	
Ψ_g	- coeficient specific liniar distanțier contur geamuri	[W/mK]
Ψ_p	- coeficient specific liniar contur panou opac	
l_g	- lungime punți termice distanțier contur geamuri	[m]
l_p	- lungime punți termice distanțier contur panou opac	

Deoarece nu sunt disponibile date referitoare la municipiul Salonta, s-au considerat în evaluări datele aferente localității Oradea, care se află la 39 km și este situată în aceeași zonă climatică II [58]. Temperaturile medii lunare și anuale exterioare de calcul sunt prezentate în Tabelul 4.1 iar valorile lunare de calcul al intensității radiației solare sunt prezentate în Tabelul A5.27 din Anexa 5.

Tabelul 4.1 – Temperaturi medii lunare și anuale de calcul [127]

Oradea – județ Bihor [°C]					
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai.	Iun.
-0,3	1,1	5,2	11,2	16,9	20,1
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.
21,8	21,2	15,8	11,1	5,6	0,4
Temperatură medie anuală [°C]					10,90

Rezistențele termice corectate medii de calcul (R'_m) ale elementelor de anvelopă și comparația acestora cu valorile minime admise de metodologia națională de calcul (R'_{min}) [56] respectiv cu cele admise de propunerea de modificare a metodologiei (R'_{min*}) [69] sunt prezentate în Tabelul 4.2. Toate elementele de anvelopă se încadrează în limitele minime admise. Rezistența tâmplăriei interioare metalică spre spațiul neîncălzit al aprovizionării bucătăriei s-a comparat cu valoarea aferentă pereților datorită faptului că panoul de închidere a tocului este realizat din elemente opace și nu există elemente vitrate în configurația acestora.

Tabelul 4.2 – Rezistențele la transfer termic și transmitanțele elementelor de anvelopă

Element	Suprafață [m ²]	R' _m [m ² K/W]	U' [W/m ² K]	R' _{min} [m ² K/W]	R' _{min} * [m ² K/W]
Perete exterior – PE	1423,96	5,226	0,191	1,60	1,55
Perete interior – PSN	61,12	5,966	0,168	1,60	1,55
Planșeu pe sol – PS	873,75	7,845	0,127	-	-
Planșeu spre spațiu neîncălzit - PN	38,73	6,180	0,162	2,30	2,30
Planșeu inferior – PI	35,40	5,247	0,191	2,30	2,30
Planșeu spre pod – PP	946,90	6,085	0,164	4,50	4,50
Perete cărămidă sticlă – PCS	12,96	0,714	1,400	0,50	0,77
Chepeng pod – CH	0,94	1,670	0,600	-	-
Tâmplărie exterioară PVC – TPVC	621,32	1,099	0,910	0,50	0,77
Tâmplărie exterioară lemn – TL	19,90	0,699	1,431	0,50	0,77
Tâmplărie interioară metalică – TM	5,61	0,622	1,608	1,60	1,55

Coeficientul global de izolare termică a clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit (G1) este un element care determină performanța termoenergetică globală a acestora în funcție de configurația volumetrică și caracteristicile termotehnice a elementelor de anvelopă. Având în vedere că etajul 3 al clădirii este o unitate de cazare a elevilor, care se poate asimila cu o funcțiune rezidențială, calculul coeficientului G1 s-a realizat în două variante: întreaga clădire și doar primele trei niveluri. Limitele maxime admise pentru G1 se determină prin coeficientul global de referință $G1_{ref}$, respectiv prin $G1_{ref}^*$ în cazul propunerii de modificare a metodologiei [69]. În cazul etajului 3, s-a determinat coeficientul global de izolare termică specific clădirilor de locuit (G) și coeficientul global normat de izolare termică (GN).

Tabelul 4.3 – Coeficienți globali de izolare termică a clădirii analizate

Zonă	G1	G1 _{ref}	G1 _{ref} *	G	GN
	[W/m ² K]				
P+3E	0,076	0,248	0,214	-	-
P+2E	0,075	0,247	0,212		
E3	-	-	-	0,251	0,467

În toate variantele, clădirea se încadrează în limitele maxime admise de metodologia națională de calcul [55] [128]. Calculul coeficienților G1, G1_{ref}, G și GN sunt prezentate în Tabelul A5.17, A5.18, A5.19 și A5.20, A5.21 și A5.22 din Anexa 5.

Aria desfășurată a clădirii fiind mai mare de 200 m², calculul inerției termice s-a realizat pentru două zone restrânse reprezentative pentru clădire și anume: o sală de clasă de la etajul 1 (382,22 kg/m²) și o unitate de apartament al căminului de la etajul 3 (344,21 kg/m²). Ambele rezultate încadrează clădirea în clasa de inerție medie (între 150-399 kg/m²). Astfel, datorită ocupării discontinue și a clasei de inerție rezultate, clădirea se încadrează în categoria 2 [55]. Calculul inerției termice pentru cele două zone este prezentat în Tabelul A5.23 și A5.24 din Anexa 5.

Coefficientul de pierdere de căldură total (H) al clădirii este determinat prin considerarea pierderilor prin neetanșeitățile clădirii și pierderile prin transmisia elementelor de anvelopă.

$$H = H_V + H_T \text{ [W/K] [21]} \quad \text{Ec. 8}$$

H_V - coeficient de pierdere de căldură prin ventilare [W/K]
 H_T - coeficient de pierdere de căldură prin transmisie [W/K]

Coefficientul de pierdere de căldură prin ventilare (H_V) se calculează în funcție de numărul de schimburi de aer (n_a) și volumul încălzit (V) al clădirii. Valoarea schimburilor de aer s-a considerat cel determinat prin măsurarea etanșeității ($n_a = 0,485 \text{ h}^{-1}$) cu metoda Blower-Door, prezentat la Cap. 5.7 al prezentei lucrări.

Coefficientul de pierdere de căldură prin transmisie (H_T) se calculează în funcție de coeficienții de cuplaj termic a elementelor de anvelopă către exterior (L_E) și către sol (L_s) respectiv coeficientul de pierdere către spațiile neîncălzite (H_u).

$$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \text{ [W/K] [53]} \quad \text{Ec. 9}$$

$$H_T = L_E + L_s + H_u \text{ [W/K] [53]} \quad \text{Ec. 10}$$

L_E - coeficient cuplaj termic direct între spațiu încălzit și exterior [W/K]
 ρ_a - densitatea aerului [kg/m³]
 c_a - căldura specifică a aerului [kJ/kgK]
 L_s - coeficient pierdere de căldură prin sol [W/K]
 H_u - coeficient pierdere de căldură prin spre spațiile neîncălzite [W/K]

Coefficienții de cuplaj termic (L) al elementelor de anvelopă se determină prin împărțirea suprafeței elementului la rezistența termică medie corectată.

$$L = \frac{A}{R'_m} \text{ [W/K] [56]} \quad \text{Ec. 11}$$

Coefficienții de cuplaj termic al elementelor de anvelopă către exterior (L_E) și către sol (L_s) a clădirii sunt prezentați în Tabelul 4.3.

Tabelul 4.4 – Coeficienții de cuplaj termic

Element	Simbol	Suprafață [m ²]	R' [m ² K/W]	L [W/K]
Planșeu inferior	PI	35,40	5,247	878,57
Pereți exteriori	PE	1423,96	5,226	
Cărămidă de sticlă	PCS	12,96	0,714	
Tâmplărie PVC	F1-14/U1-2'	621,32	1,099	
Tâmplărie lemn	U5	10,90	0,699	
Planșeu pe sol	PS	873,75	7,845	111,38

Coefficientul de pierdere de căldură prin transfer între spațiul încălzit și mediul exterior prin spațiile neîncălzite (H_u) este determinat de caracteristicile termotehnice ale anvelopelor acestor spații.

$$H_u = L_{iu} \cdot \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} [W/K] \quad \text{Ec. 12}$$

- L_{iu} - coeficient cuplaj termic între spațiu încălzit și neîncălzit
 H_{iu} - coeficient pierderi căldură dinspre spațiul încălzit spre neîncălzit [W/K]
 H_{ue} - coeficient pierderi căldură dinspre spațiu neîncălzit spre exterior

Coeficienții de pierdere de căldură dinspre spațiul încălzit spre spațiu neîncălzit (H_{iu}) respectiv dinspre spațiu neîncălzit spre mediul exterior (H_{ue}) se determină similar cu coeficientul de pierdere al clădirii, prezentat anterior.

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{v,iu} [W/K] \quad \text{Ec. 13}$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{v,ue} [W/K] \quad \text{Ec. 14}$$

$$H_{v,iu} = \rho_a \cdot c_a \cdot V_{iu} [W/K] \quad \text{Ec. 15}$$

$$H_{v,ue} = \rho_a \cdot c_a \cdot V_{ue} [W/K] \quad \text{Ec. 16}$$

- L_{iu} - coeficient cuplaj termic, spațiu încălzit → neîncălzit
 $H_{v,iu}$ - pierdere de căldură prin ventilare, spațiu încălzit → neîncălzit
 V_{iu} - rata fluxului de aer, spațiu încălzit → neîncălzit
 L_{ue} - coeficient cuplaj termic, spațiu neîncălzit → exterior [W/K]
 $H_{v,ue}$ - pierdere de căldură prin ventilare, spațiu neîncălzit → exterior
 V_{ue} - rata fluxului de aer, spațiu neîncălzit → exterior

Caracteristicile elementelor de anvelopă a spațiilor neîncălzite (aprovizionare și pod) sunt prezentate în Tabelul A5.2, A5.4 și A5.7 din Anexa 5. Pentru determinarea temperaturilor medii anuale ale spațiilor neîncălzite s-au considerat temperaturile medii anuale exterioare (10,90°C) și temperatura interioară convențională medie de calcul al spațiului încălzit (18,02°C). Valorile temperaturilor medii lunare ale spațiilor neîncălzite sunt prezentate în Tabelul A5.15 din Anexa 5.

Tabelul 4.5 – Temperaturi medii anuale spații neîncălzite

Element	Suprafață [m ²]	R' _m [m ² K/W]	L [W/K]	θ _{amb} [°C]	n [h ⁻¹]
Aprovizionare					
Planșeu pe sol garaj - PSG	38,73	2,88	13,43	10,90	0,448
Perete exterior garaj - PEG	36,69	4,97	7,388		0,424
Ușă garaj - U6	11,10	1,58	7,005		0,128
Uși metalice - UM	5,61	0,62	9,025	18,02	0
Perete interior - PSN	61,11	5,97	10,24		
Planșeu spre sp. neîncălzit	38,73	6,18	6,267		
Volum [m ³]					151
Temperatură medie anuală [°C]					12,64
Pod					
Planșeu sub pod - PP	946,92	6,09	155,62	18,02	0
Chepeng - CH	0,94	1,67	0,56		
Perete calcan - PCal	63,33	5,13	12,35	10,90	5
Învelitoare - INV	1045,89	0,34	3034,1		
Volum [m ³]					1720
Temperatură medie anuală [°C]					11,08

Coeficienții de pierdere de căldură prin ventilare a spațiilor neîncălzite spre mediul exterior ($H_{v,eu}$) și spre spațiile încălzite ($H_{v,iu}$) sunt prezentate în Tabelul 4.5.

Rata schimbului de aer între spațiile neîncălzite și spațiul încălzit sunt considerate $n_a = 0 \text{ h}^{-1}$ în conformitate cu Cap. 5.4 din SR EN ISO 13789 privind calculul coeficientului de pierdere de căldură prin transfer [53], iar dintre spațiile neîncălzite și mediul exterior sunt considerate $1,00 \text{ h}^{-1}$ pentru goluri închise dar neetanșe și $5,00 \text{ h}^{-1}$ pentru elemente de construcție cu etanșeitate redusă [58].

Tabelul 4.6 – Coeficienții de pierdere de căldură prin ventilare a spațiilor neîncălzite

Pierdere de căldură	$\rho_a \cdot C_a$ [Wh/m ³ K]	n_a [h ⁻¹]	V [m ³]	H_v [W/K]
$H_{v,iu,garaj}$	0,34	0	151	0,00
$H_{v,iu,pod}$			1720	0,00
$H_{v,ue,garaj}$		1,00	151	51,36
$H_{v,ue,pod}$		5,00	1720	2924,00

Coeficienții de pierdere de căldură dinspre spațiul încălzit spre spațiile neîncălzite (H_{iu}) respectiv dinspre spațiile neîncălzite spre mediul exterior (H_{ue}) sunt prezentați în Tabelul 4.6.

Tabelul 4.7 – Coeficienții de pierdere de căldură ai spațiilor neîncălzite

Element	Simbol	Suprafața [m ²]	R' [m ² K/W]	L [W/K]	H [W/K]
Spațiu încălzit → Garaj, $H_{iu,garaj}$					
Planșeu spre spațiu neîncălzit	PN	38,73	6,180	25,53	25,53
Pereți spre SN	PSN	61,11	5,966		
Tâmplărie metalică	U4-U5	5,61	0,622		
Garaj → Mediul exterior, $H_{ue,garaj}$					
Planșeu pe sol - garaj	PSG	38,73	2,88	27,82	79,18
Perete exterior - tip 1	PEG	36,69	4,97		
Ușă garaj	U6	11,10	1,58		
Spațiu încălzit → Pod, $H_{iu,pod}$					
Planșeu spre pod	PP	946,9	6,085	156,18	156,18
Chepeng acces pod	CH	0,94	1,667		
Pod → Mediul exterior, $H_{ue,pod}$					
Perete calcan	PCal	63,33	5,13	3046,42	5970,37
Învelitoare	Inv	1045,89	0,34		

Coeficienții de pierderi termice prin ventilare și transmisie respectiv total al clădirii sunt prezentate în Tabelul 4.7.

Tabelul 4.8 – Coeficientul de pierdere de căldură al clădirii

Coeficientul de pierderi termice prin ventilare, H_v [W/K]		
$\rho_a \cdot C_a$ [Wh/m ³ K]	0,34	2044,11
n_a [h ⁻¹]	0,485	
V [m ³]	12402,5	
Coeficientul de pierderi termice prin transmisie, H_t [W/K]		
L_E	878,57	1161,45
L_s	111,38	
$H_{u,garaj}$	19,305	
$H_{u,pod}$	152,194	
Coeficientul de pierderi termice, H [W/K]		3205,56

82 Consum de energie încălzire - 4.1

Degajările de căldură interne (Q_i) cuprind cantitatea de căldură generată în interiorul volumului încălzit.

$$Q_i = \sum \Phi_I \cdot t \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 17}$$

Φ_I - flux termic al degajării de căldură interne [W]
 t - interval de timp [ore]

Degajările de căldură luate în considerare pentru aporturile interne sunt cele metabolice emise de la ocupanți, ale aparatelor electrice, ale echipamentelor tehnologice ale bucătăriei și a ale sistemului de iluminat. Aporturile interne din utilizarea apei calde s-a considerat neglijabil și nu s-a luat în calcul.

$$Q_i = Q_{i,om} + Q_{i,aparat} + Q_{i,echip} + Q_{i,ilum} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 18}$$

Q_i - degajări de căldură interne totale
 $Q_{i,om}$ - degajări de căldură interne ale ocupanților
 $Q_{i,aparat}$ - degajări de căldură interne ale aparatelor electrice [kWh/an]
 $Q_{i,echip}$ - degajări de căldură interne ale echipamentelor
 $Q_{i,ilum}$ - degajări de căldură interne ale sistemului de iluminat

Degajările ocupanților ($Q_{i,om}$) țin cont de tipurile de activități și timpii aferenți. Acestea au fost evaluate în baza funcțiunilor clădirii iar fluxurile termice emise în funcție de activitate au fost stabilite conform Tabel E.1 din Anexa II.5.E al metodologiei de calcul [21].

Tabelul 4.9 – Flux termic ocupanți

Activitate	Flux termic emis [W/om]
Somn	65
Repaus - așezat pe scaun	93
Activitate sedentară - muncă birou	112
Activitate normală, în picioare	140
Activitate intelectuală, în picioare	158
Activitate efort fizic, în picioare – curățenie	167
Activitate efort fizic, în picioare – treabă la bucătărie	186

Numărul de elevi s-a considerat pentru ocuparea continuă a 14 din cele 15 săli, astfel încât o sală de laborator din patru este întotdeauna neutilizată. Gradul de ocupare mediu a unei săli este de 25 elevi / sală, care ține cont de un grad de absenteism și numărul variabil de elevi din clase. Numărul de zile este de 175, aferent anului școlar calendaristic fără zilele de sfârșit de săptămână și vacanțe, iar programul zilnic este de 6 ore (08:00 – 14:00). În ceea ce privește cadrele didactice s-a stabilit suplimentar 10 zile în care aceștia desfășoară doar activități administrative, fără prezența elevilor. Numărul mediu al cadrelor didactice și al personalului auxiliar prezent la un moment dat în clădire este de 25 în timpul zilelor de curs și de 15 în cele 10 zile suplimentare. Programul zilnic al cadrelor este de 8 ore (07:30 – 15:30).

Un ciclu complet de alimentație este servirea unei mese pentru elevi la capacitatea maximă a sălii de mese de 192 persoane. În timpul zilelor de curs s-au

considerat două cicluri complete zilnice și suplimentar încă 30 de zile a câte un ciclu complet pentru perioadele din afara calendarului școlar. Timpul stabilit pentru servirea unei mese este de 30 minute / om. Programul personalului tehnologic al bucătăriei este de 10 ore (07:00 – 17:00) pentru cele 175 de zile școlare și de 5 ore pentru zilele suplimentare cu un ciclu complet de alimentație.

Unitatea de cazare este considerată a fi ocupată de către elevi și în zilele de sfârșit de săptămână. Prezența acestora la nivelul etajului 3 ia în considerare orele de curs de la nivelurile inferioare dar și două ore în care aceștia sunt în afara clădirii.

Tabelul 4.10 – Scenariu activitate ocupanți

Utilizatori	Nr.	zile/an	ore/zi	W/om	ore/zi	W/om	ore/zi	W/om
Elevi	350	175	5	112	1	140	-	-
Profesori	25	181	5	158	3	112	-	-
Cantină	192	380	0,5	93	-	-	-	-
Bucătărie	5	190	8	186	2	93	-	-
Cazare	62	250	8	65	4	112	4	93
Curățenie	2	185	6	167	2	93	-	-

Fracțiunea predominantă a aporturilor interne din degajările ocupanților este cel al funcțiunii de învățământ (64,7%) datorită numărului mare de persoane care utilizează clădirea aproape o treime din zi. Degajările ocupanților care utilizează cantina nu reprezintă un aport semnificativ (6,7%) din cauza timpului redus (30 minute / masă / om) în care elevii desfășoară această activitate, deși numărul lor este unul ridicat (192 persoane / ciclu complet de alimentație). Aportul din degajările ocupațiilor căminului este unul mediu (28,0%), în principal datorită numărului de ore ridicat (16 ore / zi) în care elevii utilizează nivelul de cazare.

Tabelul 4.11 – Valori aporturi interne ocupanți

Utilizatori	$Q_{i,om}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$Q_{i,om}$ total [kWh/an]	$Q_{i,om}$ [kWh/m ² an]
Elevi	42875	57,8	74163	21,21
Profesori	5095	6,9		
Cantină	3393	4,6		
Bucătărie	1590	2,1		
Cazare	20770	28,0		
Curățenie	440	0,6		

Degajările aparatelor electrice ($Q_{i,aparate}$) s-au evaluat în baza un scenariu de dotare a clădirii care ține cont de specificul spațiilor de cazare și a unității de învățământ. Dotările au specific preponderent rezidențial pentru Etajul 3 respectiv de laboratoare și birotică pentru restul nivelurilor. Puterile instalate și coeficienții de flux termic emis pentru fiecare aparat s-au determinat pentru fiecare aparat în parte, pe baza unor parametri uzuali declarați de producători. Caracteristicile și scenariul de utilizare a echipamentelor tehnologice ale bucătăriei sunt prezentate în Tabelul A5.25 din Anexa 5.

Degajările aparatelor sunt determinate prin înmulțirea consumurilor de energie electrică cu un coeficient de flux termic emis. Astfel, o parte din energia electrică se transformă în energie termică care se degajă în interiorul clădirii.

Fracțiunea predominantă a aporturilor interne datorată aparatelor (62,8%) este cea a funcțiunii de cazare datorită numărului mare de dotări al elevilor cazați dar și de timpul de utilizare a acestora. Aportul semnificativ al etajului 1 (31,1%) este determinat de cele două laboratoare dotate cu câte 30 de calculatoare.

Tabelul 4.12 – Valori aporturi interne aparate electrice

Nivel	Consum electric [kWh/an]	Consum electric total [kWh/an]	$Q_{i,aparate}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$Q_{i,aparate}$ total [kWh/an]	Coefficient flux termic mediu
Etaj 3	19301	29683	14369	62,8	22882	0,77
Etaj 2	1156		928	4,1		
Etaj 1	8640		7128	31,1		
Parter	586		457	2,0		

Degajările echipamentelor tehnologice ale bucătăriei ($Q_{i,echip}$) s-au evaluat în baza listei de dotări stabilite de către un tehnolog de specialitate pentru cerința temei de proiectare de 400 mese / zi. Timpii de utilizare și puterile instalate ale acestora s-au determinat din fluxul tehnologic proiectat și din fișele tehnice ale producătorilor de echipamente. Coeficienții de flux termic emis sunt stabilite în conformitate cu Tabel 5 al Cap. 29 din 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) [86] pentru varianta dotării cu sisteme de aspirație (hotă) a încăperilor. Principiul calculării degajărilor de energie termică a echipamentelor în funcție de consumul de energie (electrică și gaz) și coeficient de flux termic emis, se aplică și pentru această categorie de aporturi. Caracteristicile și scenariul de utilizare a echipamentelor tehnologice ale bucătăriei sunt prezentate în Tabelul A5.26 din Anexa 5.

Consumul total de energie electrică nu conține consumurile de gaz a echipamentelor. Aporturile interne ale acestora (5925 kWh/an) sunt luate în calcul în baza consumului de gaz și sunt integrate în $Q_{i,echip}$ total.

Tabelul 4.13 – Valori aporturi interne echipamente tehnologice bucătărie

Unitate	Consum electric total [kWh/an]	$Q_{i,echip}$ total [kWh/an]	Coefficient flux termic mediu
Bucătărie	24546	13941	0,57

Degajările sistemului de iluminat ($Q_{i,ilum}$) s-au evaluat în baza consumului de energie electrică totală (12639 kWh/an) calculată în Cap. 4.5 al prezentei lucrări și a unui coeficient de flux termic mediu de 0,15 determinat în baza fișelor tehnice a producătorilor corpurilor de iluminat. Astfel, aporturile interne din iluminat este $Q_{i,ilum} = 1896$ kWh/an.

Tabelul 4.14 – Valori aporturi interne totale – ocupare continua

$Q_{i,om}$	$Q_{i,aparate}$	$Q_{i,echip}$	$Q_{i,ilum}$	Q_i	Q_i [kWh/m ² an]	Q_i [W/m ²]
					[kWh/m ² an]	
74163	22882	13941	1896	112882	32,28	3,68

Fracțiunea predominantă a aporturilor interne este datorită utilizatori (66%) și se datorează gradului de ocupare ridicat. Deși puterea instalată totală a echipamentelor tehnologice a bucătăriei este semnificativă (155 kW), aporturile interne ale acestora reprezintă doar 12% din cauza duratei de utilizare redusă și existența hotelor de aspirație care implică utilizarea unor coeficienți de flux termic diminuați.

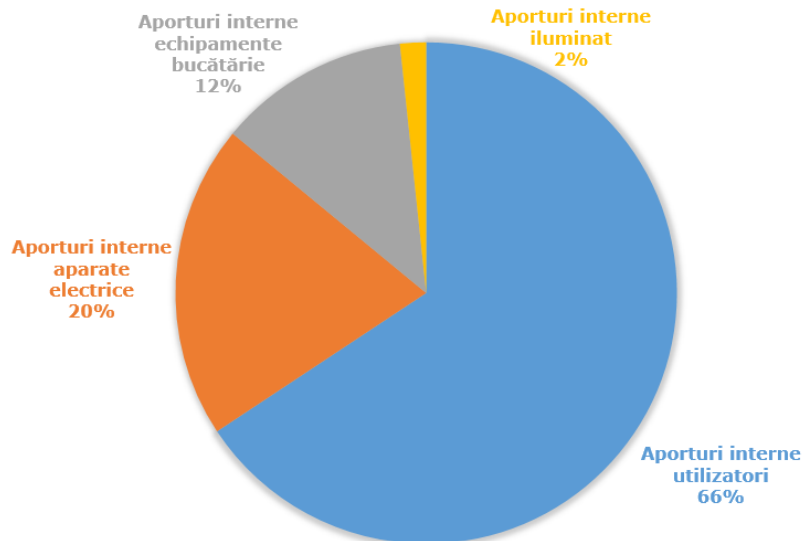


Figura 4.1 – Aporturi interne totale

Aporturile solare prin elemente vitrate (Q_s) pe perioada de încălzire se determină prin intensitățile radiației solare totale pentru această perioadă respectiv prin tâmplăriile cu elemente vitrate, pentru fiecare orientare cardinală în parte. Valorile intensității radiației solare medii lunare și valorile de calcul pentru perioada de încălzire sunt prezentate în Tabelul A5.27 și A5.28 din Anexa 5. Aporturile solare ale spațiilor neîncălzite și cele prin suprafețele opace nu sunt luate în considerare.

$$Q_s = \sum [I_{sj} \cdot \sum A_{snj}] [kWh] \quad [21] \quad \text{Ec. 19}$$

I_{sj} - radiația solară totală pe o suprafață de 1 m² după orientarea j [kWh/m²]
 A_{snj} - aria receptoare echivalentă a suprafeței după orientarea j [m²]

Aria receptoare echivalentă a elementelor de anvelopă vitrate (A_{snj}) se determină prin considerarea configurării geometrice ale acestora, caracteristicile de transmisie a vitrajului utilizat și condițiile de umbrire.

$$A_{snj} = A_T \cdot F_s \cdot F_F \cdot g [m^2] \quad [21] \quad \text{Ec. 20}$$

A_T - aria totală a elementului vitrat n [m²]
 F_s - factorul de umbrire a suprafeței n
 F_F - factorul de reducere pentru ramă elementului n [-]
 g - transmitanța totală la radiația solară a suprafeței n

Factorul de corecție pentru umbrire (F_s) ia în considerare poziția elementului față de obiecte și corpuri învecinate respectiv de elemente constructive adiacente suprafețelor vitrate (de exemplu șpaleti și streășină), în funcție de orientarea cardinală. Calculul factorilor pentru fiecare poziție de tâmplărie este prezentat în Tabelul A5.29 din Anexa 5.

$$F_s = F_h \cdot F_0 \cdot F_t \quad [-] \quad [54] \quad \text{Ec. 21}$$

F_h	- factor parțial de corecție datorită orizontului	
F_0	- factor parțial de corecție pentru proeminențe	[-]
F_t	- factor parțial de corecție pentru aripioare	

F_h este considerat conform Tabelul H.3 al Anexei H din SR EN ISO 13790 [54] prin interpolare, în funcție de unghiul la orizont (α_h) al suprafețelor vitrate față de clădirile învecinate, pentru 45° lat. N. Având în vedere faptul că înălțimea clădirii este semnificativ mai mare decât a imobilelor învecinate, un număr redus de poziții de tâmplărie exterioară sunt afectate de acest fenomen.

F_0 este considerat conform Tabelul H.4 al Anexei H din SR EN ISO 13790 [54] prin interpolare, în funcție de unghiul de prelungire a proeminenței (α_0) suprafețelor vitrate față de elementele constructive aflate la partea superioară a acestora, pentru 45° lat. N. Pozițiile de tâmplărie exterioară cele mai afectate de acest factor sunt cele de la nivelul etajului 3 care se află în apropierea streășinei acoperișului respectiv cele de la nivelul parterului care se află în zona accesului principal acoperit.

F_t este considerat conform Tabelul H.5 al Anexei H din SR EN ISO 13790 [54] prin interpolare, în funcție de unghiul de prelungire a aripioarelor (β_t) suprafețelor vitrate față de elementele constructive aflate la părțile laterale a acestora, pentru 45° lat. N. Pozițiile de tâmplărie exterioară cele mai afectate de acest factor sunt cele orientate spre Est care sunt umbrite de peretele exterior orientat spre Nord al clădirii.

Factorul de reducere pentru ramele vitrajelor (F_F) se determină prin raportarea ariei suprafeței vitrate (A_g) la aria totală a tâmplăriei (A_F).

$$F_F = \frac{A_g}{A_F} \quad [-] \quad [54] \quad \text{Ec. 22}$$

Transmitanța totală la energia solară (g) se determină prin considerarea radiației solare (g_{\perp}) furnizate de producătorul de vitraj (0,54 și 0,31) și a factorului de reducere pentru sistemele de umbrire utilizate (K).

$$g = g_{\perp} \cdot K \cdot 0,9 \quad [-] \quad [54] \quad \text{Ec. 23}$$

g_{\perp}	- radiația solară perpendiculară pe vitraj	
K	- factor de reducere datorită perdelelor instalate	[-]

Sistemele de umbrire utilizate sunt interioare (perdele albe și draperii de culoare maro deschis) pentru toate tâmplăriile exterioare din profile PVC, cu excepția celor de la bucătărie și casele de scară. Astfel, K este considerat conform Tabel H.2 al Anexei H din SR EN ISO 13790 [54] aferent proprietății de transmisie de 0,9 (pentru perdele albe) și 0,5 (pentru draperii maro). Având în vedere că ambele sisteme sunt utilizate, s-a considerat un factor de umbrire care reprezintă 25% din valoarea perdelelor albe și 75% din valoarea draperiilor maro.

Tabelul 4.15 – Aporturile solare prin elementele vitrate

Orientare	Element	A _F [m ²]	F _s [-]	F _F [-]	g [-]	A _s [m ²]	A _{sn} [m ²]	Q _s [kWh/an]
N	F1	3,90	0,974	0,612	0,396	2,761	5305,63	42493,50
	F1'	3,90	0,974	0,466	0,396	2,104		
	F2	1,68	0,943	0,573	0,486	1,765		
	F3	5,26	0,981	0,626	0,396	2,558		
	F5	2,98	0,969	0,567	0,396	12,97		
	F6	1,42	0,933	0,540	0,486	1,391		
	F6'	1,42	0,933	0,201	0,486	0,519		
	F7	5,41	0,978	0,680	0,486	3,498		
	F8	5,59	0,978	0,685	0,486	3,637		
	F11	4,75	0,688	0,665	0,396	6,024		
	F12	2,43	0,688	0,637	0,486	0,518		
	F13	2,25	0,678	0,624	0,486	0,463		
	U1	3,74	0,968	0,578	0,486	1,017		
	U1	3,74	0,871	0,578	0,486	0,915		
	U2	5,26	0,981	0,565	0,486	1,418		
U2'	5,26	0,981	0,455	0,396	0,929			
PCS	2,16	0,958	1,000	0,279	1,732			
V	F1	3,90	0,842	0,612	0,396	3,183	6015,07	42493,50
	F3	5,26	0,684	0,626	0,396	2,675		
	F4	9,35	0,956	0,681	0,396	2,411		
	F10	2,87	0,922	0,560	0,396	10,55		
	F14	4,40	0,617	0,651	0,396	2,805		
U5	10,90	0,009	0,206	0,486	0,010			
S	F1	3,90	0,812	0,612	0,396	6,142	28754,23	42493,50
	F2	1,68	0,794	0,573	0,486	2,229		
	F3	5,26	0,786	0,626	0,396	7,172		
	F5	2,98	0,937	0,567	0,396	22,56		
	F9	3,17	0,937	0,574	0,396	8,088		
F11	4,75	0,541	0,665	0,396	8,119			
E	F1'	3,90	0,640	0,466	0,396	0,921	2418,49	42493,50
	F2	1,68	0,009	0,573	0,486	0,009		
	F5	2,98	0,722	0,567	0,396	2,898		
	F6	1,42	0,009	0,540	0,486	0,007		
	F11	4,75	0,867	0,665	0,396	2,169		
	PCS	2,16	0,724	1,000	0,486	0,760		
PCS	2,16	0,923	1,000	0,486	1,939			

Necesarul de căldură lunar în regim de încălzire continuă ($Q_{inc,cont(k)}$) se determină prin metoda numărului de grade-zile de calcul ($N_{GZC(k)}$). Puterea necesară a instalației pentru reîncălzire este necesară pentru determinarea coeficientului de corecție ($\beta_{(k)}$) pentru varianta încălzirii cu intermitență în afara programului normal de funcționare a clădirii.

$$Q_{inc,cont(k)} = C \cdot \left(\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot B_{1s} \right) \cdot N_{GZC(k)} \text{ [kWh]} \quad [21] \quad \text{Ec. 24}$$

$$Q_{reinc(k)} = C \cdot \left(\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot B_{1s} \right) \cdot (\theta_{iRs} - \theta_{eRs(k)}) \text{ [kW]} \quad [21] \quad \text{Ec. 25}$$

88 Consum de energie încălzire - 4.1

C	- coeficient de corecție	[-]
A _E	- suprafața totală a anvelopei	[m ²]
B _{1s}	- coeficient de corecție datorat spațiului ocupant	[-]
N _{GZC(k)}	- numărul de grade-zile pentru luna k	[K·zile]
θ _{IRs}	- temperatura interioară redusă	[°C]
θ _{eRs(k)}	- temperatura exterioară medie corectată pentru luna k	[°C]

Coeficientul de corecție (C) este determinat în funcție de numărul de grade-zile de calcul ($N_{12}^{20} = 3150$ °K·zile) și de tipul sistemului de încălzire (sursă locală).

$$C = 0,96 \cdot C_R \cdot C_b \quad [-] \quad [21] \quad \text{Ec. 26}$$

C _R	- coeficient corecție datorat temperaturii interioare pe durata nopții	[-]
C _b	- coeficientul corecție datorat prezenței balcoanelor deschise	[-]

Tabelul 4.16 – Coeficient de corecție

C _R	C _b	C
0,901	1,00	0,865

Rezistență termică corectată medie R'_m se determină prin considerarea separată a caracteristicilor termotehnice a elementelor de anvelopă opace și vitrate.

$$R'_m = \frac{A_E}{\frac{A_E - A_F}{R'_{m,E}} - \frac{A_F}{R'_{m,T}}} \quad [m^2K/W] \quad [21] \quad \text{Ec. 27}$$

R' _{m,E}	- rezistență termică corectată medie a elementelor opace	[m ² K/W]
R' _{m,T}	- rezistență termică corectată medie a elementelor vitrate	[m ² K/W]

Tabelul 4.17 – Rezistență termică corectată medie

Tip element	Simbol	Suprafață [m ²]	R' [m ² K/W]	R' _m [m ² K/W]
Elemente opace	A _E	4031,53	5,778	3,441
Elemente vitrate	A _F	634,28	1,087	

$$B_{1s} = 1 + \frac{1}{R'_m} \cdot \frac{4,5 \cdot F_R}{3,5 + 4,5 \cdot F_R} \cong 1 + 1,3 \cdot \frac{F_R}{R_s} \quad [-] \quad [21] \quad \text{Ec. 28}$$

F _R	- factorul de formă mediu al spațiului ocupant	[-]
----------------	--	-----

$$F_R = 0,2 \cdot (6 - N_{Pi}) \quad [-] \quad [21] \quad \text{Ec. 29}$$

N _{Pi}	- numărul pereți interioare medii a clădirii	[-]
-----------------	--	-----

Tabelul 4.18 – Coeficientul B_{1s}

N _{Pi}	F _R [-]	R' _m [m ² K/W]	B _{1s}
3	0,6	3,441	1,227

Temperatura interioară redusă (θ_{iRS}) se determină prin reducerea temperaturii interioare medii convenționale de calcul ($\theta_i = 18,02^\circ\text{C}$) cu efectul aporturilor interne (Q_i) pentru varianta ocupării continue și discontinue.

$$\theta_{iRS} = \theta_i - \frac{Q_i \cdot A_{u.\text{încălzit}}}{\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot B_{1s}} \quad [^\circ\text{C}] \quad [21] \quad \text{Ec. 30}$$

Tabelul 4.19 – Temperatura interioară redusă

Ocupare	Q_i [W/m ²]	$A_{u.\text{încălzit}}$ [m ²]	θ_i [$^\circ\text{C}$]	θ_{iRS} [$^\circ\text{C}$]
Continuă	3,684	3496,47	18,02	14,531
Discontinuuă	0,899			17,178

Temperaturile exterioare medii corectate lunare ($\theta_{eRS(k)}$) se determină prin considerarea aporturilor solare și temperaturile echivalente ale elementelor de anvelopă. $\theta_{eRS(k)}$ s-au determinat prin calcul numeric automat utilizând programului AllEnergy v7.0 [60].

$$\theta_{eRS(k)} = \frac{\left[\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot (B_{1s} - 1) \right] \cdot \theta_{ES(k)} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot \theta_{eS(k)}}{\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot B_{1s}} \quad [^\circ\text{C}] \quad [21] \quad \text{Ec. 31}$$

$\theta_{ES(k)}$ - temperatura echivalentă a elementelor de anvelopă – luna k [$^\circ\text{C}$]
 $\theta_{eS(k)}$ - temperatura exterioară datorită aporturilor solare – luna k [$^\circ\text{C}$]

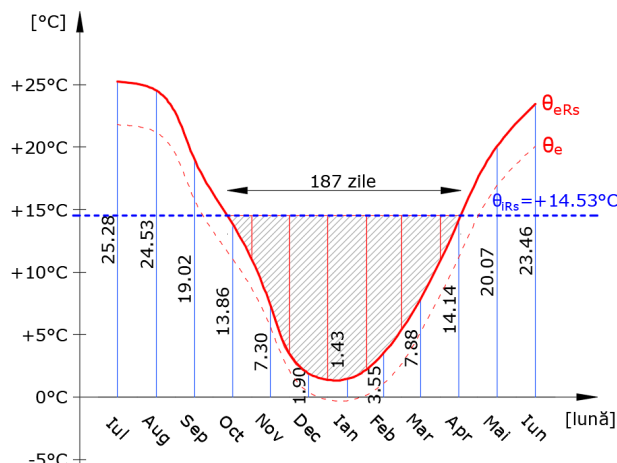


Figura 4.2 - Temperatura exterioară medie corectată lunară și durata de încălzire

Durata de încălzire (187 zile) se determină prin intersecția curbei de temperaturi exterioare corectate ($\theta_{eRS(k)}$) cu temperatura interioară corectată (θ_{iRS}). Numărul de grade-zile de calcul (N_{GZC}) pentru încălzire se determină prin măsurarea suprafeței delimitate de $\theta_{eRS(k)}$ și θ_{iRS} pentru fiecare lună în parte.

Constanta de timp a construcției (T_c) ține cont de capacitatea termică a elementelor de construcție interioare și exterioare (M_c), care influențează variația

temperaturii aerului interior pentru încălzirea cu intermitență. T_c este utilizat în calculul coeficientului E , necesar pentru determinarea temperaturii minime în afara programului normal de ocupare în lipsa încălzirii, conform metodologiei de calcul [21]. Calculul capacității termice a elementelor de construcție este prezentat în Tabelul A5.16 din Anexa 5.

$$T_c = \frac{M_c}{\frac{A_E}{R'_m} + \rho_a \cdot c_a \cdot n_a \cdot V \cdot B_{1s}} \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 32}$$

Tabelul 4.20 – Constanta de timp a construcției

M_c [kJ/K]	L [W/K]	H_v [W/K]	B_{1s} [-]	T_c [$^\circ\text{C}$]
975316,17	1171,47	2055,11	1,227	73,36

Temperatura minimă în afara programului normal de ocupare ($\theta_{i,\min(k)}$) se determină pentru a verifica dacă este necesară încălzirea spațiilor pentru menținerea temperaturii de gardă stabilite ($\theta_{iG} = 12^\circ\text{C}$). În cazul în care temperatura interioară nu coboară sub temperatura de gardă, nu este necesară încălzirea suplimentară a spațiilor pentru menținerea acestei valori. Raportul ($\alpha_{0(k)}$) dintre puterea instalată a corpurilor de încălzire (262410W) și puterea necesară de reîncălzire, pentru fiecare lună în parte, este necesară pentru determinarea $\theta_{i,\min(k)}$.

$$\theta_{i,\min(k)} = \theta_{eRs(k)} + [\theta_i - \theta_{eRs(k)}] \cdot \frac{E}{1 + \frac{E-1}{\alpha_{0(k)} \cdot T_{iR(k)}}} \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 33}$$

$$\alpha_{0(k)} = \frac{Q_0}{Q_{reinc(k)}} \text{ [-]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 34}$$

- E - coeficient de corecție datorat constantei de timp a clădirii
 $\alpha_{0(k)}$ - raportul dintre puterea instalată și puterea necesară de reîncălzire [-]
 $T_{iR(k)}$ - raportul dintre θ_{iRs} și θ_i în funcție de θ_{eRs} - luna k
 Q_0 - puterea instalată pentru încălzire [kW]

Coeficientul de corecție a necesarului de căldură în cazul încălzirii cu intermitență ($\beta_{(k)}$) corectează necesarul anual normal de căldură ($Q_{inc,cont}$) al clădirii cu ocupare discontinuă, pentru fiecare lună în parte. Coeficientul ține cont de timpii reali de utilizare ai clădirii (t_f), durata necesară pentru reîncălzire ($t_{a(k)}$) și puterile necesare pentru reîncălzire ($\alpha_{0(k)}$).

$$\beta_{(k)} = \frac{t_f \cdot t_{a(k)} \cdot \alpha_{0(k)} + t_{G(k)} \cdot \xi_{(k)} \cdot T_{iR(k)}^{-1}}{t_p} \text{ [-]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 35}$$

- t_f - durata de ocupare a clădirii - perioada t_p [ore]
 $t_{a(k)}$ - durata de reîncălzire a clădirii - luna k [ore]
 $t_{G(k)}$ - durata de funcționare a instalației de încălzire pentru asigurarea temperaturii interioare de gardă (θ_{iG}) - luna k [ore/zi]
 $\xi_{(k)}$ - raportul dintre θ_{iG} și θ_i în funcție de θ_{eRs} - luna k [-]
 t_p - durata perioadei considerate pentru coeficientul de corecție [ore]

Necesarul lunar de căldură în perioada de încălzire pentru ocuparea discontinuă a primelor trei niveluri ale clădirii și ocuparea continuă a etajului 3 ($Q_{inc,disc(k)}$) este determinat prin utilizarea unui raport dintre coeficientul de pierdere de căldură prin transmisie al etajului 3 ($H_{T,E3} = 324,43 \text{ W/K}$) în raport cu cel al întregii clădiri ($H_{T,P+3E} = 1161,45 \text{ W/K}$).

$$Q_{inc,disc(k)} = 0,28 \cdot Q_{inc,cont(k)} + (1 - 0,28) \cdot \beta_{(k)} \cdot Q_{inc,cont(k)} \text{ [kWh/lună]} \quad \text{Ec. 36}$$

$$Q_h = \sum_k Q_{inc,disc(k)} \text{ [kWh/an]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 37}$$

Tabelul 4.21 – Necesarul de căldură pentru încălzire

Lună	$\theta_{eRS(k)}$ [°C]	$Q_{reinc(k)}$ [kW]	$\theta_{i,min}$ [°C]	$t_{a(k)}$ [ore]	NGZ [K·zile]	β [-]	$Q_{inc,cont}$	$Q_{inc,disc}$
							[kWh/lună]	
Oct.	13,86	10,59	17,14	0,82	33	1,000	2530	2530
Noi.	7,29	31,59	15,90	2,14	210	0,981	16866	16635
Dec.	1,90	48,80	15,03	3,25	383	0,965	29823	29071
Ian.	1,43	50,29	14,96	3,34	397	0,965	30819	30042
Feb.	3,55	43,57	15,28	2,91	303	0,968	23383	22844
Mar.	7,88	29,72	16,03	2,03	193	0,984	15563	15383
Apr.	14,14	9,70	17,19	0,77	31	1,000	2377	2377
							Q_h [kWh/an]	118882

Temperaturile interioare ($\theta_{i,min}$) în afara programului normal de funcționare nu coboară sub valoarea θ_{IG} , astfel nu e necesară încălzirea pentru menținerea temperaturii de gardă. Durata de reîncălzire este în corelare cu temperaturile exterioare ($\theta_{eRS(k)}$) și $\theta_{i,min}$ și astfel, lunile Decembrie, Ianuarie și Februarie necesită cele mai multe ore (2,91 – 3,34) pentru reîncălzire la temperatura interioară convențională de calcul (18,02°C).

Pierderile totale de căldură ale sistemului de încălzire (Q_{th}) se determină prin însumarea tuturor pierderilor sistemului.

$$Q_{th} = Q_{em,inc} + Q_{d,inc} + Q_{s,inc} + Q_{g,inc} \text{ [kWh/an]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 38}$$

- $Q_{em,inc}$ - pierderi căldură ale sistemului de transmisie a încălzirii
- $Q_{d,inc}$ - pierderi căldură ale sistemului de distribuție a încălzirii
- $Q_{s,inc}$ - pierderi căldură ale rezervorului tampon acumulare încălzire
- $Q_{g,inc}$ - pierderi căldură ale sursei de încălzire

Pierderile sistemului de transmisie a căldurii ($Q_{em,inc}$) sunt determinate de tipul și poziția corpurilor de încălzire dar și de modul de reglare a sistemului interior.

$$Q_{em,inc} = Q_{em,str,inc} + Q_{em,emb,inc} + Q_{em,c,inc} \text{ [kWh/an]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 39}$$

- $Q_{em,str,inc}$ - pierderi căldură distribuție neuniformă a temperaturii încălzire
- $Q_{em,emb,inc}$ - pierderi căldură poziție corpuri încălzire
- $Q_{em,c,inc}$ - pierderi căldură dispozitive reglare temperatură interioară încălzire

$$Q_{em, str, inc} = \frac{1 - \eta_{em}}{\eta_{em}} \cdot Q_h \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 40}$$

Q_h - necesarul de energie pentru încălzirea clădirii [kWh/an]
 η_{em} - eficiența sistemului de transmisie [-]

Valoarea eficienței sistemului de transmisie (η_{em}) este stabilită în conformitate cu Tabel B1 din Anexa II.1.B a metodologiei de calcul [21]. Pentru convectoare sub fereastră și un necesar mediu anual de căldură mai mic de 20 W/m², eficiența este $\eta_{em} = 0,93$.

Pierderile de căldură prin radiație a corpurilor de încălzire ($Q_{em, emb, inc}$), cauzate de disiparea căldurii către exterior în funcție de poziția acestora, s-a stabilit $Q_{em, emb, inc} = 0$. S-a stabilit faptul că ventiloconvectoarele de pardoseală și tavan, care funcționează pe principiul schimbătoarelor de căldură, nu generează pierderi prin radiație către exterior sau alte spații.

$$Q_{em, c, inc} = \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \cdot Q_h \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 41}$$

η_c - eficiența sistemului de reglare [-]

Valoarea eficienței sistemului de reglare (η_c) este stabilită în conformitate cu Tabel B3 din Anexa II.1.B a metodologiei de calcul [21]. Ventiloconvectoarele interioare sunt dotate cu sisteme de reglare locală de tip tot-nimic (termostate), iar în centrala termică se realizează reglarea temperaturii agentului termic distribuit. Astfel, ținând cont de caracteristica intermitentă a încălzirii clădirii fără dispozitiv de optimizare care impune reducerea valorilor tabelare cu 0,02, eficiența este $\eta_c = 0,95$.

Tabelul 4.22 - Valori parametrii de calcul pierderi sistem de transmisie a căldurii

$Q_{em, str, inc}$	$Q_{em, emb, inc}$	$Q_{em, c, inc}$	$Q_{em, inc}$
[kWh/an]			
8948	0	6257	15205

Pierderile de căldură ale sistemului de distribuție ($Q_{d, inc}$) iau în calcul toate conductele de la sursă până la corpurile de încălzire interioare. Gruparea acestora s-a făcut în funcție de diametrul și tipul conductelor respectiv poziția în care se află.

$$Q_{d, inc} = \sum_{i=1}^{38} \frac{U'_{R, inc, i} \cdot L_{inc, i} \cdot (\theta_{m, i} - \theta_{a, i}) \cdot t_H}{1000} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 42}$$

$U'_{R, inc, i}$ - coeficient specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de încălzire [W/mK]

$L_{inc, i}$ - lungimea conductei de încălzire [m]

$\theta_{m, i}$ - temperatura medie agent termic de încălzire în conductă [°C]

$\theta_{a, i}$ - temperatura mediului ambiant în zona conductei de încălzire

t_H - numărul de ore de încălzire în pasul de timp (an) [ore]

Performanța specifică a conductelor este determinată de caracteristicile geometrice și termice ale acestora. Conductele sunt termoizolate pe întreaga lungime. Grosimile materialului termoizolant variază în funcție de diametrul conductelor pentru a limita pierderile de căldură.

$$U'_{R,inc,i} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{inc,i}} \cdot \ln \frac{d_{a,inc,i}}{d_{inc,i}} + \frac{1}{\alpha_{a,inc,i} \cdot d_{a,inc,i}}} [W/mK] [21] - \text{conducte supraterane} \quad \text{Ec. 43}$$

$$U'_{R,inc,i} = \frac{\pi}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{inc,i}} \cdot \ln \frac{d_{a,inc,i}}{d_{inc,i}} + \frac{1}{\lambda_E} \cdot \ln \frac{4 \cdot z_d}{D} \right)} [W/mK] [21] - \text{conducte subterane} \quad \text{Ec. 44}$$

$\lambda_{inc,i}$	- conductivitate termică termoizolație conductă încălzire	[W/mK]
$d_{a,inc,i}$	- diametru exterior al conductei de încălzire cu termoizolație	[m]
$d_{inc,i}$	- diametru exterior al conductei de încălzire	[m]
$\alpha_{a,inc,i}$	- coeficient de transfer de căldură conductă de încălzire	[W/m ² K]
λ_E	- conductivitate termică sol	[W/mK]
z_d	- adâncimea de pozare	[m]

Conductele sunt amplasate în patru zone principale și anume centrala termică, în terenul natural, în interiorul clădirii și în podul neîncălzit. Diametrele acestora variază între 16 și 89 mm iar grosimile de termoizolație cu spumă elastomerică [116] pe bază de cauciuc sintetic sunt de 9, 13 și 19 mm. Coeficienții specifici de pierderi de căldură a conductelor de încălzire sunt prezentate în Tabelul A5.30 din Anexa 5.

Coeficienții de transfer de căldură a conductelor ($\alpha_{a,i}$) fără aportul termoizolației sunt definite de rezistențele superficiale interioare și exterioare respectiv de grosimea și conductivitatea termică a materialului peretelui conductei.

$$\alpha_{A,i} = \frac{1}{R_{si,i} + \frac{S_{R,i}}{\lambda_{R,i}} + R_{se,i}} [W/m^2K] \quad \text{Ec. 45}$$

$R_{si,i}$	- rezistență la transfer termic superficială pe suprafața interioară	[m ² K/W]
$S_{R,i}$	- grosime perete conductă	[m]
$\lambda_{R,i}$	- conductivitate termică perete conductă	[W/mK]
$R_{se,i}$	- rezistență la transfer termic superficială pe suprafața exterioară	[m ² K/W]

Conductele de încălzire amplasate în camera tehnică și terenul natural sunt realizate din oțel. În interiorul clădirii, coloanele de alimentare principale sunt realizate din conducte de oțel iar racordarea locală a consumatorilor la acestea sunt din polietilenă reticulată de înaltă densitate (PeXa) cu conductivitatea termică declarată a producătorului de $\lambda = 0,35$ W/mK [118]. Rezistențele superficiale luate în calcul sunt în conformitate cu prevederile Tabelului II ale normativului privind calculul termotehnic [58]. Coeficienții de transfer de căldură ai conductelor de încălzire sunt prezentate în Tabelul A5.31 din Anexa 5.

Calculul pierderilor de căldură a fiecărei conducte (Q_d) în parte este completat de lungimea efectivă a traseelor, de temperaturile care definesc transferul termic și de durata de funcționare efectivă. Temperatura terenului natural ($\theta_{a,tn}$) s-a stabilit la 10°C și a centralei termice ($\theta_{a,ct}$) la 12°C. Temperatura agentului termic a conductelor de încălzire în centrala termică și teren natural ($\theta_{m,d}$) s-a stabilit la 45°C pentru tur și la 35°C pentru retur.

Tabelul 4.23 - Valori parametrii de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție

Conductă	Poziție	$U_{R,inc,i}$ [W/mK]	$L_{inc,i}$ [m]	$\theta_{m,i}$ [°C]	$\theta_{a,i}$ [°C]	t_H [ore]	$Q_{d,inc,i}$ [kWh/an]
1	Interior clădire	0,183	1394	45	18	4536	32262
2		0,215	12				325
3		0,247	117				3656
4		0,288	30				1090
5		0,251	32				1016
6		0,293	57				2112
7		0,347	109				4781
8		0,397	67				3357
9		0,175	296				6522
10		0,183	8				185
11		0,176	19				422
12		0,212	48				1284
13		0,183	1394	35			20671
14		0,215	12				208
15		0,247	117				2343
16		0,288	30				698
17		0,251	32				651
18		0,293	57				1353
19		0,347	109				3063
20		0,397	67				2151
21		0,175	296				4179
22		0,183	8				119
23		0,176	19				270
24		0,212	48				823
25	Pod	0,247	8	45	6	350	
26				35		260	
27	Teren natural	0,123	10	45	10	195	
28				35		140	
29				45		1364	
30				35		974	
31	Centrală termică	0,224	6	45	12	201	
32				35		140	
33		0,416	20	45		1246	
34				35		868	
35		0,477	20	45		1427	
36				35		995	
37		0,477	12	45		856	
38				35		597	
$\Sigma Q_{d,inc}$ [kWh/an]							103157

Pierderile de căldură recuperate ale instalației de încălzire sunt cele care se află în interiorul clădirii $Q_{r,th} = 93420$ kWh/an, care reprezintă 90% din totalul pierderilor ale sistemului de distribuție.

Pierderile de căldură la nivelul rezervorului tampon acumulare ($Q_{s,inc}$) sunt determinate de mărimea suprafeței anvelopei, caracteristicile termotehnice ale acesteia, durata de utilizare și diferențele de temperatură care definesc transferul termic.

$$Q_{s,inc} = \frac{0,001 \cdot S_{Lat}}{0,10 + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}} \cdot n_h \cdot (\theta_{stoc,i} - \theta_{amb,r}) \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 46}$$

S_{Lat}	- suprafața laterală a rezervorului	[m ²]
δ_m	- grosimea peretelui metalic a rezervorului	[m]
λ_m	- conductivitate termică perete metalic rezervor	[W/mK]
δ_{iz}	- grosime medie termoizolație rezervor	[m]
λ_{iz}	- conductivitate termică termoizolație rezervor	[W/mK]
n_h	- număr de ore de livrare agent termic	[ore]
$\theta_{stoc,i}$	- temperatură medie agent termic în rezervor încălzire	[°C]
$\theta_{amb,r}$	- temperatura mediului ambient a rezervorului	[°C]

Conform fișei tehnice a producătorului de rezervor [115], acesta este termoizolat cu 90 mm de spumă poliuretanică expandată având conductivitatea termică declarată de $\lambda = 0,039$ W/mK [117]. Temperatura medie a agentului termic în rezervor este de 45°C.

Tabelul 4.24 - Valori parametrii de calcul pierderi de căldură prin mantaua rezervorului

S_{Lat} [m ²]	δ_m [m]	λ_m [W/mK]	δ_{iz} [m]	λ_{iz} [W/mK]	n_h [ore]	$\theta_{stoc,inc}$ [°C]	$\theta_{amb,r}$ [°C]	$Q_{s,inc}$ [kWh/an]
5,45	0,003	45	0,09	0,039	4536	45	12	339

Necesarul de energie termică a instalației de încălzire este asigurat de sursă prin pompele de căldură care au un $COP_{i,2C} = 3,20$ pentru această funcțiune, conform fișei tehnice a producătorului [109]. Astfel, pentru fiecare kWh de energie electrică consumată echipamentul produce 3,20 kWh de energie termică respectiv pierderile de căldură a sursei este $Q_{g,inc} = 0$. Alegerea COP-ului aferent funcționării ambelor compresoare interne ale pompelor de căldură s-a făcut în corelare cu puterile necesare pentru încălzire.

Tabelul 4.25 - Valori pierderi de căldură sistem de încălzire

$Q_{em,inc}$	$Q_{d,inc}$	$Q_{s,inc}$	$Q_{g,inc}$	Q_{th}	Q_{th} [kWh/m ² an]
[kWh/an]					
15205	103157	339	0	118701	33,95

Pierderile de căldură ale sistemului de distribuție reprezintă fracțiunea predominantă a pierderilor totale datorită traseelor lungi ale conductelor de încălzire. Proporția lungimilor de conducte aflate în afara anvelopei încălzite este redusă, astfel 90% din pierderile acestora sunt recuperate. Traseele lungi sunt datorate inclusiv amplasării centralei termice într-o clădire independentă, în afara anvelopei termice, la distanță semnificativă în plan față de centrul de greutate al planului clădirii.

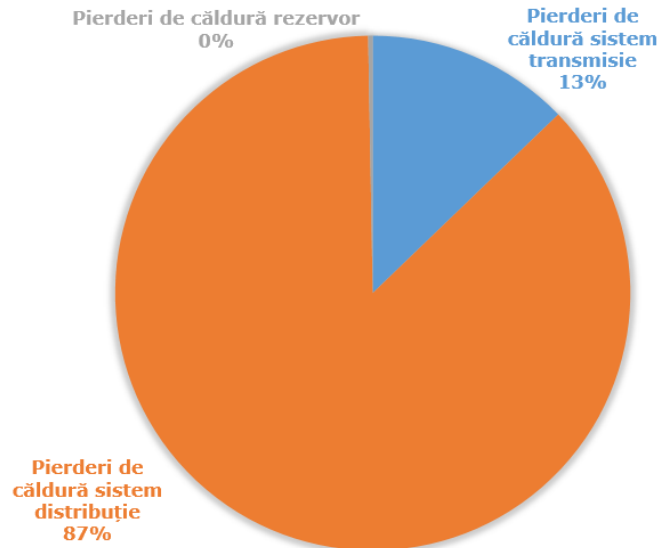


Figura 4.3 - Pierderile totale de căldură ale sistemului de încălzire

Consumul auxiliar de energie electrică al pompelor de circulație ($W_{inc,p}$) este determinat de cele zece pompe amplasate între sursă și distribuitoare foraje (2), sursă și rezervor (1), pe fiecare circuit de tur a sistemului de distribuție interioară (5) și pe fiecare foraj de extracție a pompei de căldură în sistem apă-apă (2).

$$W_{inc,p} = \sum_{i=1}^{10} f_{inc,pompa,i} \cdot P_{inc,pompa,i} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 47}$$

$f_{inc,pompa,i}$ - constanta pompei de circulației instalației de încălzire [ore]
 $P_{inc,pompa,i}$ - puterea pompei de circulație instalației de încălzire [W]

Pompele de circulație utilizate sunt marca Wilo Yonos Pico 25/1-6 [129] pe circuitul de radiatoare (RAD), marca Wilo Yonos Maxo 50/0,5-12 [130] pe cele patru circuite de ventiloconvectoare (VCV), marca Wilo Yonos Maxo 50/0,5-9 [131] între pompe de căldură (PC) și distribuitoare foraje (DF) respectiv rezervor (REZ) și marca Biral Sub4X 5-17 [132] în cele două foraje de extracție (FE). Puterile pompelor sunt în corelare cu curbele caracteristice de consum ale acestora pentru un debit de funcționare de 1 m³/h (Pico 25/1-6), 8 m³/h (Maxo 50/0,5-12), 14 m³/h și 11 m³/h (Maxo 50/0,5-9) și 7 m³/h (Sub4X 5-17).

Tabelul 4.26 - Valori parametrii de calcul consum de energie electrică pompe de circulație încălzire

Pompă	Poziție în sistem	$f_{inc,pompa}$ [ore]	$P_{inc,pompa}$ [W]	$W_{inc,p,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{inc,p}$ [kWh/an]
1	circuit RAD	3504	30	105	0,8	13814
2	circuit VCV1	1368	520	2134	15,4	
3	circuit VCV2					
4	circuit VCV3					
5	circuit VCV4	3504	520	1822	13,2	
6	PC-DF1	3504	440	3083	22,3	
7	PC-DF2					
8.1	PC-REZ.1	3504	210	736	5,3	
8.2	PC-REZ.2	1368	420	575	4,2	
9	FE1	3504	1100	5359	38,8	
10	FE2	1368				

Consumurile pompelor submersibile reprezintă consumul cel mai ridicat din categoria pompelor de circulație datorită puterii consumate specifice a acestora.

Consumul auxiliar ($W_{inc,vcv}$) al motoarelor ventiloconvectoarelor (VCV) sistemului de distribuție a încălzirii este determinat de similar cu cel al pompelor de circulație, pentru cele 95 de unități interioare.

$$W_{inc,vcv} = \sum_{i=1}^{95} f_{inc,vcv,i} \cdot P_{inc,vcv,i} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 48}$$

$f_{inc,vcv,i}$ - constanta motorului VCV-ului pentru încălzire [ore]
 $P_{inc,vcv,i}$ - puterea motorului VCV-ului pentru încălzire [W]

Unitățile interioare utilizate sunt marca DencoHappel Flex-Geco [119] de pardoseală tip GF12 și GF42 respectiv de tavan tip GF84, cu motor electric de tip AC cu 5 trepte de turație. Puterea consumată specifică considerată este aferentă treptei de turație 3.

Tabelul 4.27 - Valori parametrii de calcul consum de energie electrică ventilconvectoare încălzire

Nivel	Model	Nr. [buc]	$f_{inc,vcv}$ [ore]	$P_{inc,vcv}$ [W]	$W_{inc,vcv,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{inc,vcv}$ [kWh/an]
Etaj 3	GF12	23	3504	50	4524	52,7	8579
	GF42	3		47			
Etaj 2	GF12	6	1368	50	1632	19,0	
	GF42	19		47			
Etaj 1	GF12	10		50	1777	20,7	
	GF42	17		47			
Sală mese	GF84	4	272	99	108	1,3	
Biblioteca	GF12	2	1368	50	458	5,4	
	GF42	5		47			
Bucătărie	GF12	4	272	50	80	0,9	
	GF42	2		47			

Consumurile de la nivelul etajului 3 reprezintă consumul cel mai ridicat din categoria motoarelor VCV datorită numărului de ore de funcționare a acestora.

98 Consum de energie încălzire - 4.1

Tabelul 4.28 - Valori consum de energie termică pentru încălzire

Q_h	Q_{rth}	Q_{rwh}	Q_{th}	Q_{inc}	Q_{inc} [kWh/m ² an]
118882	93420	16040	118701	128123	36,64

Tabelul 4.29 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație încălzire

Q_{inc} [kWh/an]	$COP_{i,2C}$ [kWh/kWh]	$Q_{inc,sursă}$ [kWh/an]	$Q_{inc,sursă}$ [kWh/m ² an]
128123	3,20	40038	11,45

Pentru determinarea consumului de energie electrică totală ($Q_{f,h}$) a instalației de încălzire, se însumează consumul sursei cu cele determinate pentru consumurile auxiliare.

Tabelul 4.30 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației încălzire

$Q_{inc,sursă}$	$W_{inc,p}$	$W_{inc,vcv}$	$Q_{f,h}$	$Q_{f,h}$ [kWh/m ² an]
40038	13814	8579	62431	17,85

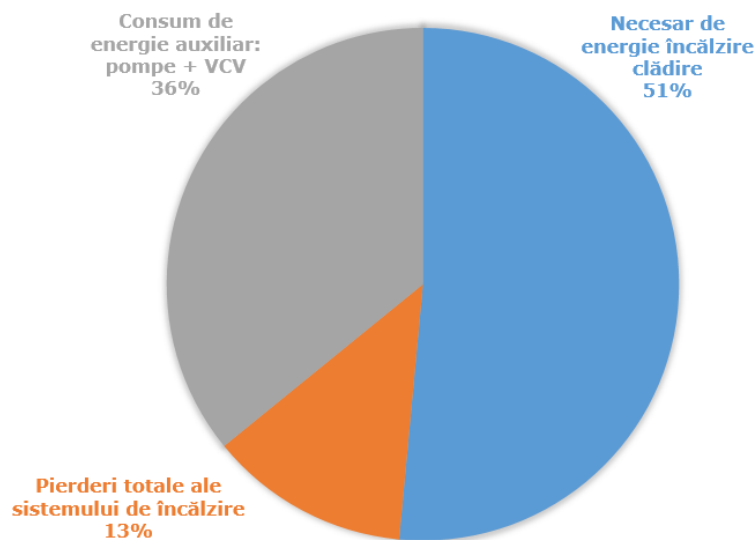


Figura 4.4 - Consumuri totale încălzire

Consumurile pompelor de circulație și a VCV-urilor reprezintă o fracțiune semnificativă de 36% datorită numărului ridicat al acestora (10 pompe între componentele principale ale componentelor centralei termice și 95 VCV-uri în interiorul clădirii) dar și datorită necesarului de energie specific redus pentru încălzirea clădirii (11,45 kWh/m²an). În cazul clădirilor dotate cu alte surse de căldură decât pompe de căldură (de exemplu centrale în condensatie pe combustibil gazos) fracțiunea consumurilor auxiliare din consumurile totale sunt mai reduse datorită puterii instalate mai mici ale acestora (lipsa pompelor submersibile sau a VCV-urilor) dar și din cauza necesarului de energie pentru încălzire mai ridicat. Pierderile sistemului de încălzire reprezintă o fracțiune redusă (13%) datorită faptului că cea mai mare parte din traseele de distribuție a conductelor se află în interiorul volumului încălzit și căldura pierdută de acestea este recuperată.

Necesarul de energie pentru încălzire este redus în principal din cauza sistemului de termoizolare eficient (și pierderilor de căldură aferente reduse ale anvelopei), echipament de încălzire cu COP ridicat, aporturi interne (oameni, aparate, echipamente) și solare ridicate dar și din cauza ocupării discontinue caracterizată de încălzire cu intermitență.

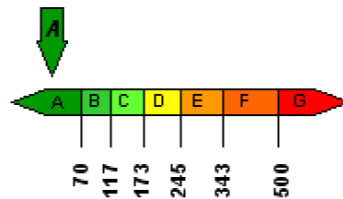


Figura 4.5 - Încadrarea consumului de încălzire în clasă energetică

Consumul specific total de energie electrică a sistemului de încălzire a clădirii de 17,85 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A respectiv depășește cu puțin limita maximă admisă conform Standardului de Casă Pasivă $Q_{f,h} \leq 15$ kWh/m²an [71].

Consumul de energie primară a sistemului de încălzire, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$ [21]), este de 46,77 kWh/m²an și se încadrează în limitele maxime admise pentru clădiri de învățământ conform metodologiei naționale ($q_{an,max,inc} = 123$ kWh/m²an) [21] respectiv se încadrează în clasa energetică A+ conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,inc,A+}^* < 61$ kWh/m²an) [69].

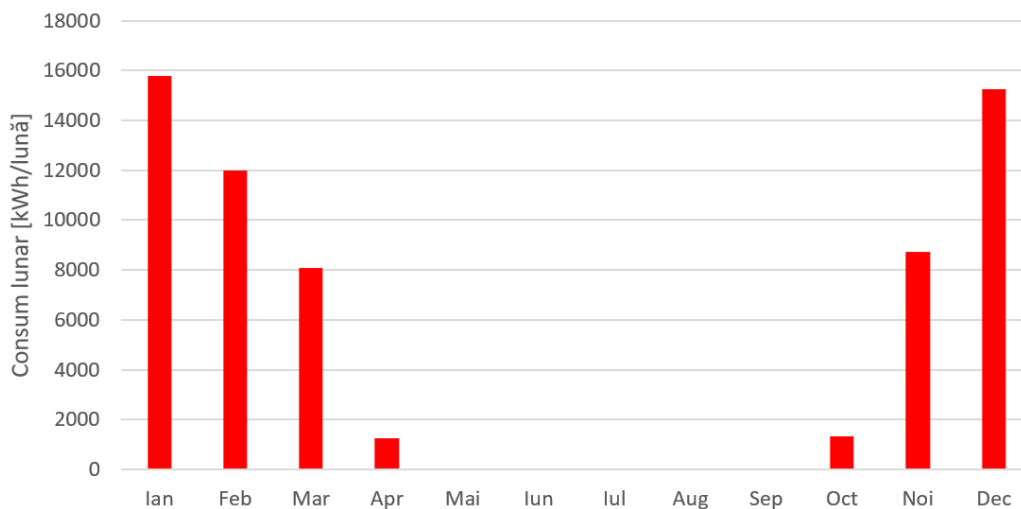


Figura 4.6 - Distribuție lunară consumuri energie încălzire

4.2 Consum de apă caldă

Consumul total de energie termică a sistemului de apă caldă menajeră (Q_{acm}) este definit de consumurile și pierderile termice ale subsistemelor sale. Instalația este alcătuită din sursa de preparare a apei calde menajere (ACM) prin pompele de căldură, boiler de acumulare, pompe de circulație, sistem de distribuție la obiecte sanitare și consumatori.

Pompele de circulație reprezintă singurele componente ale sistemului care nu se raportează la performanța sursei de ACM și astfel cantitatea total necesară de energie electrică ($Q_{f,w}$) a instalației se obține însumând consumurile electrice a sursei ($Q_{acm,sursă}$) cu cele ale pompelor de circulație ($W_{ac,d}$). Conversia energiei termice (Q_{acm}) la energie electrică la nivel de sursă se face prin intermediul COP-ului echipamentului (COP_{ACM}).

$$Q_{acm} = Q_{ac} + Q_{ac,p} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 49}$$

Q_{ac} - necesarul de căldură pentru prepararea ACM [kWh/an]
 $Q_{ac,p}$ - pierderile totale de căldură ale instalației ACM

Necesarul de căldură pentru furnizarea ACM (Q_{ac}) este în principal alcătuit din necesarul pentru prepararea acesteia la nivel de sursă și pierderile pe întreg traseul de furnizare. Volumul de apă necesară se prepară de către pompele de căldură și se determină pe baza gradului de ocupare și tipul funcțiilor din clădire.

$$Q_{ac} = \rho \cdot c \cdot V_{ac} \cdot (\theta_{ac} - \theta_{ar}) [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 50}$$

V_{ac} - volumul necesar de ACM [m³]
 θ_{ac} - temperatura de preparare a ACM [°C]
 θ_{ar} - temperatura apei reci [°C]

Gradul de ocupare și timpii de funcționare s-au stabilit în baza scenariului de utilizare stabilit iar consumurile specifice funcțiilor sunt considerate în conformitate cu Anexa II.3.B al metodologiei de calcul [21] prin asimilarea cantinei cu restaurante cu autorservire de o masă pe zi și în conformitate cu Tabelul nr. 4 al reglementării tehnice de stabilire a prescripțiilor fundamentale de alimentare cu apă a clădirilor [133] pentru cazare în cămin cu grupuri sanitare în camere respectiv pentru școli.

Pentru învățământ, pe lângă cele 175 de zile de funcționare la capacitatea de 375 de persoane, s-au considerat suplimentar încă 10 zile de activitate administrative și extracuriculare a unui număr de 15 persoane. În cazul cantinei s-au considerat două cicluri complete de utilizare zilnică pe perioada funcționării anuale a școlii dar și încă 30 de zile suplimentare a câte un ciclu complet pentru evenimente organizate în afara activităților didactice pe perioada vacanțelor și sfârșiturile de săptămână.

Tabelul 4.31 - Volum necesar de ACM

Categorie	Ocupare [persoane]	Utilizare [zile/an]	Consum ACM [L/om zi]	Consum ACM [m ³]	Consum ACM [m ³]
Învățământ	375/15	175/10	5	329	1697
Cantină	192x2/192	175/30	6	438	
Cazare	62	250	60	930	

Tabelul 4.32 - Valori parametrii de calcul necesar de căldură preparare ACM

ρ [kg/m ³]	c [J/kg K]	V_{ac} [m ³]	θ_{ac} [°C]	θ_{ar} [°C]	Q_{ac} [kWh/an]
985,6	4,182	1697	55	10	89294

Temperatura de preparare a agentului termic (θ_{ac}) s-a stabilit la 55°C iar cea a apei reci (θ_{ar}) furnizate de sistemul public la 10°C, în lipsa datelor de la furnizor. Temperatura de furnizare a ACM în clădire este prevăzută la 50°C, aferent necesarului pentru igiena corporală și spălat.

Pierderile de căldură a întregului sistem ($Q_{ac,p}$) sunt definite de pierderile conductelor amplasate în diferite medii ambientale, de cele de la nivelul boilerului de acumulare și cele datorate perioadei de nefuncționare a pompei de circulație pe circuitul primar între sursă și boiler. Circuitul de recirculare asigură furnizarea în permanență a ACM la temperatura de consum la nivelul obiectelor sanitare astfel pierderile de căldură la consumator ($Q_{ac,c}$) sunt eliminate. Pierderile de căldură de preparare ACM a pompelor de căldură ($Q_{ac,g}$) sunt integrate în COP-ul acestora prin urmare este luat în calcul cu valoare 0.

$$Q_{ac,p} = Q_{ac,c} + Q_{ac,d} + Q_{ac,s} + \sum Q_{ac,g} \text{ [kWh/an] [21]} \quad \text{Ec. 51}$$

- $Q_{ac,c}$ - Pierderi de căldură datorită furnizării la consumator a ACM la temperatură diferită de temperatura nominală de calcul
- $Q_{ac,d}$ - Pierderi de căldură pe conductele de distribuție ACM [kWh/an]
- $Q_{ac,s}$ - Pierderi de căldură a sistemului de acumulare a ACM
- $Q_{ac,g}$ - Pierderi de căldură a echipamentului de preparare a ACM

Pierderile de căldură a sistemului de distribuție ($Q_{ac,d}$) iau în calcul toate conductele de la sursă până la consumatorul final. Gruparea acestora s-a făcut în funcție de diametrul și tipul conductelor respectiv poziția în care se află.

$$Q_{ac,d} = \sum_{i=1}^{14} \frac{U_{R,i} \cdot L_i \cdot (\theta_{m,ac,d,i} - \theta_{amb,i}) \cdot t_{ac} \cdot z}{1000} \text{ [kWh/an] [21]} \quad \text{Ec. 52}$$

- $U_{R,i}$ - coeficient specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei ACM [W/mK]
- $L_{ac,i}$ - lungimea conductei ACM [m]
- $\theta_{m,ac,d,i}$ - temperatura medie a ACM în conductă [°C]
- $\theta_{amb,i}$ - temperatura mediului ambient în zona conductei ACM [°C]
- t_{ac} - durata de furnizare a agentului termic [zile]
- z - timpul efectiv de furnizare agent termic [ore]

Performanța specifică a conductelor ($U_{R,i}$) este determinată de caracteristicile geometrice și termice ale acestora. Conductele sunt termoizolate pe întreaga lungime. Grosimile materialului termoizolant variază în funcție de diametrul conductelor pentru a limita pierderile de căldură.

$$U_{R,i} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_{acm,i}} \cdot \ln \frac{d_{a,acm,i}}{d_{acm,i}} + \frac{1}{\alpha_{a,acm,i} \cdot d_{a,acm,i}}} \text{ [W/mK] [21]} \quad \text{Ec. 53}$$

$\lambda_{acm,i}$	- conductivitate termică termoizolație conductă ACM	[W/mK]
$d_{a,acm,i}$	- diametru exterior al conductei ACM cu termoizolație	[m]
$d_{acm,i}$	- diametru exterior al conductei ACM	[m]
$\alpha_{a,acm,i}$	- coeficient de transfer de căldură conductă ACM	[W/m ² K]

Conductele sunt amplasate în trei zone principale și anume centrala termică, în terenul natural și în interiorul clădirii. Diametrele acestora variază între 16 și 89 mm iar grosimile de termoizolație cu spumă elastomerică pe bază de cauciuc sintetic sunt de 9, 13 și 19 mm. Coeficienții specifici de pierderi de căldură ai conductelor de ACM sunt prezentați în Tabelul B5.1 din Anexa 5.

Coeficienții de transfer de căldură ai conductelor ACM ($\alpha_{A,i}$) fără aportul termoizolației sunt definiți de rezistențele superficiale interioare și exterioare respectiv de grosimea și conductivitatea termică a materialului peretelui conductei.

$$\alpha_{A,i} = \frac{1}{R_{si,i} + \frac{S_{R,i}}{\lambda_{R,i}} + R_{se,i}} \quad [W/m^2K] \quad \text{Ec. 54}$$

$R_{si,i}$	- rezistență la transfer termic superficială pe suprafața interioară	[m ² K/W]
$S_{R,i}$	- grosime perete conductă ACM	[m]
$\lambda_{R,i}$	- conductivitate termică perete conductă ACM	[W/mK]
$R_{se,i}$	- rezistență la transfer termic superficială pe suprafața exterioară	[m ² K/W]

Conductele de ACM amplasate în camera tehnică sunt realizate din oțel iar cele din terenul natural din polipropilenă random copolimer (PPR) cu conductivitatea termică declarată a producătorului de $\lambda = 0,24$ W/mK [134]. În interiorul clădirii, coloanele de alimentare principale sunt realizate din conducte de oțel iar racordarea locală a consumatorilor la acestea sunt din polietilenă reticulată de înaltă densitate (PeXa) cu conductivitatea termică declarată a producătorului de $\lambda = 0,35$ W/mK [118]. Rezistențele superficiale luate în calcul sunt în conformitate cu prevederile Tabelului II ale normativului privind calculul termotehnic [58]. Coeficienții de transfer de căldură ai conductelor de ACM sunt prezentați în Tabelul B5.2 din Anexa 5.

Calculul pierderilor de căldură ale fiecărei conducte ACM ($Q_{ac,d,i}$) în parte este completat de lungimea efectivă a traseelor ($L_{ac,i}$), de temperaturile care definesc transferul termic ($\theta_{m,ac,d,i}$ și $\theta_{amb,tn}$) și de durata de funcționare efectivă (t_{ac} și z). Temperatura terenului natural ($\theta_{amb,tn}$) s-a stabilit la 10°C și a centralei termice ($\theta_{amb,ct}$) la 12°C. Temperatura agentului termic a conductelor ACM în centrala termică și teren natural ($\theta_{m,ac,d,i}$) s-a stabilit la 55°C, aferent temperaturii de preparare. Temperatura în conductele din interiorul clădirii s-a stabilit la 52°C, determinate ca medie dintre temperatura de preparare (55°C) și cea de consum (50°C). Regimul de furnizare a ACM pe toate conductele respectiv funcționarea pompelor de recirculare, cu excepția celei de agent primar între sursă și boiler, este continuă. Durata de funcționare a pompelor de căldură pentru prepararea zilnică a ACM respectiv a pompei de circulație pe circuitul primar s-a estimat la o medie de două ore pe zi.

Tabelul 4.33 - Valori parametrilor de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție ACM

Conduct	Poziție	$U_{R,i}$ [W/mK]	$L_{ac,i}$ [m]	$\theta_{m,ac,d,i}$ [°C]	$\theta_{amb,i}$ [°C]	t_{ac} [zile]	z [ore]	$Q_{ac,d,i}$ [kWh/an]
1	Interior clădire	0,173	200	52	18	365	24	10396
2		0,185	133					7262
3		0,212	108					6817
4		0,217	47					3041
5		0,252	18					1348
6		0,294	16					1399
7	Teren natural	0,180	52	55	10	365	24	3710
8		0,225	9					805
9	Centrală termică	0,194	5	55	12	365	24	366
10		0,226	4					341
11		0,307	1					116
12		0,217	12					983
13		0,476	12					2155
14		0,298	18					168
$\Sigma Q_{ac,d}$ [kWh/an]								38908

Pierderile de căldură recuperate ale instalației de ACM sunt cele care se află în interiorul clădirii $Q_{ac,d,rec} = 30263$ kWh/an, din care pentru perioada de încălzire $Q_{rwh} = 16040$ kWh/an, aferente duratei de 189 de zile de încălzite.

Pierderile de căldură la nivelul boilerului de acumulare ($Q_{ac,s}$) sunt determinate de mărimea suprafeței anvelopei (S_{Lat}), caracteristicile termotehnice ale acesteia, durata de utilizare (n_h) și diferențele de temperatură care definesc transferul termic (θ_{acb} și $\theta_{amb,b}$).

$$Q_{ac,s} = \frac{0,001 \cdot S_{Lat}}{0,10 + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}} \cdot n_h \cdot (\theta_{acb} - \theta_{amb,b}) \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 55}$$

S_{Lat}	- suprafața laterală a boilerului	[m ²]
δ_m	- grosime peretelui metalic a boilerului	[m]
λ_m	- conductivitate termică perete metalic boiler	[W/mK]
δ_{iz}	- grosime medie termoizolație boiler	[m]
λ_{iz}	- conductivitate termică termoizolație boiler	[W/mK]
n_h	- număr de ore de livrare ACM	[ore]
θ_{acb}	- temperatură medie ACM în boiler	[°C]
$\theta_{amb,b}$	- temperatura mediului ambient a boilerului	[°C]

Conform fișei tehnice a producătorului de boiler, acesta este termoizolat cu 50 mm de spumă poliuretanică expandată având conductivitatea termică declarată de $\lambda = 0,039$ W/mK [117]. Regimul de utilizare este continuu iar temperatura medie a ACM în boiler s-a considerat 70% din temperatura de preparare a ACM.

Tabelul 4.34 - Valori parametrilor de calcul pierderi de căldură prin mantaua boilerului

S_{Lat} [m ²]	δ_m [m]	λ_m [W/mK]	δ_{iz} [m]	λ_{iz} [W/mK]	n_h [ore]	θ_{acb} [°C]	$\theta_{amb,b}$ [°C]	$Q_{ac,s}$ [kWh/an]
6,00	0,003	45	0,05	0,039	8760	38,5	12	1008

Consumul auxiliar de energie electrică a pompelor de circulație ($W_{ac,d}$) este determinat de cele două pompe amplasate între sursă și boiler respectiv pe circuitul de recirculare a sistemului de distribuție.

$$W_{ac,d} = f_{pompa,d} \cdot P_{pompa,d} + f_{pompa,g} \cdot P_{pompa,g} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 56}$$

$f_{pompa,d}$	- constanta pompei de circulației interioare	[ore]
$P_{pompa,d}$	- puterea pompei de circulație interioare	[W]
$f_{pompa,g}$	- constanta pompei de circulație între sursă și boiler	[ore]
$P_{pompa,g}$	- puterea pompei de circulație între sursă și boiler	[W]

Pompele de circulație utilizate sunt marca Wilo Yonos Maxo 30/0,5-10 [135] pe circuitul de recirculare și marca Wilo Yonos Maxo 50/0,5-9 [131] pentru circuitul primar. Puterile pompelor sunt în corelare cu curbele caracteristice de consum ale acestora pentru un debit de funcționare de 1 m³/h respectiv 2,5 m³/h.

Tabelul 4.35 - Valori parametrii de calcul consum de energie electrică pompe de circulație ACM

Pompă	Poziție în sistem	F_{pompa} [ore]	P_{pompa} [W]	$W_{ac,d,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{ac,d}$ [kWh/an]
1	distribuție interioară	8760	110	964	79	1219
2	sursă - boiler	730	350	255	21	

Tabelul 4.36 - Valori parametrii de calcul pierderi totale de căldură ale instalației ACM

$Q_{ac,d}$	$Q_{ac,s}$	$Q_{ac,p}$	$Q_{ac,p}$ [kWh/m ² an]
38908	1008	39916	11,42

Consumul de energie termică a instalației de ACM (Q_{acm}) este asigurat de sursă prin pompele de căldură care au un $COP_{ACM,1C} = 2,85$ pentru această funcțiune, conform fișei tehnice a producătorului [109]. Astfel, pentru fiecare kWh de energie electrică consumată echipamentul produce 2,85 kWh de energie termică.

Tabelul 4.37 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație ACM

Q_{ac}	$Q_{ac,p}$	Q_{acm}	$COP_{ACM,1C}$ [kWh/kWh]	$Q_{acm,sursă}$ [kWh/an]
87414	39916	127330	2,85	44677

Pentru determinarea consumului de energie electrică totală ($Q_{f,w}$) a instalației de ACM, se însumează consumul sursei cu cele determinate pentru funcționarea pompelor de circulație.

Tabelul 4.38 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației ACM

$Q_{acm,sursă}$	$W_{ac,d}$	$Q_{f,w}$	$Q_{f,w}$ [kWh/m ² an]
44677	1219	45896	13,12

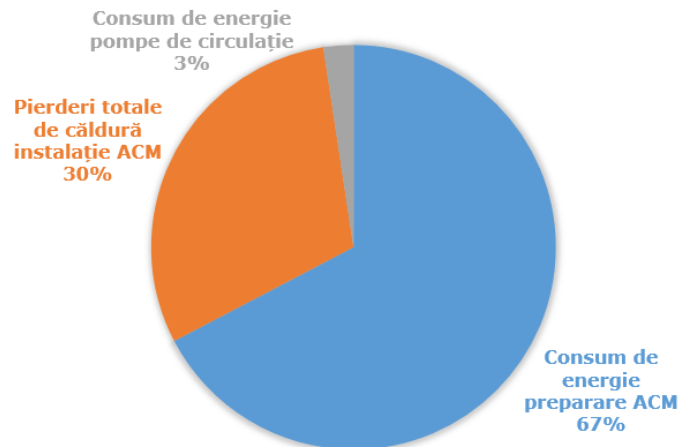


Figura 4.7 - Consumuri totale ACM

Consumul total de energie electrică este dominat de prepararea ACM datorită volumului necesar mare derivat din funcțiunea de cazare. Deși conductele de distribuție sunt termoizolate corespunzător, proporția ridicată a pierderilor se explică prin traseele lungi, existența circuitelor de recirculare și funcționării continue a acestora.

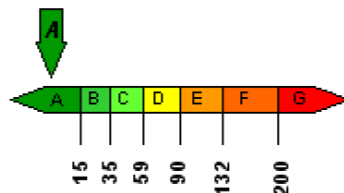


Figura 4.8 - Încadrarea consumului de ACM în clasă energetică

Consumul specific total de energie electrică a ACM a clădirii de 13,12 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A.

Consumul de energie primară a sistemului de ACM, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$ [21]), este de 34,37 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică G conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,acm,G^*} > 19$ kWh/m²an) [69].

Motivul încadrării într-o clasă energetică defavorabilă, conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul, se datorează faptului că încadrarea consumurilor de ACM în clase energetice a clădirilor de învățământ ia în considerare tipuri de clădiri care, în mod uzual, nu conțin unități de cazare și bucătărie pentru servirea mesei. În cazul clădirii analizate, ponderea consumului de ACM a unității de cazare și bucătărie este de 81%. Consumul de energie ACM în cazul scoaterii acestei funcțiuni din evaluare, ar fi de 6,53 kWh/m²an și s-ar încadra în clasa energetică C conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,răc,C^*} = 5...7$ kWh/m²an) [69].

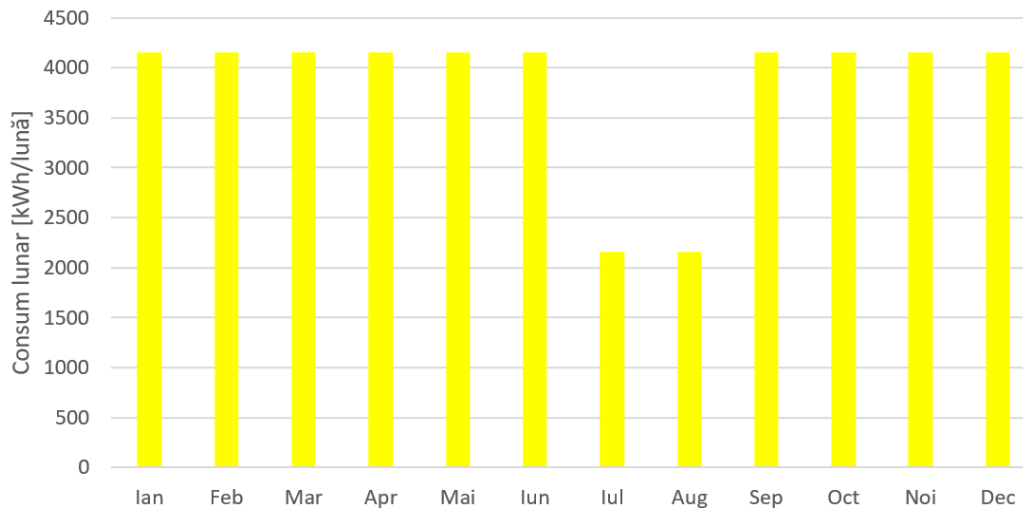


Figura 4.9 - Distribuție lunară consumuri energie ACM

4.3 Consum de energie răcire

Consumul total de energie termică a instalației de răcire ($Q_{r\grave{a}c}$) este definit de consumurile și pierderile termice ale subsistemelor sale. Configurația instalației este identică cu cea a sistemului de încălzire.

Pompele de circulație și motoarele ventiloconvectoarelor reprezintă singurele componente ale sistemului care nu se raportează la performanța sursei de agent termic și astfel cantitatea total necesară de energie electrică a instalației ($Q_{f,c}$) se obține însumând consumurile electrice a sursei ($Q_{r\grave{a}c,surs\grave{a}}$) cu cele ale pompelor de circulație și ale motoarelor ventiloconvectoarelor ($W_{r\grave{a}c,p}$ și $W_{r\grave{a}c,vcv}$). Conversia energiei termice ($Q_{r\grave{a}c}$) la energie electrică la nivel de sursă se face prin intermediul COP-ului echipamentului (COP_r).

$$Q_{r\grave{a}c} = Q_c - Q_{rch} + Q_{tc} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 57}$$

- Q_c - necesar energie termică răcire
 Q_{rch} - pierderi recuperate ale sistemului de distribuție a răcirii [kWh/an]
 Q_{tc} - pierderile totale ale sistemului de răcire

Temperatura exterioară medie ($\theta_{em,R}$) reprezintă valoarea temperaturii exterioare la care aporturile totale de căldură (Q_z) sunt egale cu pierderile prin transfer, calculat pentru temperatura interioară de calcul pentru răcire (θ_{i0}) stabilit la 25°C.

$$\theta_{em,R} = \theta_{i0} - \frac{\eta_{Tr,R} \cdot Q_z \cdot A_{u,\text{înc\grave{a}lzit}}}{H} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad [136] \quad \text{Ec. 58}$$

- θ_{i0} - temperatura interioară de confort în perioada de vară [°C]
 $\eta_{Tr,R}$ - factorul de utilizare a pierderilor de căldură în situația răcirii [-]

$$\eta_{Tr,R} = \frac{\alpha_R}{\alpha_R + 1} [-] [136] \quad \text{Ec. 59}$$

$$\alpha_R = \alpha_{0R} + \frac{\tau_R}{\tau_{0R}} [-] [21] \quad \text{Ec. 60}$$

$$\tau_R = \frac{C_M}{H_T} [-] [136] \quad \text{Ec. 61}$$

- α_{0R} - parametru numeric de referință [-]
- τ_R - constanta de timp pentru răcire [ore]
- τ_{0R} - constanta de timp de referință pentru răcire [ore]

Coeficientul de transmisie a căldurii prin elementele clădirii (H_T), capacitatea termică a clădirii (C_M), α_{0R} și τ_{0R} au valori identice cu cele de la încălzire. Aporturile totale pentru perioada de răcire sunt prezentate în Tabelul C5.1 din Anexa 5.

Tabelul 4.39 – Constanta de timp pentru răcire

H_T [W/K]	C_M [kJ/K]	τ_R [ore]
1161,51	975316,173	233,25

Tabelul 4.40 – Parametru numeric

α_{0R} [-]	τ_R [ore]	τ_{0R} [ore]	α_R [-]
1,00	233,25	15	16,55

Tabelul 4.41 – Temperatura exterioară medie

θ_{io} [°C]	$\eta_{Tr,R}$ [-]	Q_z [W/m²]	$A_{u,incalzit}$ [m²]	H [W/K]	$\theta_{em,R}$ [°C]
25,00	0,943	7,838	3496,47	3205,62	16,938

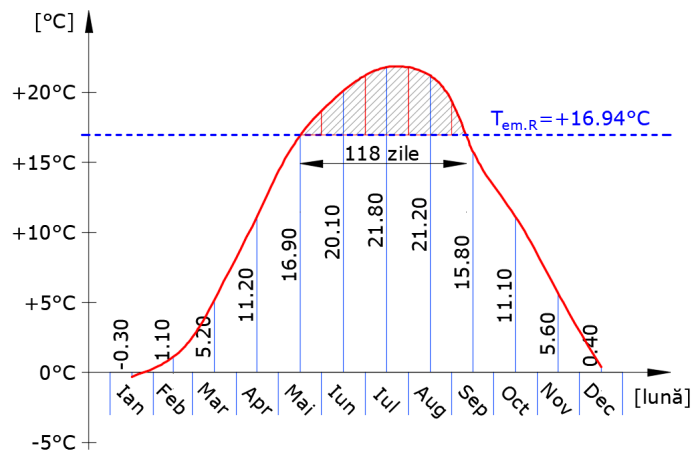


Figura 4.10 - Stabilirea grafică a perioadei anuale de răcire

Durata de răcire (118 zile) se determină prin intersecția curbei de temperaturi exterioare medii lunare cu temperatura exterioară medie corectată ($\theta_{em,R}$).

Necesarul de frig sensibil ($Q_{F(t)}$) al unei incinte se determină în funcție de caracteristicile termotehnice ale elementelor de anvelopă, rata schimbului de aer, diferențele de temperatură (interior-exterior) și aporturile interne de căldură.

$$Q_{F(t)} = \frac{A_E}{R'_m} \cdot [\theta_{i0} - \theta_{eRC(k)}] + 1,1 \cdot n_{a(t)} \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot V \cdot [\theta_{i0} - \theta_{e(k)}] + Q_i \cdot A_{u,incalzit} \text{ [W]} \quad [21] \quad \text{Ec. 62}$$

- $\theta_{eRC(k)}$ - temperatura exterioară de referință a elementelor exterioare [°C]
 $n_{a(t)}$ - rata de ventilare a spațiului ocupat [h⁻¹]
 $\theta_{e(k)}$ - temperatura exterioară medie pentru luna k [°C]

Temperaturile exterioare de referință ale elementelor exterioare ($\theta_{eRC(k)}$) se determină prin considerarea aporturilor solare și a temperaturilor echivalente a elementelor de anvelopă. $\theta_{eRC(k)}$ și $Q_{F(t)}$ s-au determinat prin calcul numeric automat utilizând programului AllEnergy v7.0 [60].

Cantitatea lunară de căldură sensibilă ($Q_{F(k)}$) se determină prin înmulțirea necesarului sensibil de frig (Q_F) cu numărul de ore de utilizare (D) pentru cele două zone de ocupare, prin utilizarea raportului dintre coeficientul de pierdere de căldură prin transmisie al etajului 3 ($H_{T,E3} = 324,43 \text{ W/K}$) în raport cu cel întregii clădiri ($H_{T,P+3E} = 1161,45 \text{ W/K}$).

$$Q_{F(k)} = 0,28 \cdot Q_{F(t)} \cdot D_{R,E3} + (1 - 0,28) \cdot Q_{F(t)} \cdot D_{R,P+2E} \text{ [kWh/lună]} \quad \text{Ec. 63}$$

$$Q_F = \sum_k Q_{F(k)} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 64}$$

- $D_{R,P+2E}$ - durata lunară de răcire pentru primele trei niveluri [ore]
 $D_{R,E3}$ - durata lunară de răcire pentru etajul 3

Tabelul 4.42 - Cantitatea de căldură sensibilă pe durata sezonului cald

	Lună	Mai	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
t_R	[zile]	10	30	31	31	10
$\theta_{e(k)}$	[°C]	16,9	20,1	21,8	21,2	15,8
$\theta_{eRC(k)}$		35,69	39,42	41,95	41,10	36,87
$Q_{R(t)}$	[kW]	41,390	59,940	71,706	67,784	44,240
$D_{R,P+2E}$	[ore]	70	56	0	0	46
$D_{R,E3}$		160	336	336	336	112
$Q_{F(k)}$	[kWh/lună]	3940	8056	6746	6377	2853
	[%]	14,1	28,8	24,1	22,8	10,2
Q_F	[kWh/an]	27972				

Necesarul latent de frig (Q_L) se determină în funcție de numărul de persoane în spațiul răcit (respectiv debitul de căldură latentă emisă de acestea) și cantitatea de vapori de apă din aerul vehiculat de instalația de ventilare.

$$Q_{L(t)} = N_{pers(t)} \cdot a_L + \delta_v \cdot G_v \cdot i_v \text{ [W]} \quad [21] \quad \text{Ec. 65}$$

$N_{pers(t)}$	- numărul de persoane din spațiul ocupat în perioada t	[pers]
a_L	- debitul de căldură latentă	[W/pers]
i_v	- entalpia vaporilor de apă	[J/kg]
G_v	- debitul vaporilor de apă	[kg/s]
δ_v	- simbolul Kronecher-Weierstrass	[-]

Cantitatea lunară de căldură latentă ($Q_{L(k)}$) se determină prin înmulțirea necesarului latent de frig (Q_L) cu numărul de ore de utilizare (D) pentru cele două zone de ocupare.

$$Q_{L(k)} = Q_{L(t),P+2E} \cdot D_{R,P+2E} + Q_{L(t),E3} \cdot D_{R,E3} \text{ [kWh/lună] [21]} \quad \text{Ec. 66}$$

$$Q_L = \sum_k Q_{L(k)} \text{ [kWh/an] [21]} \quad \text{Ec. 67}$$

$Q_{L(t),P+2E}$	- necesarul latent de frig pentru primele trei niveluri	[W]
$Q_{L(t),E3}$	- necesarul latent de frig al etajului 3	

Tabelul 4.43 – Necesarul latent de frig

Nivel	N_{pers}	a_L [W/pers]	i_v [J/kg]	δ_v [-]	G_v [kg/s]	$Q_{L(t)}$ [kW]
P+2E	375	40	50000	1	0,177	23,85
Etaj 3	62				0,044	4,68

Tabelul 4.44 – Cantitatea de căldură sensibilă pe durata sezonului cald

Lună	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	
$D_{R,P+2E}$	[ore]	70	56	0	0	46
$Q_{L,P+2E}$	[kWh]	1669	1336	0	0	1097
$D_{R,E3}$	[ore]	160	336	336	336	112
$Q_{L,E3}$	[kWh]	749	1572	1572	1572	526
$Q_{L(k)}$	[kWh/lună]	2418	2908	1572	1572	1623
	[%]	24	28,9	15,5	15,5	16,1
Q_L	[kWh/an]	10093				

Necesarul total de frig (Q_c) se determină prin însumarea necesarului de frig sensibil (Q_F) și necesarul de frig latent (Q_L).

$$Q_c = \sum_k Q_{c(k)} = \sum_k (Q_{F(k)} + Q_{L(k)}) = Q_F + Q_L \text{ [kWh/an] [21]} \quad \text{Ec. 68}$$

Tabelul 4.45 – Necesarul total de frig pe durata sezonului cald

Lună	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.	
$Q_{F(k)}$	3940	8056	6746	6377	2853	
$Q_{L(k)}$	[kWh/lună]	2418	2908	1572	1572	1623
$Q_{c(k)}$		6358	10964	8318	7949	4476
	[%]	16,7	28,8	21,8	20,9	11,8
Q_c	[kWh/an]	38065				

Pierderile totale ale sistemului de răcire (Q_{tc}) se determină prin însumarea tuturor pierderilor sistemului.

$$Q_{tc} = Q_{em,r\ddot{a}c} + Q_{d,r\ddot{a}c} + Q_{s,r\ddot{a}c} + Q_{g,r\ddot{a}c} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 69}$$

- $Q_{em,r\ddot{a}c}$ - pierderi ale sistemului de transmisie a răcirii
 $Q_{d,r\ddot{a}c}$ - pierderi ale sistemului de distribuție a răcirii
 $Q_{s,r\ddot{a}c}$ - pierderi ale rezervorului tampon de acumulare răcire
 $Q_{g,r\ddot{a}c}$ - pierderi ale sursei de răcire
- [kWh/an]

Pierderile sistemului de transmisie ($Q_{em,r\ddot{a}c}$) sunt determinate similar cu cele ale încălzirii.

$$Q_{em,r\ddot{a}c} = Q_{em,str,r\ddot{a}c} + Q_{em,emb,r\ddot{a}c} + Q_{em,c,r\ddot{a}c} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 70}$$

- $Q_{em,str,r\ddot{a}c}$ - pierderi distribuție neuniformă a temperaturii de răcire
 $Q_{em,emb,r\ddot{a}c}$ - pierderi poziție corpuri răcire
 $Q_{em,c,r\ddot{a}c}$ - pierderi dispozitive reglare temperatură interioară de răcire
- [kWh/an]

$$Q_{em,str,r\ddot{a}c} = \frac{1 - \eta_{em}}{\eta_{em}} \cdot Q_c \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 71}$$

- Q_c - necesarul de energie pentru răcirea clădirii
- [kWh/an]

Valoarea eficienței sistemului de transmisie ($\eta_{em} = 0,93$) este identică cu cea de la încălzire. Pierderile prin radiație ale corpurilor de răcire ($Q_{em,emb,r\ddot{a}c} = 0$) sunt identice cu cele de la încălzire.

$$Q_{em,c,r\ddot{a}c} = \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \cdot Q_c \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 72}$$

Eficiența sistemului de reglare ($\eta_c = 0,95$) este identică cu cea de la încălzire.

Tabelul 4.46 - Valori parametrii de calcul pierderi sistem de transmisie a răcirii

$Q_{em,str,r\ddot{a}c}$	$Q_{em,emb,r\ddot{a}c}$	$Q_{em,c,r\ddot{a}c}$	$Q_{em,r\ddot{a}c}$
[kWh/an]			
2865	0	2003	4868

Pierderile sistemului de distribuție ($Q_{d,r\ddot{a}c}$) iau în calcul toate conductele de la sursă până la corpurile de răcire interioare. Gruparea acestora s-a făcut în funcție de diametrul și tipul conductelor respectiv poziția în care se află.

$$Q_{d,r\ddot{a}c} = \sum_{i=1}^{38} \frac{U'_{R,r\ddot{a}c,i} \cdot L_{r\ddot{a}c,i} \cdot (\theta_{a,i} - \theta_{m,i}) \cdot t_R}{1000} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 73}$$

- $U'_{R,r\ddot{a}c,i}$ - coeficient specific de pierderi de căldură pe unitatea de lungime a conductei de răcire [W/mK]
 $L_{r\ddot{a}c,i}$ - lungimea conductei de răcire [m]
 $\theta_{m,i}$ - temperatura medie agent termic de răcire în conductă [°C]
 $\theta_{a,i}$ - temperatura mediului ambiant în zona conductei de răcire [°C]
 t_R - numărul de ore de răcire în pasul de timp (an) [ore]

Performanța specifică ($U_{R,r\grave{a}c}$) și coeficienții de transfer de căldură a conductelor de răcire ($d_{a,i}$) fără aportul termoizolației sunt identice cu cele ale încălzirii. Conductele de răcire sunt identice cu cele de încălzire cu excepția faptului că circuitele de tur și retur al radiatoarelor etajului 3 nu sunt utilizate pentru răcire.

Calculul pierderilor de căldură ale fiecărei conducte ($Q_{d,r\grave{a}c}$) în parte este completat de lungimea efectivă a traseelor, de temperaturile care definesc transferul termic și de durata de funcționare efectivă. Temperatura terenului natural ($\theta_{a,tn}$) s-a stabilit la 10°C și a centralei termice ($\theta_{a,ct}$) la 28°C. Temperatura agentului termic a conductelor de răcire în centrala termică și teren natural ($\theta_{m,d}$) s-a stabilit la 10°C pentru tur și la 15°C pentru retur.

Tabelul 4.47 - Valori parametrii de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție

Conductă	Poziție	$U_{R,r\grave{a}c,i}$ [W/mK]	$L_{r\grave{a}c,i}$ [m]	$\theta_{m,i}$ [°C]	$\theta_{a,i}$ [°C]	t_R [ore]	$Q_{d,r\grave{a}c,i}$ [kWh/an]		
1	Interior clădire	0,183	1394	10	25	1280	4907		
2		0,215	12				16		
3		0,247	117				185		
4		0,288	30				166		
5		0,251	32				154		
6		0,293	57				321		
7		0,347	109				727		
8		0,397	67				511		
9		0,183	1394	15			3271		
10		0,215	12				33		
11		0,247	117				371		
12		0,288	30				110		
13		0,251	32				103		
14		0,293	57				214		
15		0,347	109				485		
16		0,397	67				340		
17	Pod	0,247	8	10	28		46		
18				15			33		
19	Teren natural	0,123	10	10	10		0		
20				15			-8		
21		0,215	40	10			0		
22				15			-55		
23				0,224			6	10	31
24								15	22
25	0,416	20	10	192					
26			15	139					
27			0,477	20	10	220			
28					15	159			
29			0,477	12	10	132			
30					15	95			
$\Sigma Q_{d,r\grave{a}c}$ [kWh/an]							12923		

Pierderile recuperate ale instalației de răcire sunt cele care se află în interiorul clădirii $Q_{rch} = 11915$ kWh/an, care reprezintă 92% din totalul pierderilor sistemului de distribuție.

Pierderile la nivelul rezervorului tampon de acumulare ($Q_{s,r\grave{a}c}$) sunt determinate de mărimea suprafeței anvelopei, caracteristicile termotehnice ale acesteia, durata de utilizare și diferențele de temperatură care definesc transferul termic.

$$Q_{s,r\acute{a}c} = \frac{0,001 \cdot S_{Lat}}{0,10 + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}}} \cdot n_c \cdot (\theta_{amb,r} - \theta_{stoc,r\acute{a}c}) [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 74}$$

n_c - număr de ore de livrare agent termic de răcire [ore]
 $\theta_{stoc,r\acute{a}c}$ - temperatură medie agent termic de răcire în rezervor [°C]

Rezervorul utilizat pentru răcire este același cu cel de la instalația de încălzire. Temperatura medie a agentului termic de răcire în rezervor este de 10°C.

Tabelul 4.48 - Valori parametrii de calcul pierderi prin mantaua rezervorului

S_{Lat} [m ²]	δ_m [m]	λ_m [W/mK]	δ_{iz} [m]	λ_{iz} [W/mK]	n_c [ore]	$\theta_{stoc,r\acute{a}c}$ [°C]	$\theta_{amb,r}$ [°C]	$Q_{s,r\acute{a}c}$ [kWh/an]
5,45	0,003	45	0,09	0,039	1280	10	28	52

Necesarul de energie termică al instalației de răcire este asigurat de sursă prin pompele de căldură care au un $COP_{r,2C} = 5,40$ pentru această funcțiune, conform fișei tehnice a producătorului [109]. Astfel, pentru fiecare kWh de energie electrică consumată echipamentul produce 5,40 kWh de energie termică respectiv pierderile de căldură a sursei este $Q_{g,r\acute{a}c} = 0$. Alegerea COP-ului aferent funcționării ambelor compresoare interne ale pompelor de căldură s-a făcut în corelare cu puterile necesare pentru răcire.

Tabelul 4.49 - Valori pierderi de căldură sistem de răcire

$Q_{em,r\acute{a}c}$	$Q_{d,r\acute{a}c}$	$Q_{s,r\acute{a}c}$	$Q_{g,r\acute{a}c}$	Q_{tc}	Q_{tc}
[kWh/an]					[kWh/m ² an]
4868	12923	52	0	17843	5,10

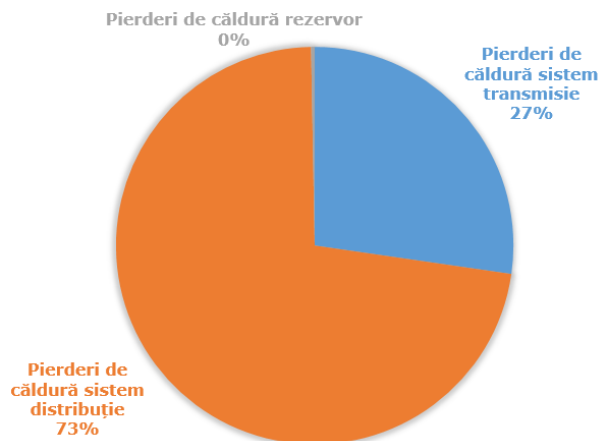


Figura 4.11 - Pierderile totale de căldură ale sistemului de răcire

Pierderile sistemului de distribuție reprezintă fracțiunea predominantă a pierderilor totale datorită traseelor lungi a conductelor de răcire. Proporția lungimilor de conducte aflate în afara anvelopei încălzite este redusă, astfel 92% din pierderile acestora sunt recuperate.

Consumul auxiliar de energie electrică a pompelor de circulație ($W_{r\acute{a}c,p}$) este determinat în mod similar cu cel de la încălzire, utilizându-se aceleași pompe al centralei termice.

$$W_{r\acute{a}c,p} = \sum_{i=1}^{10} f_{r\acute{a}c,pompa,i} \cdot P_{r\acute{a}c,pompa,i} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 75}$$

$f_{r\acute{a}c,pompa,i}$ - constanta pompei de circulației instalației de răcire [ore]
 $P_{r\acute{a}c,pompa,i}$ - puterea pompei de circulație instalației de răcire [W]

Tabelul 4.50 - Valori parametrii de calcul consum de energie electrică pompe de circulație răcire

Pompă	Poziție în sistem	$f_{r\acute{a}c,pompa}$ [ore]	$P_{r\acute{a}c,pompa}$ [W]	$W_{r\acute{a}c,p,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{r\acute{a}c,p}$ [kWh/an]
1	circuit VCV1	220	520	343	7,2	4784
2	circuit VCV2					
3	circuit VCV3					
4	circuit VCV4	1280	520	665	13,9	
5	PC-DF1	1280	440	1126	23,5	
6	PC-DF2					
7.1	PC-REZ.1	1280	210	269	5,6	
7.2	PC-REZ.2	640	420	269	5,6	
8	FE1	1280	1100	2112	44,2	
9	FE2	640				

Consumurile pompelor submersibile reprezintă consumul cel mai ridicat din categoria pompelor de circulație datorită puterii consumate specifice a acestora.

Consumul auxiliar ($W_{r\acute{a}c,vcv}$) al motoarelor ventiloconvectoarelor (VCV) sistemului de distribuție a răcirii este determinat în mod similar cu cel al pompelor de circulație, pentru cele 95 de unități interioare.

$$W_{r\acute{a}c,vcv} = \sum_{i=1}^{95} f_{r\acute{a}c,vcv,i} \cdot P_{r\acute{a}c,vcv,i} [kWh/an] \quad [21] \quad \text{Ec. 76}$$

$f_{r\acute{a}c,vcv,i}$ - constanta motorului VCV-ului pentru răcire [ore]
 $P_{r\acute{a}c,vcv,i}$ - puterea motorului VCV-ului pentru răcire [W]

Unitățile interioare utilizate pentru răcire sunt aceleași ca și pentru încălzire, diferențele de date fiind doar la categoria de timp de utilizare aferent perioadei de răcire.

Tabelul 4.51 - Valori parametrii de calcul consum de energie electrică ventilconvectoare răcire

Nivel	Model	Nr. [buc]	$f_{r\acute{a}c,vcv}$ [ore]	$P_{r\acute{a}c,vcv}$ [W]	$W_{r\acute{a}c,vcv,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{r\acute{a}c,vcv}$ [kWh/an]
Etaj 3	GF12	23	1280	50	1652	72,5	2279
	GF42	3		47			
Etaj 2	GF12	6	200	50	239	10,5	
	GF42	19		47			
Etaj 1	GF12	10		50	260	11,4	
	GF42	17		47			
Sală mese	GF84	4	88	99	35	1,5	
Biblioteca	GF12	2	200	50	67	3,0	
	GF42	5		47			
Bucătărie	GF12	4	88	50	26	1,1	
	GF42	2		47			

Consumurile de la nivelul etajului 3 reprezintă consumul cel mai ridicat din categoria motoarelor VCV datorită numărului de ore de funcționare a acestora.

Tabelul 4.52 - Valori consum de energie termică pentru răcire

Q_c	Q_{rch}	Q_{tc}	$Q_{r\acute{a}c}$	$Q_{r\acute{a}c}$ [kWh/m ² an]
[kWh/an]				
38065	11915	17843	43993	12,58

Tabelul 4.53 - Valori consumuri termice și electrice sursă instalație răcire

$Q_{r\acute{a}c}$ [kWh/an]	$COP_{r,2C}$ [kWh/kWh]	$Q_{r\acute{a}c,surs\acute{a}}$ [kWh/an]	$Q_{r\acute{a}c,surs\acute{a}}$ [kWh/m ² an]
43993	5,40	8147	2,33

Pentru determinarea consumului de energie electrică totală ($Q_{f,c}$) a instalației de răcire, se însumează consumul sursei cu cele determinate consumurile auxiliare.

Tabelul 4.54 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației răcire

$Q_{r\acute{a}c,surs\acute{a}}$	$W_{r\acute{a}c,p}$	$W_{r\acute{a}c,vcv}$	$Q_{f,c}$	$Q_{f,c}$ [kWh/m ² an]
[kWh/an]				
8147	4784	2279	15210	4,35

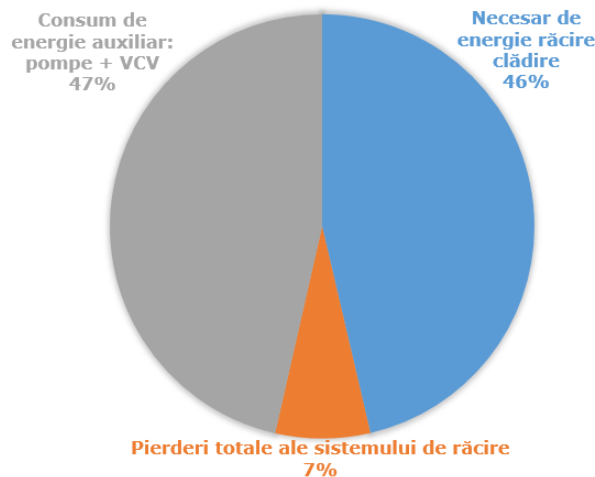


Figura 4.12 - Consumuri totale răcire

Consumurile pompelor de circulație și a VCV-urilor reprezintă o fracțiune semnificativă de 47% datorită numărului ridicat al acestora dar și datorită necesarului de energie specific redus pentru răcirea clădirii (2,33 kWh/m²an). Pierderile sistemului de încălzire reprezintă o fracțiune redusă (7%) datorită faptului că cea mai mare parte din traseele de distribuție ale conductelor se află în interiorul clădirii și pierderile acestora sunt recuperate.

Necesarul de energie pentru răcire este redus în principal din cauza sistemului de termoizolare eficient, a surselor de răcire cu COP ridicat dar și din cauza ocupării discontinue caracterizată de un interval de ocupare scurt în perioada de răcire.

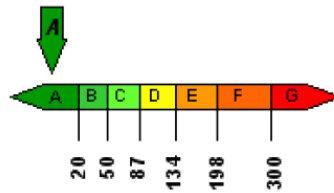


Figura 4.13 - Încadrarea consumului de răcire în clasă energetică

Consumul specific total de energie electrică al instalației de răcire a clădirii de 4,35 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A.

Consumul de energie primară al sistemului de răcire, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$ [21]), este de 11,40 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică B conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,r\acute{a}c,B^*} = 9...13$ kWh/m²an) [69].

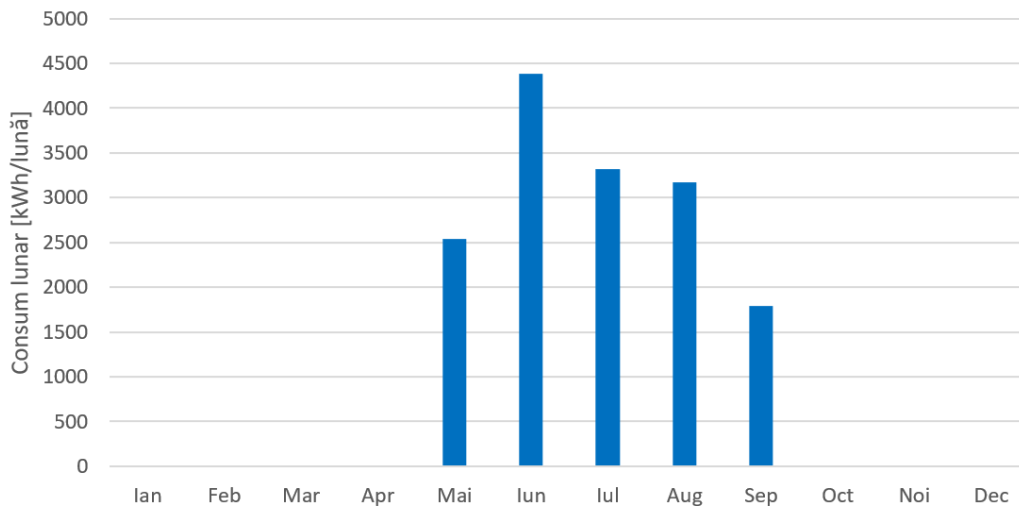


Figura 4.14 - Distribuție lunară consumuri energie răcire

4.4 Consum de energie ventilare mecanică

Consumul total de energie termică a instalațiilor de ventilare mecanică ($Q_{v,t}$) este definit de consumurile și pierderile termice ale subsistemelor sale. Instalațiile sunt alcătuite din sursa de preparare a agentului termic prin pompele de căldură, baterii de încălzire și răcire, CTA-uri, ventilatoare de circulație a aerului și sistem de distribuție prin conducte de ventilare.

Ventilatoarele de circulație reprezintă singurele componente ale sistemului care nu se raportează la performanța sursei de agent termic și astfel cantitatea total necesară de energie electrică a instalației ($Q_{f,v}$) se obține însumând consumurile electrice a sursei ($Q_{v,inc,sursă}$ și $Q_{v,răc,sursă}$) cu cele ale ventilatoarelor de circulație ($W_{el,v}$). Conversia energiei termice ($Q_{v,t}$) la energie electrică la nivel de sursă se face prin intermediul COP-ului echipamentului, separat pentru încălzire (COP_i) și răcire (COP_r).

$$Q_{v,t} = Q_{v,preinc} + Q_{v,d} + Q_{v,prerăc} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 77}$$

$Q_{v,preinc}$	- necesar energie termică încălzire aer	
$Q_{v,d}$	- pierderi de căldură distribuție conducte pod	[kWh/an]
$Q_{v,prerăc}$	- necesar energie termică răcire aer	

Clădirea este divizată în zone în funcție de destinație astfel încât fiecare zonă este dotată cu o instalație de ventilare mecanică independentă. Debitul de calcul țin cont de un aport de aer proaspăt raportat la numărul de ocupanți dar și de un aport suplimentar raportat la suprafața încăperilor în cazul zonelor cu cerințe ridicate de confort precum unitatea de cazare de la etajul 3 și biblioteca.

$$q_v = N_v \cdot q_p + A_u \cdot q_B \text{ [m}^3\text{/h]} \quad [137] \quad \text{Ec. 78}$$

N_v	- număr persoane în spații ventilate	[-]
q_p	- debit de aer proaspăt pentru o persoană	[m ³ /pers/oră]
A_u	- arie utilă pardoseală	[m ²]
q_B	- debit de aer proaspăt pentru 1 m ² de suprafață	[m ³ /m ² oră]

Debitul necesare etajelor 1, 2 și 3 s-au stabilit aferent unui grad de ocupare în regim normal de funcționare astfel încât să se obțină aproximativ un schimb de aer pe oră (0,95 – 1,12 h⁻¹). În cazul sălii de mese, care este utilizată o perioadă scurtă din program (2 ore) cu un număr mare de utilizatori (192 persoane) s-a obținut unui număr ridicat de schimburi de aer per oră (3,30 h⁻¹) datorită volumului scăzut al aerului interior și necesarului ridicat de aer proaspăt în raport cu numărul de utilizatori. Bucătăria este o zonă care are o densitate scăzută de ocupare din cauza spațiilor mari necesare proceselor tehnologice de preparare a mâncării și numărului redus de personal. Astfel, debitul de calcul este raportat la un număr prestabilit de schimburi de aer pe oră (35 h⁻¹) care este necesar pentru evacuarea degajărilor interne locale ridicate de către echipamentele tehnologice, într-un interval de timp scurt (2 ore).

Tabelul 4.55 - Parametrii de dimensionare instalații de ventilare

Zonă	CTA [m ³ /h]	N _v	Arie utilă [m ²]	q _p [m ³ /pers/oră]	q _B [m ³ /m ² oră]	Schimburi aer [h ⁻¹]
Etaj 3	4000	62	883,4	25	1,26	1,12
Etaj 2		210	896,8	18		-
Etaj 1		165	892,8		0,95	
Sală mese		192	298,5		3,30	
Biblioteca	1000	6	203,0	25	1,26	0,57
Bucătărie	10000	-	272,0	-	-	35

Debitele totale de calcul (q_v) pentru fiecare zonă sunt rezultatul necesarului efectiv de aer proaspăt al ocupanților sau a proceselor tehnologice, care se încadrează în capacitățile maxime ale CTA-urilor [121] (4000/1000/10000 m³/h). Coeficienții de utilizare ale CTA-urilor se determină prin împărțirea debitelor de calcul la capacitățile maxime ale acestora. Pentru perioadele în care zonele nu sunt utilizate s-a definit un program distinct de funcționare ale instalației de ventilare la o capacitate de 5%. Toate CTA-urile, cu excepția recuperatorului bucătăriei, sunt dotate cu baterie termică pentru preîncălzirea sau prerăcirea aerului. Fiecare CTA este dotat cu câte două ventilatoare de circulație a aerului, care sunt amplasate pe circuitele de refulare și aspirație.

Tabelul 4.56 - Parametrii de calcul instalații de ventilare

Zonă	Debit total de calcul [m ³ /oră]	Coeficient utilizare orele 8-16	Coeficient utilizare orele 16-8	Baterie termică	Putere totală ventilatoare [W]
Etaj 3	2663	0,05	0,67	Da	2600
Etaj 2	3780	0,95	0,05		
Etaj 1	2970	0,74			
Sală mese	3456	0,86			
Biblioteca	406	0,41			850
Bucătărie	9520	0,95	0	Nu	4500

Temperaturile interioare de calcul pentru perioada de încălzire s-au determinat pentru fiecare nivel prin calcularea temperaturii interioare convenționale medii în funcție de destinația încăperilor.

Tabelul 4.57 - Temperaturi interioare de calcul perioadă încălzire

Etaj 3	Etaj 2	Etaj 1	Sală mese	Biblioteca
19,07	17,83	18,11	18,00	17,99

Temperaturile exterioare de calcul pentru perioada de încălzire (θ_{em}) sunt considerate temperaturile medii lunare conform datelor climatice din metodologia de calcul [127].

Tabelul 4.58 - Temperaturi exterioare medii de calcul perioadă încălzire

Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20

Temperaturile interioare de calcul (de confort) pentru perioada de răcire s-au stabilit la valoarea de 25°C. Temperaturile exterioare de calcul pentru perioada de răcire (θ_{em}) sunt considerate temperaturile medii aferente zilei de calcul de vară pentru intervalul orar 8-16, conform datelor climatice din metodologia de calcul [127].

Tabelul 4.59 - Temperaturi exterioare medii de calcul perioadă răcire

Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
28,70	31,31	33,96	33,03	30,43

Căldura recuperată prin ventilare la nivelul CTA-urilor s-a considerat prin reducerea debitelor de calcul pentru perioada de încălzire cu randamentul global al recuperatoarelor de căldură [121]. Randamentul de recuperare a CTA-urilor este de 0,68 pentru perioada de încălzire ($\eta_{V,i}$) și 0,49 pentru perioada de răcire ($\eta_{V,r}$).

$$\dot{V} = \dot{V}_f \cdot (1 - \eta_{V,i}) \text{ [m}^3/\text{h]} \quad \text{Ec. 79}$$

- \dot{V} - debit de aer de calcul pierderi termice, cu recuperare căldură [m³/h]
 \dot{V}_f - debit de aer de calcul nominal [m³/h]
 $\eta_{V,i}$ - randament de recuperare căldură CTA sezon încălzire [-]

Tabelul 4.60 - Debite de calcul instalații de ventilare

Perioadă	Etaj 3	Etaj 2	Etaj 1	Sală mese	Biblioteca
	[m ³ /oră]				
Încălzire	1048	1488	1169	1360	160
Răcire	2663	3780	2970	3456	406

Temperaturile recuperate ($\theta_{rec,i}$ și $\theta_{rec,r}$) la nivelul CTA-urilor sunt determinate de diferențele de temperatură între aerul exterior (θ_{em}) și aerul extras din încăperi ($\theta_{extr,int}$) dar și de randamentele de recuperare.

$$\theta_{rec,i} = (\theta_{extr,int} - \theta_{em}) \cdot \eta_{V,i} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Ec. 80}$$

$$\theta_{rec,r} = (\theta_{em} - \theta_{extr,int}) \cdot \eta_{V,r} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Ec. 81}$$

- θ_{em} - temperatura exterioară medie lunară [°C]
 $\theta_{extr,int}$ - temperatura aerului extras din încăperi la intrarea în CTA [°C]

Puterile termice necesare pentru încălzirea (P_{preinc}) și răcirea (P_{prerac}) aerului introdus în spațiile interioare este obținut prin înmulțirea debitelor de calcul (q) cu diferențele dintre temperatură aerului introdus dorit ($\theta_2 =$ temperatura medie interioară pentru încălzire și $\theta_2 = 25^\circ\text{C}$ care este temperatura de confort în perioada verii pentru răcire) și temperatura după ieșirea aerului din recuperatorul de căldură (θ_1). În cazul răcirii, sunt luate în calcul și diferențele de umiditate ale aerului. Umiditatea aerului exterior (x_1) este considerat 35% (Mai, Septembrie) și 30% (Iunie, Iulie, August). Umiditatea aerului interior (x_2) este considerat 60%. În afara programului de funcționare normală a clădirii, nu se utilizează bateria termică pentru încălzirea sau răcirea aerului proaspăt introdus.

$$P_{preinc} = q_{preinc} \cdot (\theta_2 - \theta_1) \text{ [kW]} \quad \text{Ec. 82}$$

- q_{preinc} - debit masic de aer trecut prin baterie [kg/s]
 θ_1 - temperatura aerului la intrarea în baterie [°C]
 θ_2 - temperatura aerului la ieșirea din baterie [°C]

$$P_{prerac} = q_{prerac} \cdot [0,83 \cdot (x_2 - x_1) + 0,34 \cdot (\theta_2 - \theta_1)] \text{ [kW]} \quad \text{Ec. 83}$$

$Q_{\text{prerăc}}$	- debit volumic de aer trecut prin baterie	[m ³ /s]
X_1	- umiditatea aerului la intrarea în baterie	[%]
X_2	- umiditatea aerului la ieșirea din baterie	[%]

Astfel, pentru fiecare sistem independent de ventilare mecanică sunt determinate necesarele de energie termică pentru încălzire ($Q_{v,\text{preinc}}$) și răcire ($Q_{v,\text{prerăc}}$) pentru un an. Valorile lunare de calcul a parametrilor necesarului de energie pentru încălzirea și răcirea aerului prin instalația de ventilare mecanică sunt prezentate în Tabelul D5.1 și D5.2 din Anexa 5.

Tabelul 4.61 - Consumuri energie termică baterii de preîncălzire și prerăcire

Tip	Etaj 3	Etaj 2	Etaj 1	Sală mese	Biblioteca	$Q_{v,\text{preinc/răc}}$
	[kWh/an]					
Încălzire	11082	6431	5167	1490	699	24869
Răcire	6243	975	766	392	34	8410

Pierderile de căldură ale sistemului de distribuție ($Q_{v,d}$) sunt determinate similar procedurilor de calcul din capitolele de încălzire și ACM. Pentru această categorie de pierderi în perioada de încălzire s-a luat în considerare tubulatura de ventilare al etajului 3 amplasată în podul neîncălzit. Restul tubulaturilor se află în interiorul volumului încălzit, a cărei temperatură interioară este egală cu temperatura aerului vehiculat prin sistemul de distribuție a instalației de ventilare. Coloanele principale de distribuție în pod (diametru de 500, 350, 150 mm) sunt termoizolate cu spumă elastomerică pe bază de cauciuc sintetic [116] de 19 mm și vată minerală bazaltică lamelară [124] de 50 mm grosime caserată cu folie de aluminiu. Conductivitatea termică echivalentă a termoizolației (0,038 W/mK) s-a determinat prin considerarea conductivității termice a componentelor $\lambda_{\text{spumă}} = 0,036$ W/mK și $\lambda_{\text{vată}} = 0,039$ W/mK. Racordarea coloanelor principale de grilele de refulare și aspirație se face prin intermediul tubulaturii flexibile care sunt termoizolate cu 30 mm de vată minerală de sticlă [92] având $\lambda_{\text{vată, stic}} = 0,040$ W/mK. Coeficienții specifici de pierderi de căldură a conductelor de ventilare ($Q_{v,d,i}$) sunt prezentați în Tabelul D5.3 din Anexa 5.

Temperatura aerului proaspăt introdus ($\theta_{v,d,i}$) este impus la 19°C, astfel încât să nu disturbe bilanțul termic al încăperilor și confortul utilizatorilor. Temperatura medie a podului ($\theta_{\text{amb},i}$) pentru perioada de încălzire (189 zile) s-a determinat din temperaturile lunare medii ale acestuia și este de 5,04°C. Numărul de zile de utilizare (146) a instalației de ventilare a etajului 3 pentru perioada de încălzire s-a obținut prin scăderea zilelor de vacanță școlară și alte ocazii în care elevii cazați nu utilizează clădirea. În timpul prezenței elevilor cazați la cursuri, se consideră utilizarea instalației de ventilare a etajului 3 la un debit de 5% din capacitatea maximă a CTA-ului. Astfel, numărul de ore zilnică de utilizare la debit de calcul a instalației de ventilare este de 16 ore.

Tabelul 4.62 - Valori parametrii de calcul pierderi de căldură pe conductele de distribuție ventilare

Conductă	Poziție	$U_{R,v,i}$ [W/mK]	$L_{v,i}$ [m]	$\theta_{v,d,i}$ [v]	$\theta_{\text{amb},i}$ [°C]	t_{ac} [zile]	z [ore]	$Q_{v,d,i}$ [kWh/an]
1	Pod	0,866	80	19	5,04	146	16	2261
2		0,638	150					3123
3		0,330	65					700
4		0,495	120					1939
$\Sigma Q_{v,d}$ [kWh/an]								8023

Tabelul 4.63 - Valori consumuri termice încălzire și răcire prin ventilare

$Q_{v,preinc}$	$Q_{v,d}$	$Q_{v,prerac}$	$Q_{v,t}$	$Q_{v,t}$
				[kWh/m ² an]
24869	8023	8410	41302	11,81

Consumul de energie termică a instalației de ventilare mecanică ($Q_{v,t}$) este asigurat de sursă prin pompele de căldură care au un $COP_{i,2C} = 3,20$ pentru încălzire și $COP_{r,2C} = 5,40$ pentru răcire, conform fișei tehnice a producătorului [109]. Astfel, pentru fiecare kWh de energie electrică consumată echipamentul produce 3,20 kWh respectiv 5,40 kWh de energie termică. Alegerea COP-urilor aferente funcționării ambelor compresoare interne ale pompelor de căldură s-a făcut datorită utilizării bateriilor de preîncălzire și prerăcire a instalației de ventilare în paralel cu încălzirea și răcirea clădirii cu instalațiile dedicate.

Tabelul 4.64 - Valori consumuri termice și electrice sursă încălzire prin ventilare

$Q_{v,preinc}$ [kWh/an]	$Q_{v,d}$ [kWh/an]	$Q_{v,inc}$ [kWh/an]	$COP_{i,2C}$ [kWh/kWh]	$Q_{v,inc,sursă}$ [kWh/an]	$Q_{v,inc,sursă}$ [kWh/m ² an]
24869	8023	32892	3,20	10279	2,94

Tabelul 4.65 - Valori consumuri termice și electrice sursă răcire prin ventilare

$Q_{v,rac}$ [kWh/an]	$COP_{r,2C}$ [kWh/kWh]	$Q_{v,rac,sursă}$ [kWh/an]	$Q_{v,rac,sursă}$ [kWh/m ² an]
8410	5,40	1557	0,45

Consumul de energie electrică a ventilatoarelor de circulație ($W_{el,v}$) pentru fiecare CTA în parte, este determinat de cele două ventilatoare amplasate pe circuitele de refulare și aspirație. Timpii de funcționare sunt definite de scenariul de utilizare prezentat în detaliu în Tabelul D5.1 și D5.2 din Anexa 5, iar puterile consumate sunt corespunzătoare coeficienților de utilizare prezentate Tabelul 4.55, aferent activității din timpul și în afara programului.

$$W_{el,v} = f_{v,1} \cdot P_{v,1} + f_{v,2} \cdot P_{v,2} \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 84}$$

- $f_{v,1}$ - timpul de funcționare a ventilatoarelor în timpul programului [ore]
 $P_{v,1}$ - puterea consumată a ventilatoarelor în timpul programului [W]
 $f_{v,2}$ - timpul de funcționare a ventilatoarelor în afara programului [ore]
 $P_{v,2}$ - puterea consumată a ventilatoarelor în afara programului [W]

Tabelul 4.66 - Consumuri energie electrică ventilatoare CTA-uri

Zonă	$P_{v,1}$ [W]	$f_{v,1}$ [ore]	$P_{v,2}$ [W]	$f_{v,2}$ [ore]	$W_{el,v,i}$ [kWh/an]	Fracțiune [%]	$W_{el,v}$ total [kWh/an]
Etaj 3	1731	4000	130	4784	7546	38	19891
Etaj 2	2457	1400		7384	4400	22	
Etaj 1	1930				3662	19	
Sală mese	2246	410	-	8374	2010	10	
Biblioteca	345	1400	42,5	7384	797	4	
Bucătărie	3600	410	-	-	1476	7	

Consumurile de energie electrică predominante a ventilatoarelor sunt date de instalația etajului 3 unde gradul de ocupare este cel mai ridicat atât în ceea ce privește numărul de ore zilnice cât și numărul de zile într-un an. Diferențele dintre etajele 1 și 2, care au aceleași funcțiuni și suprafețe, sunt datorate numărului diferit de utilizatori (9 săli de clasă la etaj 2 și 6 săli de clasă la etaj 1). Deși numărul de ore de utilizare (410 ore) a ventilatoarelor și suprafața sălii de mese sunt reduse,

fracțiunea consumului acestuia este ridicată (10%) din cauza numărului ridicat (192) de persoane care utilizează încăperea. În ceea ce privește bucătăria, puterile nominale ale ventilatoarelor sunt cele mai mari (3600W) dar sunt utilizate un interval redus de 2 ore / schimb de lucru (total 410 ore) și astfel consumurile acestora reprezintă o fracțiune limitată (7%) din total. Instalația de ventilare a bucătăriei nu este programată să funcționeze în afara programului de lucru.

Pentru determinarea consumului de energie electrică totală ($Q_{f,v}$) a instalației de ventilare, se însumează consumul sursei pentru încălzire și răcire, cu cele determinate pentru funcționarea ventilatoarelor CTA-urilor.

Tabelul 4.67 - Valori consumuri totale și specifice ale instalației de ventilare

$Q_{v,inc,sursă}$ [kWh/an]	$Q_{v,răc,sursă}$ [kWh/an]	$W_{el,v}$ [kWh/an]	$Q_{f,v}$ [kWh/an]	$Q_{f,v}$ [kWh/m ² an]
10279	1557	19891	31727	9,07

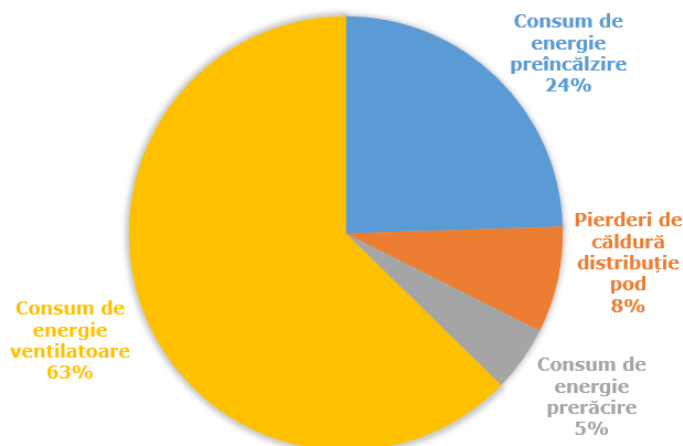


Figura 4.15 - Consumuri totale ventilare mecanică

Consumul total de energie electrică a instalației de ventilare mecanică este dominat de consumul ventilatoarelor de circulație datorită funcționării continue a acestora pe întreg parcursul anului. Asigurarea confortului interior al utilizatorilor pe durata programului normal de funcționare (21% timp dintr-un an) implică debit și consum electric specific ridicat (88% din consum total) iar în afara programului (79% timp dintr-un an) implică debit și consum electric specific scăzut (12% din consum total). Diferența de 19% dintre consumurile de energie pentru încălzire și răcire se explică prin faptul că perioada aferentă răcirii este mai scurtă și gradul de ocupare este scăzut din cauza vacanței școlare. Deși tubulatura de distribuție a etajului 3 este termoizolat corespunzător, proporția ridicată a pierderilor (8%) se datorează amplasării într-un spațiu neîncălzit, traseelor lungi și duratei ridicate de utilizare în perioada de încălzire (146 zile, 16 ore/zi).

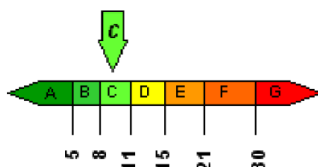


Figura 4.16 - Încadrarea consumului de ventilare mecanică în clasă energetică

Consumul specific total de energie electrică a ventilației mecanice a clădirii de 9,07 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică C. Încadrarea într-o clasă energetică inferioară a instalației de ventilare nu reprezintă un deficit atâta timp cât consumurile de energie totale ale clădirii nu depășesc valorile maxime admise pentru încadrarea în clasa energetică A ($q_{an,max} \leq 150$ kWh [57]).

Consumul de energie primară a sistemului de ventilare mecanică, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$ [21]), este de 23,76 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică C conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,v,C^*} = 20...29$ kWh/m²an) [69].

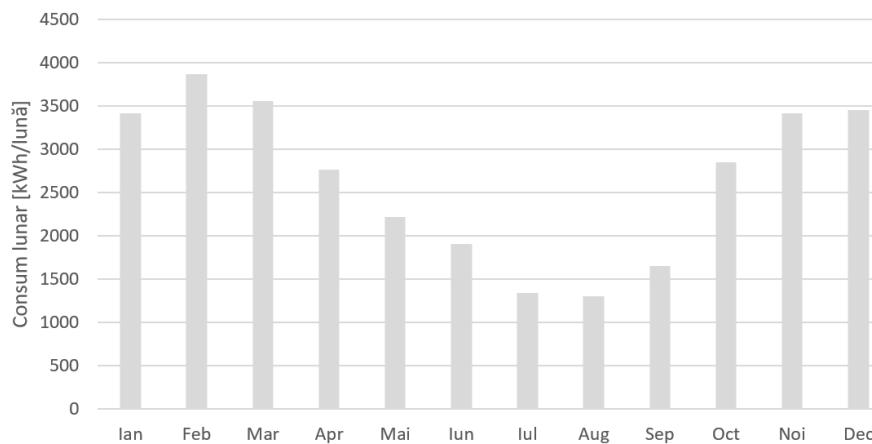


Figura 4.17 - Distribuție lunară consumuri energie ventilare mecanică

4.5 Consum de energie iluminat

Evaluarea consumului total de energie absorbită din rețeaua electrică ($Q_{f,l}$) s-a realizat cu metoda complexă din metodologia de calcul, luând în considerare puterea nominală și parazitară a corpurilor de iluminat respectiv zilele de utilizare anuale în baza scenariului de funcționare. Toate corpurile de iluminat de interior utilizate sunt echipate cu LED-uri sunt grupate în două categorii: iluminat general și de siguranță. Corpurile de siguranță în caz de situații de urgență sunt dotate cu baterii de acumulatori care asigură funcționarea autonomă în caz de întreruperea alimentării cu energie electrică. Acestea sunt cele de evacuare, marcarea poziție hidranți, pentru intervenție în caz de incendiu și împotriva panicii.

$$Q_{f,l} = \frac{\sum_{i=1}^4 (P_{p,i} \cdot t_{p,i}) + \sum_{i=1}^4 P_{n,i} [(t_{D,i} \cdot F_{D,i} \cdot F_{O,i}) + (t_{N,i} \cdot F_{O,i})]}{1000} \text{ kWh/an [21]} \quad \text{Ec. 85}$$

$P_{p,i}$	- puterea parazitară a corpurilor de iluminat	[W]
$t_{p,i}$	- timpul operațional al puterii parazitare	[h]
$P_{n,i}$	- puterea instalată a sistemului de iluminat	[W]
$t_{D,i}$	- timpul de utilizare al luminii de zi	[h]
$t_{N,i}$	- timpul în care nu este utilizată lumina naturală	[h]
$F_{O,i}$	- factor de dependență de durata de utilizare	[-]
$F_{D,i}$	- factor de dependență de lumina de zi	[-]

Sistemele de iluminat sunt alimentate de către tablourile de distribuție amplasate la fiecare nivel și sunt definite în patru categorii pe baza funcțiilor clădirii. Puterile instalate reprezintă suma puterilor nominale a fiecărui corp de iluminat pentru funcționarea la parametrii normali a acestora. Nu s-au prevăzut dotări tehnice ale acestora cu control automat prin senzori de prezență sau prin care să se poată varia fluxul luminos emis de sursele de lumină. Puterea parazită s-a considerat 5% din puterea instalată totală a corpurilor de siguranță.

Orele de utilizare zilnice a iluminatului s-au stabilit în corelare cu programul specific real al clădirii. Timpii t_D și t_N sunt considerați proporționali cu valorile orelor de funcționare anuale specificate în Tabelul 1 al Anexei II.4.B1 din metodologia de calcul [21]. Valorile factorilor de dependență F_D și F_O sunt alese pentru varianta controlului manual al sistemului de iluminat din Tabelul 2 și 3 al aceluiași act normativ.

Tabelul 4.68 - Valori parametrii de calcul iluminat

Categorie	P_n [W]	P_p [W]	Utilizare [zile/an]	Utilizare [ore/zi]	Utilizare	t_D	t_N	F_D	F_O
					[ore/an]				
Siguranță	122	6	365	24	8760	4380	4380	1	1
Învățământ	14301	0	185	2	370	333	37	1	1
Cantină	2787	0	205	4	820	410	410	1	1
Cazare	2815	0	250	8	2000	1200	800	1	0,7

Tabelul 4.69 - Consumuri totale și specifice iluminat

Categorie	Consum [kWh/an]	Fracțiune [%]	$Q_{f,i}$ [kWh/an]	$Q_{f,i}$ [kWh/m ² an]
Parazitar total	53	0,4	12639	3,61
Iluminat siguranță	1069	8,5		
Iluminat general învățământ	5291	41,8		
Iluminat general cantină	2285	18,1		
Iluminat general cazare	3941	31,2		

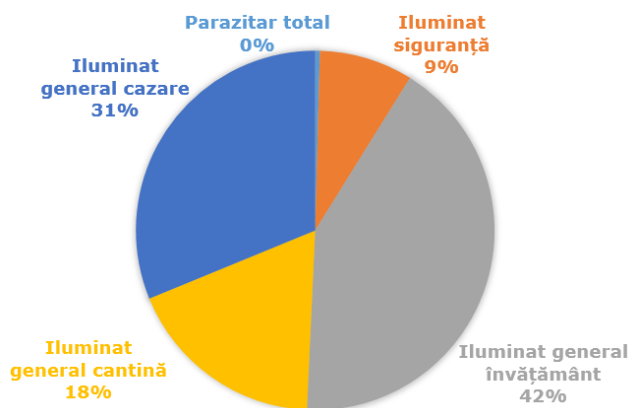


Figura 4.18 - Consumuri totale iluminat

Deși iluminatul general al încăperilor cu funcțiuni de învățământ este utilizat cel mai puțin, reprezintă consumul de energie electrică predominantă datorită puterii instalate mari. Concomitent, iluminatul general al zonei de cazare este caracterizat de o putere instalată inferioară dar cel mai ridicat grad de utilizare.

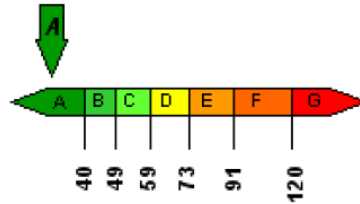


Figura 4.19- Încadrarea consumului de iluminat în clasă energetică

Consumul specific total de energie electrică a iluminatului interior a clădirii de 3,61 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A.

Consumul de energie primară a sistemului de iluminat, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$ [21]), este de 9,45 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică A+ conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,l,A+}^* < 10$ kWh/m²an) [69].

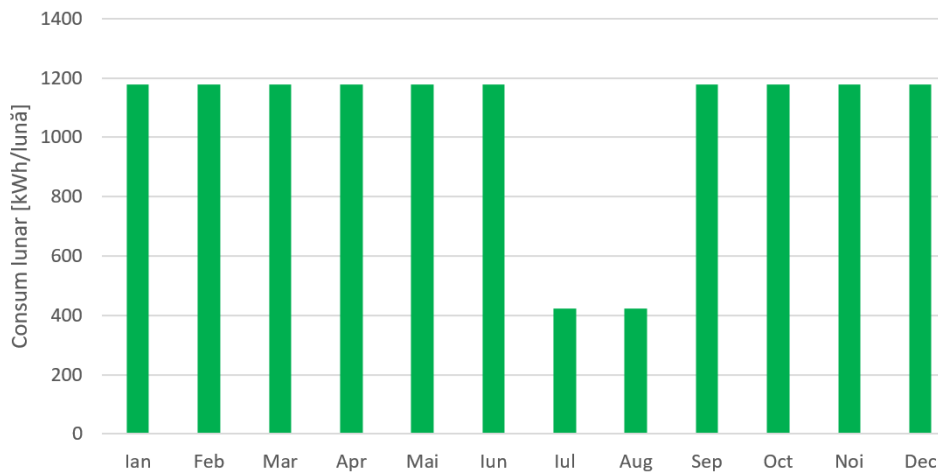


Figura 4.20 - Distribuție lunară consumuri energie iluminat

4.6 Consum de energie total

Consumul de energie totală (Q_f) se determină prin însumarea tuturor consumurilor instalațiilor principale de asigurare a utilităților clădirii. Toate componentele sunt consumatoare de energie electrică provenită exclusiv din sistemul energetic național.

$$Q_f = Q_{f,h} + Q_{f,w} + Q_{f,c} + Q_{f,v} + Q_{f,l} \text{ [kWh/m}^2\text{an]} \text{ [21]} \quad \text{Ec. 86}$$

$Q_{f,h}$	- consum energie electrică încălzire	
$Q_{f,w}$	- consum energie electrică apă caldă menajeră	
$Q_{f,c}$	- consum energie electrică răcire	[kWh/an]
$Q_{f,v}$	- consum energie electrică ventilare mecanică	
$Q_{f,l}$	- consum energie electrică iluminat	

Tabelul 4.70 - Consumuri de energie totale și specifice clădire

încălzire	ACM	răcire	ventilare	iluminat	total
$Q_{f,h}$	$Q_{f,w}$	$Q_{f,c}$	$Q_{f,v}$	$Q_{f,l}$	Q_f
[kWh/an]					
62431	45896	15210	31727	12639	167903
[kWh/m ² an]					
17,85	13,12	4,35	9,07	3,61	48,02
[%]					
37,2	27,3	9,1	18,9	7,5	100

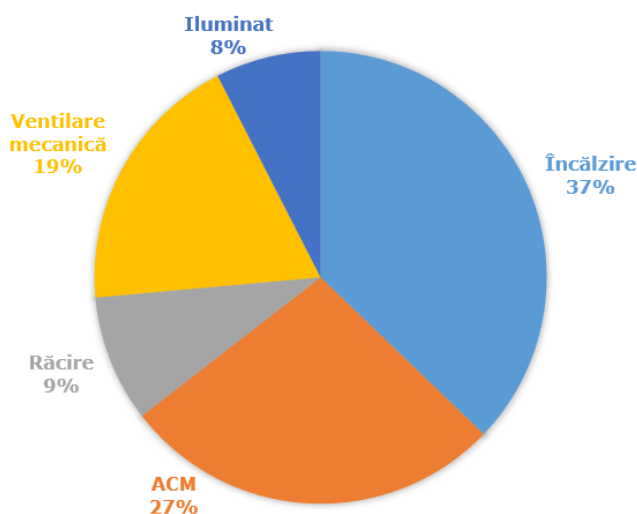


Figura 4.21 - Distribuția consumurilor de energie totale a clădirii

Fracțiunea predominantă a consumurilor clădirii este reprezentată de sistemul de încălzire (37%). Consumul de energie pentru asigurarea ACM este mai ridicat (27%) decât în cazul unor clădiri de învățământ clasice, care nu sunt prevăzute cu unitate de cazare și bucătărie pentru servirea mesei. În cazul clădirii analizate, ponderea consumului de ACM a unității de cazare și bucătărie este de 81%. Consumul de energie pentru ventilare mecanică (19%) reprezintă o pondere ridicată datorită funcționării continue a acesteia în întreaga clădire dar și datorită prevederii de baterii de preîncălzire și prerăcire.

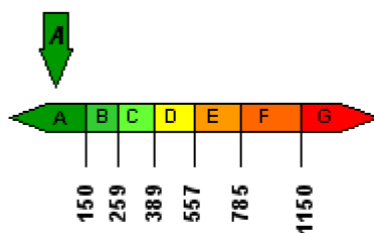
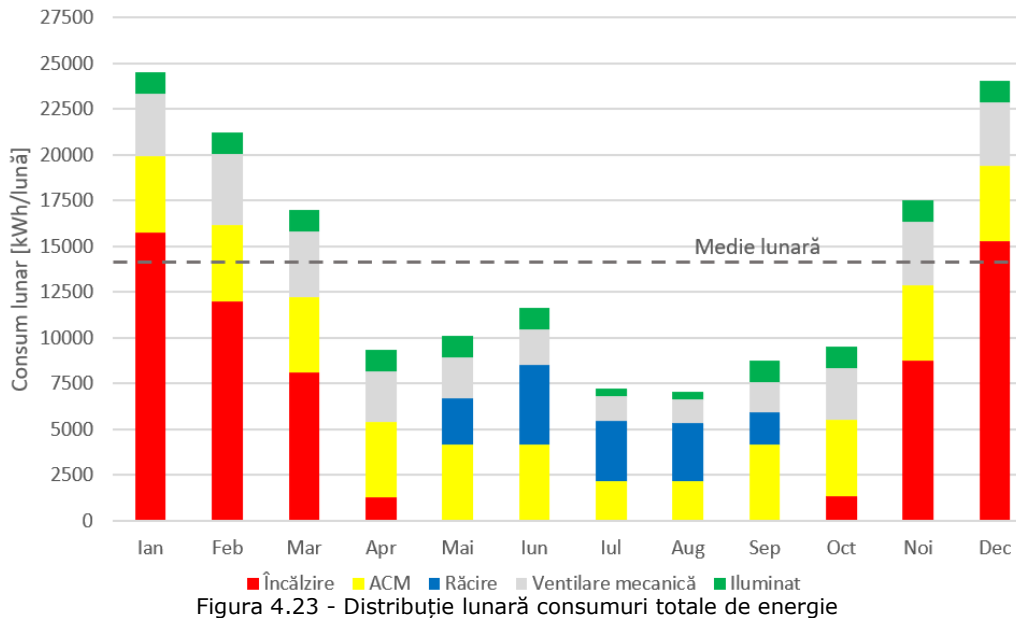


Figura 4.22 - Încadrarea consumului de energie a clădirii în clasă energetică

Consumul specific de energie electrică a clădirii de 48,02 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A.



Consumurile lunare totale cele mai mari sunt din Decembrie și Ianuarie (aferent temperaturilor exterioare medii lunare cele mai scăzute) datorită necesarului de energie pentru încălzire. Lunile Iulie și August au consumurile cele mai scăzute din cauza vacanței de vară a anului școlar, în care spațiile de învățământ nu sunt utilizate. În aceste două luni doar etajul 3 (unitatea de cazare) al clădirii este utilizată. Punctul de inflexiune a graficului de vârfuri de consum lunare între lunile Iunie și Iulie este cauzat de utilizarea parțială a spațiilor de învățământ în luna Iunie, în care consumul de energie pentru răcire este cel mai ridicat.

4.7 Energie primară și emisii CO₂

Energia primară consumată de clădire (E_p) se determină prin utilizarea unor factori de conversie a energiei finale (f_p) la nivelul consumatorului, corespunzător sursei energetice. Clădirea nu este dotată cu surse de energie regenerabilă (panouri solare, panouri fotovoltaice), astfel energia produsă la nivelul clădirii și exportată $Q_{ex} = 0$ kWh/an.

$$E_p = \sum(Q_f \cdot f_p) - \sum(Q_{ex} \cdot f_{pex}) \text{ [kWh/an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 87}$$

f_p - factor de conversie a energiei neregenerabile în energie primară [-]
 f_{pex} - factor de conversie a energiei regenerabile în energie primară [-]

Tabelul 4.71 - Consumuri de energie primară totale și specifice clădire

Q_f [kWh/an]	f_p [-]	Q_{ex} [kWh/an]	f_{pex} [-]	E_p [kWh/an]	E_p [kWh/m ² an]
167903	2,62	0	0	439906	125,81

Consumul rezultat de energie primară totală specifică ($E_p = 125,81$ kWh/m²an) depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ conform cerinței de Casă Pasivă de tip Classic Standard $q_{PE,an} \leq 120$ kWh/m²an [71], respectiv se încadrează în clasa energetică A conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,total,A}^* = 90...127$ kWh/m²an) [69].

În cazul noilor încadrări ale Caselor Passive, necesarul de energie primară regenerabilă (Q_{PER}) se determină prin înmulțirea consumului specific de energie a clădirii ($Q_f = 48,02$ kWh/m²an) cu factorul de conversie mediu global de energie primară regenerabilă ($f_{PER} = 1,70$) [70]. Necesarul $Q_{PER} = 81,63$ kWh/m²an depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ tipice, conform cerinței de Casă Pasivă de tip PHI Low Energy Building $q_{PER,an} \leq 75$ kWh/m²an [71]. Instrucțiunile de încadrare specifică faptul că limita maximă admisă de $q_{PER,an} \leq 75$ kWh/m²an poate fi majorată până la 90 kWh/m²an, cu acordul Institutului de Case Passive, în cazul în care funcțiunea clădirii este diferită de categoriile de folosință tipice.

E_p depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ în zona climatică II, pentru încadrarea în condițiile clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB), conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($q_{an,total,2021}^* < 115$ kWh/m²an) [69].

Emisia de CO₂ a energiei primare consumate (E_{CO_2}) de clădire se determină prin utilizarea unor factori de emisie (f_{CO_2}), corespunzător sursei energetice.

$$E_{CO_2} = \sum(Q_f \cdot f_{CO_2}) - \sum(Q_{ex} \cdot f_{CO_2ex}) \text{ [kg CO}_2\text{/m}^2\text{an]} \quad [21] \quad \text{Ec. 88}$$

f_{CO_2} - factor de emisie a energiei neregenerabile [kg CO₂/kWh]
 f_{CO_2ex} - factor de emisie a energiei regenerabile

Tabelul 4.72 - Emisii de CO₂ totale și specifice clădire

E_p [kWh/an]	f_{CO_2} [-]	E_{CO_2} [kg CO ₂ /an]	E_{CO_2} [kg CO ₂ /m ² an]
439906	0,299	131532	37,62

Emisiile de CO₂ rezultate ($E_{CO_2} = 37,62$ kg CO₂/m²an) depășesc cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ și zonă climatică II, pentru încadrarea în condițiile clădirilor cu consum de energie aproape zero, conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul ($e_{an,total,2021}^* < 30$ kg CO₂/m²an) [69].

E_p și E_{CO_2} ale clădirii de învățământ proiectată și executată în varianta constructivă eficientă energetic sunt mai reduse decât ale clădirilor nerezidențiale noi sau existente, care sunt realizate cu alte soluții tehnice tradiționale. Se definesc patru tipuri de clădiri de referință, având volumetria și suprafețele de anvelopă identice cu cel al clădirii analizate, respectiv având caracteristicile prezentate în Tabelul 4.72.

Sursele de încălzire și ACM pentru clădirile V1 și V2 sunt considerate prin termoficare iar pentru V3 și V4 sunt prin gaze naturale. Sursele instalațiilor de răcire, ventilare mecanică și iluminat, pentru toate variantele de clădiri, sunt considerate prin energie electrică. Notațiile din paranteze ale coloanelor de consumuri reprezintă încadrarea acestora în clase energetice, conform metodologiei de calcul [21].

Consumurile clădirilor V1 și V3 sunt determinate prin recalcularea clădirii analizate în varianta următoarelor soluții tehnice: elemente de anvelopă având R'_{min} , performanța energetică inferioară a echipamentelor de instalații, grosimea redusă de termoizolare a conductelor și corpuri de iluminat cu alte surse decât LED.

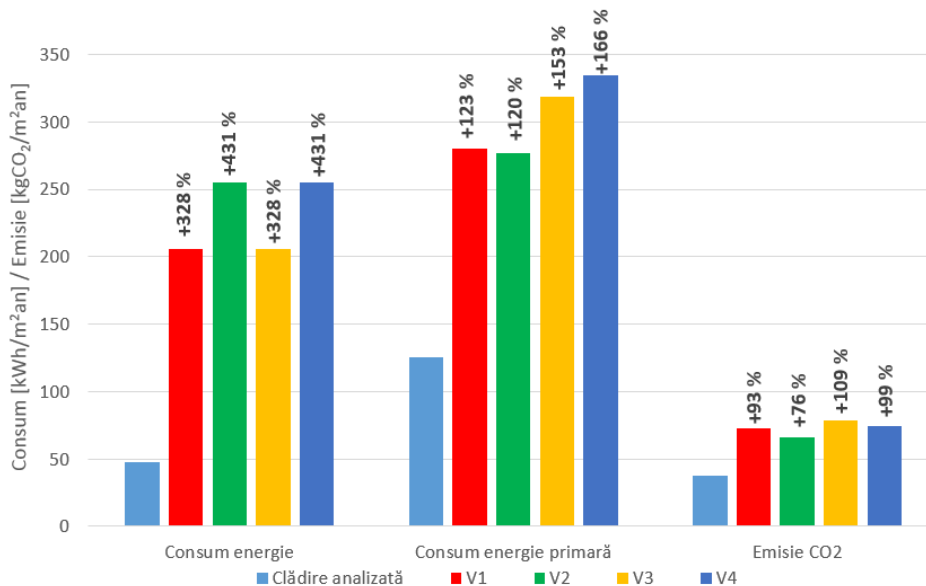
Consumurile clădirilor V2 și V4 sunt definite în conformitate cu valorile medii ale consumurilor de energie a fondului construit de învățământ existent. Pentru aceste două tipuri de clădiri nu s-au luat în considerare consumuri de energie ale instalației de ventilare mecanică.

Tabelul 4.73 - Tipuri de clădiri comparative (V1-V4)

Nr.	Tip clădire	Sursă h+w	Q _f	Q _{f,h}	Q _{f,w}	Q _{f,c}	Q _{f,v}	Q _{f,l}
			[kWh/m ² an]					
V1	Nouă	Termoficare	205,9 (B)	112 (B)	40,4 (C)	7,5 (A)	34 (G)	12 (A)
V2	Existentă		255 (C)	185 (D)	45 (C)	10 (A)	-	15 (A)
V3	Nouă	Gaze naturale	205,9 (B)	112 (B)	40,4 (C)	7,5 (A)	34 (G)	12 (A)
V4	Existentă		255 (C)	185 (D)	45 (C)	10 (A)	-	15 (A)

Tabelul 4.74 - E_p și E_{CO2} clădiri comparative (V1-V4)

Nr.	f _p Q _{f,h+w}	f _p Q _{f,c+v+l}	f _{CO2} Q _{f,h+w}	f _{CO2} Q _{f,c+v+l}	Q _f	E _p	E _{CO2}
				[kWh/m ² an]		[kg CO ₂ /m ² an]	
V1	0,92	2,62	0,220	0,299	206	280,4	72,8
V2					255	277,1	66,1
V3	1,17		0,205		206	318,5	78,5
V4					255	334,6	74,8

Figura 4.24 - Q_f, E_p și E_{CO2} clădire învățământ și clădiri comparative (V1-V4)

Consumurile de energie (Q_f) ale clădirii analizate sunt semnificativ mai reduse decât celelalte tipuri de clădiri în principal datorită soluțiilor tehnice adoptate la nivelul anvelopei dar și datorită utilizării unor instalațiilor cu randament ridicat. Astfel, clădirea analizată este mai puțin dependentă de cantitatea de energie utilizată.

În cazul E_p , diferențele în favoarea clădirii analizate sunt de asemenea semnificative cu mențiunea că factorii de conversie a energiei electrice ($f_{p,electric} = 2,62$) sunt dezavantajoase în raport cu celelalte tipuri de surse ($f_{p,termoficare} = 0,92$ și $f_{p,gaz} = 1,17$).

În ceea ce privește E_{CO_2} , diferențele dintre clădirea analizată și clădirile comparative scad datorită factorilor de emisie a energiei electrice ($f_{CO_2,electric} = 0,299$) care sunt dezavantajoase în raport celelalte tipuri de surse ($f_{CO_2,termoficare} = 0,220$ și $f_{CO_2,gaz} = 0,205$). Pentru o clădire de dimensiunea clădirii analizate ($A_u = 3496,47 \text{ m}^2$) cantitatea de E_{CO_2} evitată prin aplicarea soluțiilor tehnice utilizate la clădirea de învățământ, în comparație cu rezultatele clădirilor comparative (V1-V4), variază între valorile 231 tone CO_2 /an respectiv 274 tone CO_2 /an.

5. SISTEMUL DE MONITORIZARE

5.1. Conceptul de monitorizare

Scopul principal al implementării unui sistem de monitorizare este colectarea de date în timp real privind parametrii care definesc performanța energetică și confortul interior al clădirii. Sistemul include o rețea de instrumente și senzori de măsurare care sunt conectați la stații de achiziție de date. Infrastructura de monitorizare instalată în clădire transmite informațiile colectate unui server dedicat cu ajutorul unui sistem de comunicare al clădirii prin Wi-Fi. În urma procesării și interpretării datelor înregistrate se pot optimiza consumurile printr-o utilizare judicioasă a spațiilor și a echipamentelor.

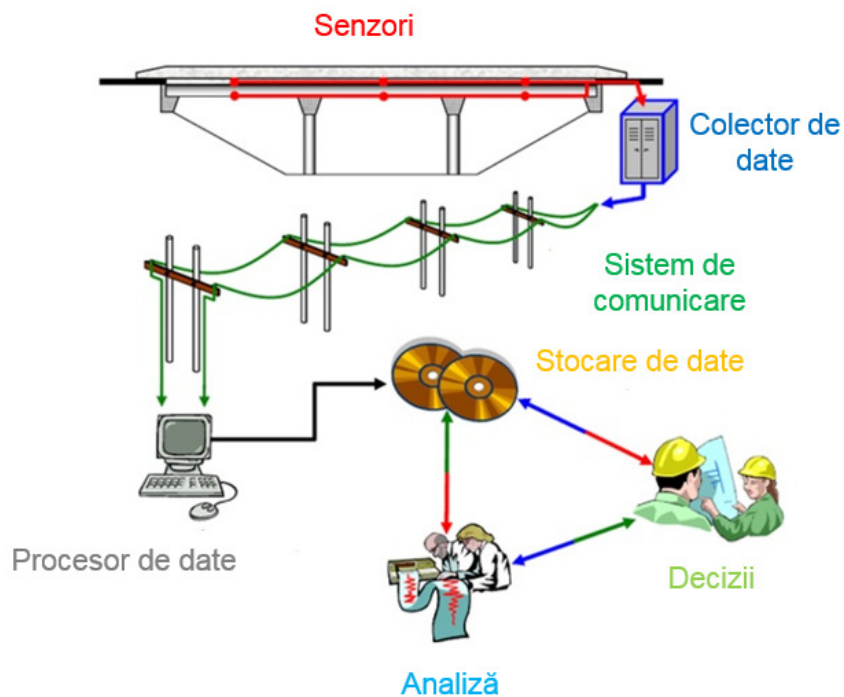


Figura 5.1 - Concept de monitorizare

Strategia de monitorizare urmărește implementarea unui sistem complet care să cuprindă toate categoriile de parametrii care să reflecte o imagine detaliată a comportării termice și energetice a clădirii. Categoriile de parametrii prevăzuți sunt prezentați în Tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 - Categoriile de parametri ai sistemului de monitorizare

Categorie	Eficiență energetică
Parametri	temperaturi anvelopă și instalații, temperaturi teren natural și spații neîncălzite, consum apă, viteza aerului, consumuri energie electrică și gaz, intensitatea și durata radiației solare, grad de ocupare, etanșeitate anvelopă, condiții climatice exterioare
Categorie	Confort interior
Parametri	temperaturi și umiditate spații interioare, viteza aerului
Categorie	Igienă și sănătate
Parametri	dioxid de carbon (CO ₂), radon, vapori de formaldehidă (CH ₂ O), oxid dinitrogen (N ₂ O), dioxid de azot (NO ₂) și compuși organici volatili (VOC)
Categorie	Psihologic
Parametri	comportamentul utilizatorilor

Datorită costurilor ridicate ale tuturor componentelor sistemului, implementarea s-a limitat la componentele monitorizării anvelopei, instalațiilor, terenului natural, a spațiilor neîncălzite, consumului de apă, consumurilor de energie electrică și gaz, temperaturilor spațiilor interioare. Rețeaua de infrastructură de cablare și colectare este realizată pentru varianta maximă a pozițiilor de monitorizare.

Sistemul de monitorizare este alcătuit din: senzori de temperatură tip termometru digital marca DS18B20 [138] și NTC 20k [139], contoare de debit analoge cu ieșire de impuls, contoare de energie electrică monofazice digitale și contoare de gaz. Cu excepția contoarelor de gaz, toate componentele sunt legate la unitățile de stocare și asigură citiri automate.

Senzorii de temperatură DS18B20 [138] au un interval de temperatură de lucru de -55°C ... +125°C și o precizie de citire de ±0.5°C. Senzorii NTC 20k [139], care sunt utilizați doar în interiorul forajelor verticale, au un interval de temperatură de lucru de -30°C ... +105°C și o precizie de citire de ±0.2°C.



Figura 5.2 - Senzori de temperatură DS18B20 și NTC 20k

Conectarea senzorilor s-a realizat cu cablu JB-Y(St)Y de 2x2x0,8 mm iar traseul până la unitățile de stocare s-a tratat specific unei instalații electrice de curenți slabi, utilizând doze și cleme de legături. Conectarea senzorilor de cabluri s-a făcut utilizând două rânduri de tuburi termocontractibile de protecție. Distribuția traseelor de cabluri prin clădire s-au plasat în interiorul elementelor de construcție și s-au etichetat pentru o identificare ușoară. Montarea componentelor sistemului de

monitorizare s-a corelat cu etapele de execuție astfel încât să se poată integra definitiv în clădire, similar instalațiilor electrice curente. De exemplu, senzorii de temperatură prevăzuți în elementele structurale de beton armat au fost montați după realizarea carcasei de armătură și închiderea parțială a cofragului, dar înainte de turnarea betonului, pentru fiecare element în parte.

Pentru colectarea datelor sunt prevăzute trei unități data-logger din care două sunt amplasate la parterul clădiri principale și una este în centrala termică. Citirile senzorilor sunt setate să fie înregistrate la fiecare 30 minute. În total, sistemul de monitorizare este alcătuit din peste 660 de senzori și contoare de măsurare instalate, 94 doze de legătură și 5 km de cablu.

5.2. Monitorizare parametrii la elementele de anvelopă

Strategia de monitorizare implică instalarea unor poziții de măsurare în toate elementele de anvelopă opacă astfel încât să poată oferi detalii în timp real a comportării la transfer termic ale acestora. Pentru a determina cu precizie comportarea globală, au fost considerate atât elementele către exterior dar și cele către terenul natural, respectiv spațiile neîncălzite. Senzorii utilizați sunt termometre digitale DS18B20 [138].

5.2.1. Elemente de anvelopă principale

Fiecare element de anvelopă este prevăzut cu poziții de măsurare ale sistemului de monitorizare pentru determinarea distribuției temperaturii pe grosimea acestora, în punctele relevante ale acestora. Astfel, sunt dispuși cinci senzori: pe suprafețele exterioare și interioare, între componentele principale ale elementului de anvelopă, la mijlocul grosimii stratului suport și a termoizolației (Figura 5.3 – Figura 5.10).

În principal, s-au montat cel puțin trei seturi de asemenea senzori, în secțiuni diferite ale clădirii, pentru a asigura un număr suficient de date de măsurare dar și pentru a preveni situația pierderii citirilor din cauza deteriorării în timpul execuției lucrărilor. În cazul pereților exteriori, numărul seturilor este mai mare pentru a acoperi toate orientările după punctele cardinale, diferite funcțiuni cu regim de utilizare diferit și spațiul neîncălzit de aprovizionare. Distribuția în plan a pozițiilor de monitorizare a elementelor de anvelopă s-a făcut în așa fel încât să cuprindă cât mai multe tipuri de funcțiuni ale încăperilor.

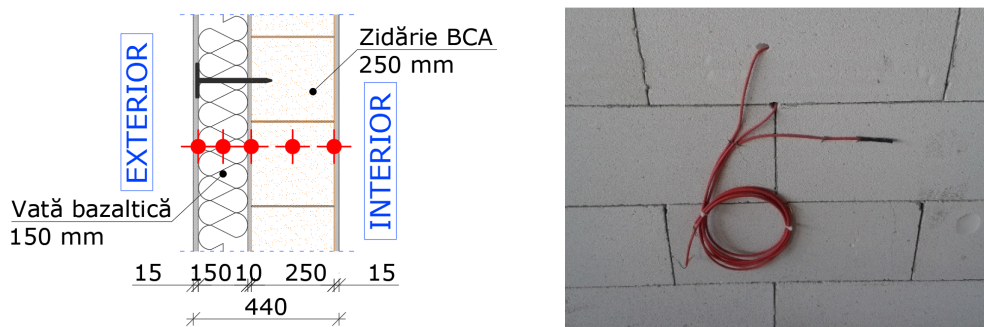


Figura 5.3 - Senzori pereți exterior: detaliu și implementare

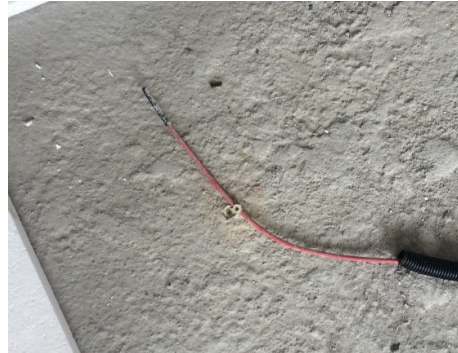


Figura 5.8 - Senzori planșeu inferior: implementare

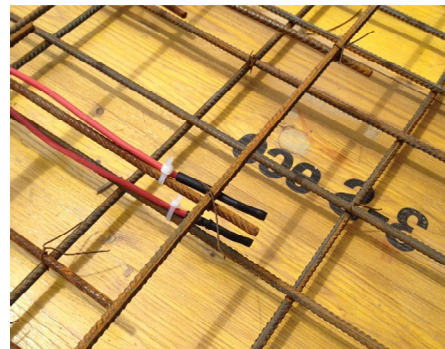
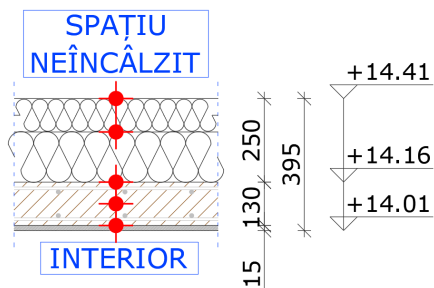


Figura 5.9 - Senzori planșeu spre pod: detaliu și implementare



Figura 5.10 - Senzori planșeu spre pod: implementare

5.2.2. Punți termice

Soluțiile constructive adoptate și prezentate în capitolele anterioare au avut ca efect diminuarea la maxim a punților termice a elementelor de anvelopă. Toate aceste zone sunt prevăzute cu poziții de măsurare a sistemului de monitorizare pentru verificarea respectării ipotezelor de calcul. Seturile de senzori pentru fiecare detaliu în parte au fost concepute pentru determinarea distribuției temperaturilor pe direcția fluxului termic specific punților termice. Principiul dispunerii senzorilor în

pozițiile de relevanță termică, prezentat anterior, este aplicat la detaliile unde se consideră eliminate punțile termice.

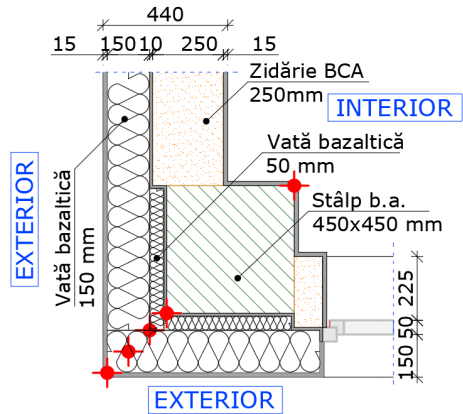


Figura 5.11 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind 1: detaliu și implementare



Figura 5.12 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind 2: implementare

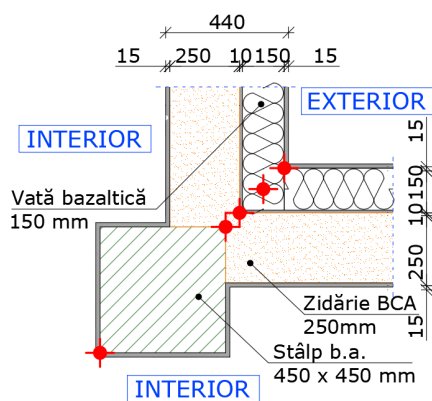


Figura 5.13 - Senzori pereți exteriori – colț intrând 1: detaliu și implementare

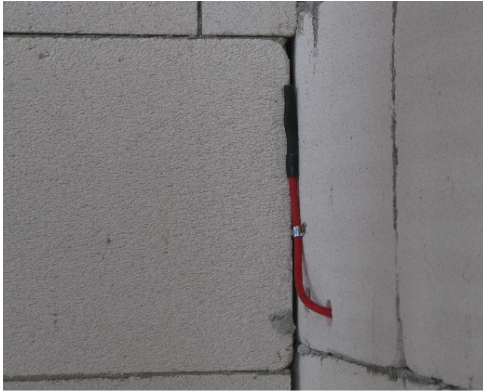


Figura 5.14 - Senzori pereți exteriori – colț intrând 2: implementare

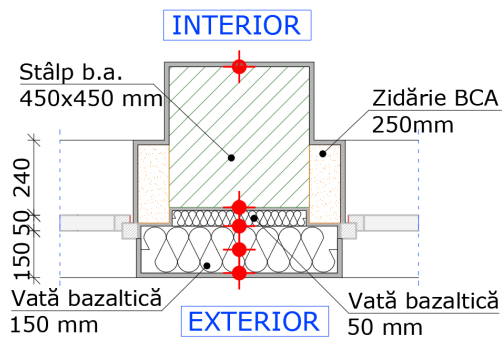


Figura 5.15 - Senzori pereți exteriori – stâlp intermediar 1: detaliu și implementare



Figura 5.16 - Senzori pereți exteriori – stâlp intermediar 2: implementare

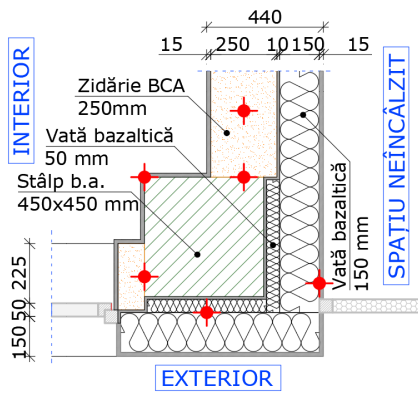


Figura 5.17 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 1: detaliu și implementare



Figura 5.18 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 2: implementare

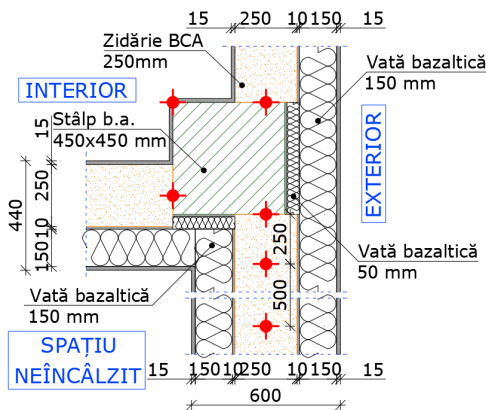


Figura 5.19 - Senzori pereți exteriori – colț ieșind spațiu neîncălzit 3: detaliu și implementare

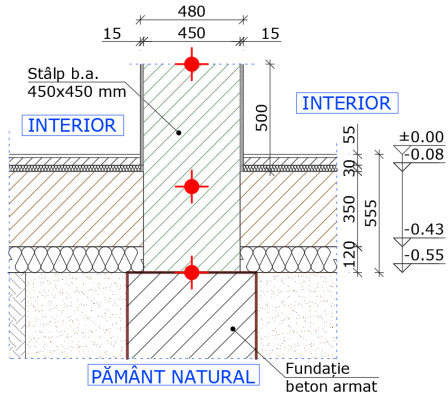


Figura 5.20 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior 1: detaliu și implementare

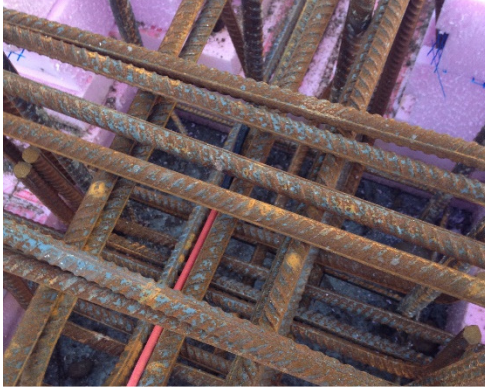


Figura 5.21 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior 2: implementare

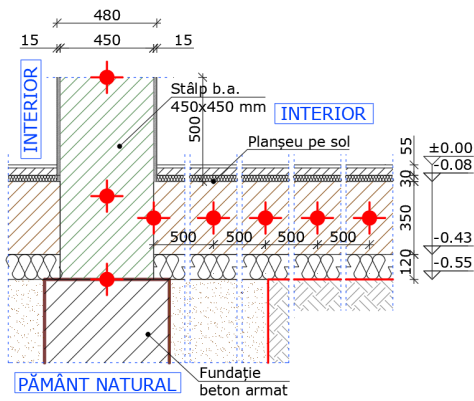


Figura 5.22 - Senzori planșeu pe sol – stâlp interior – grindă soclu: detaliu și implementare

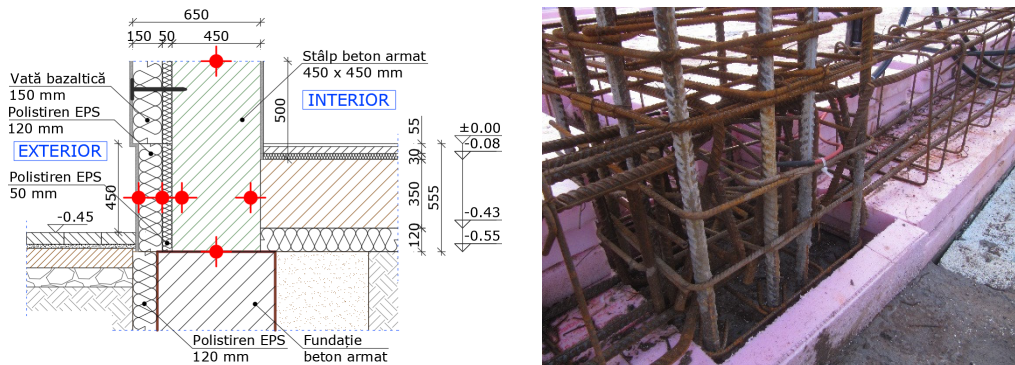


Figura 5.23 - Senzori planșeu pe sol – stâlp exterior 1: detaliu și implementare



Figura 5.24 - Senzori planșeu pe sol – stâlp exterior 2: implementare

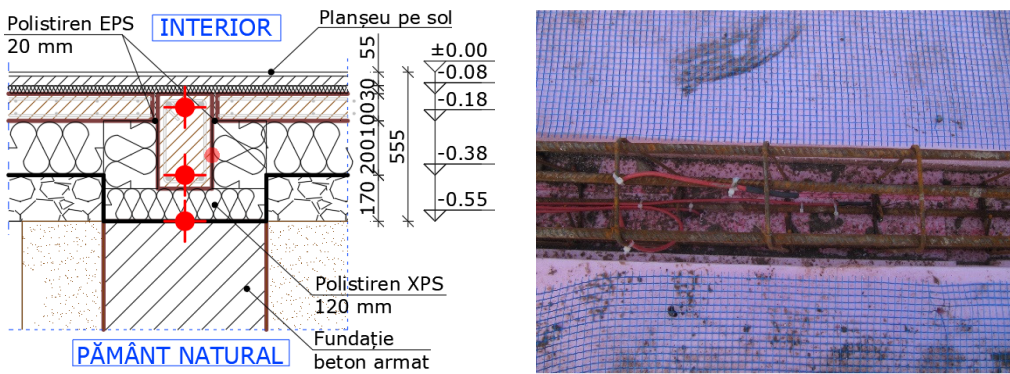


Figura 5.25 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu interior: detaliu și implementare

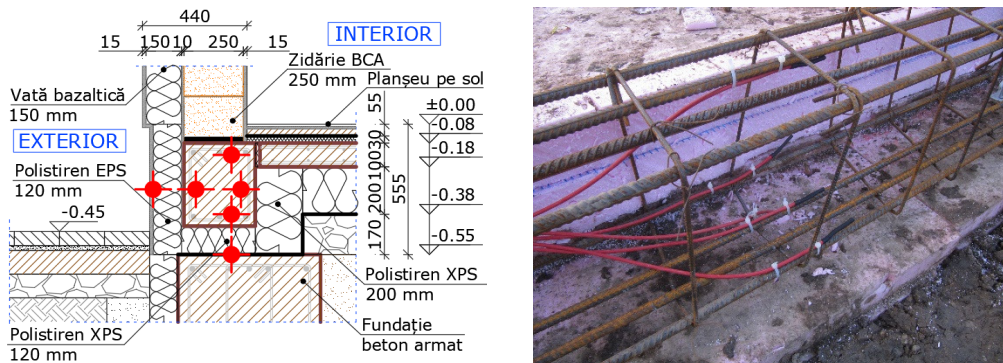


Figura 5.26 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 1: detaliu și implementare

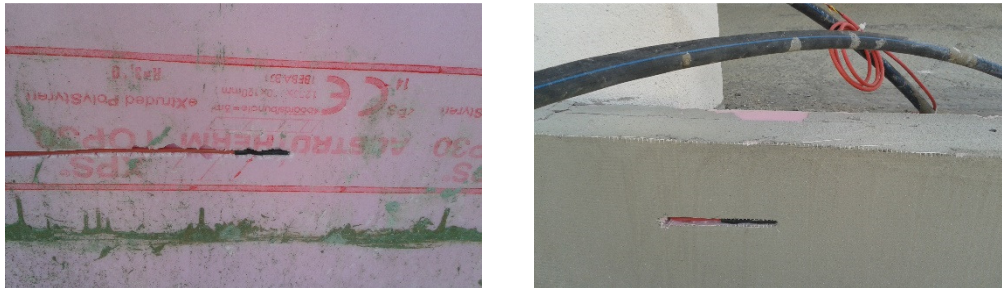


Figura 5.27 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 2: implementare

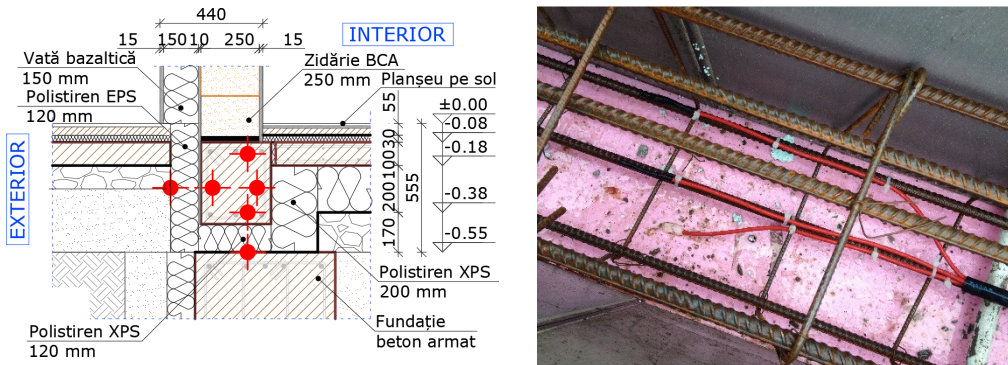


Figura 5.28 - Senzori planșeu pe sol – grindă soclu exterior 3: detaliu și implementare

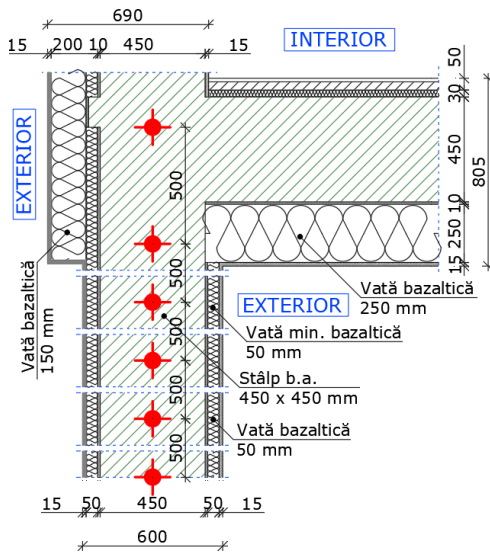


Figura 5.29 - Senzori stâlpi exteriori: detaliu și implementare

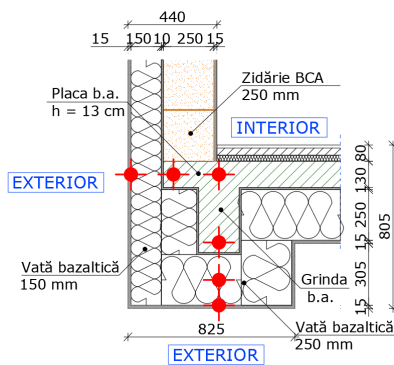


Figura 5.30 - Senzori planșeu inferior – grindă perimetrală: detaliu și implementare

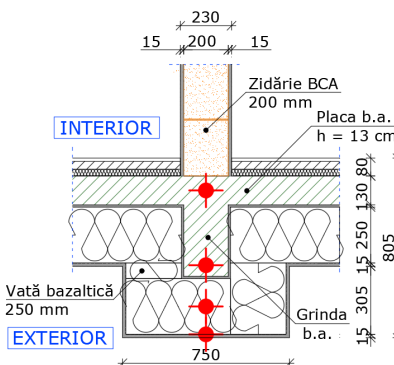


Figura 5.31 - Senzori planșeu inferior – grindă interioară: detaliu și implementare

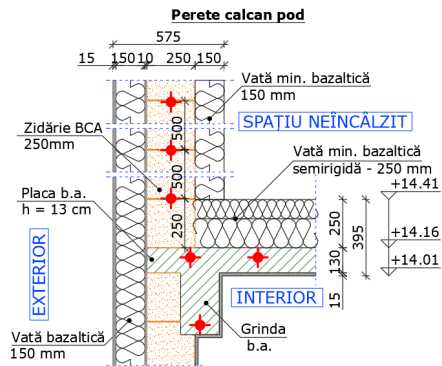


Figura 5.32 - Senzori planșeu spre pod – perete calcan 1: detaliu și implementare

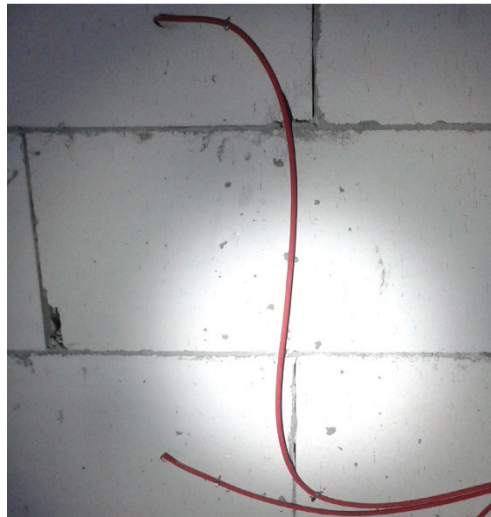


Figura 5.33 - Senzori planșeu spre pod – perete calcan 2: implementare

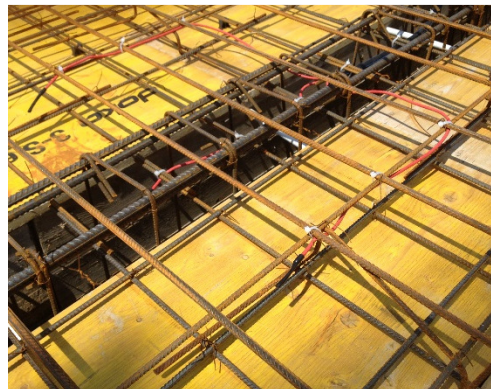
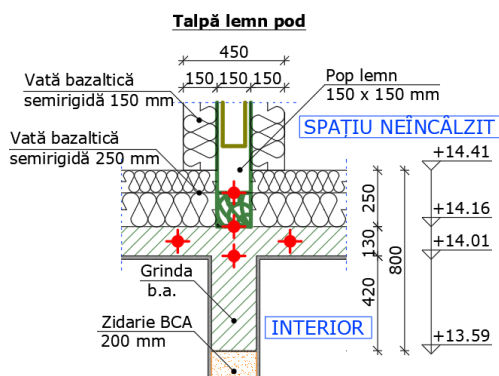


Figura 5.34 - Senzori planșeu spre pod – talpă lemn 1: detaliu și implementare

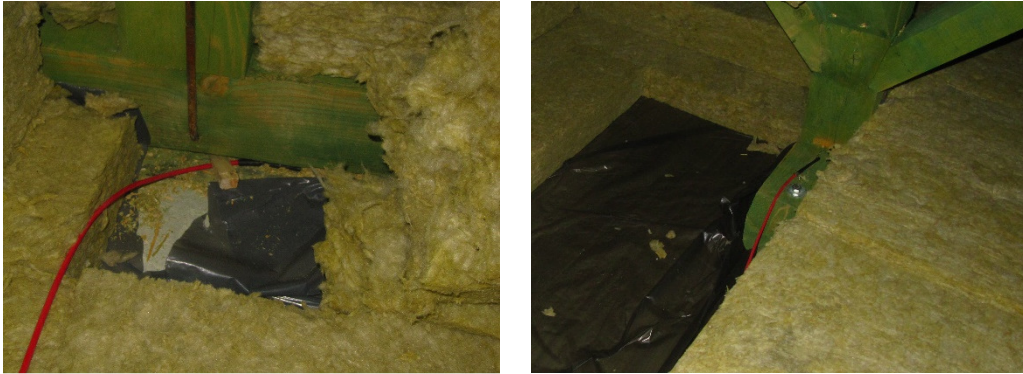


Figura 5.35 - Senzori planșeu spre pod – talpă lemn 2: implementare

5.2.3. Teren natural

Amplasarea senzorilor sub cota terenului sistematizat urmărește monitorizarea temperaturilor terenului natural atât sub amprenta clădirii cât și în afara acesteia respectiv efectul termoizolației verticale montate pe perimetrul exterior al fundațiilor continue. S-au montat trei seturi de asemenea senzori, în secțiuni diferite ale clădirii, pentru a asigura un număr suficient de date de măsurare, dar și pentru a preveni situația în care să se piardă posibilitatea de citire a acestora din cauza deteriorării în timpul execuției lucrărilor. Un set cuprinde trei senzori sub amprenta clădirii la o adâncime variabilă de 1,00 – 1,50 m, amplasate uniform pe lungimea direcției transversale a acesteia, și doi senzori în curtea interioară la distanța de 1,00 și 7,00 m de clădire.

Efectul termoizolației verticale asupra temperaturii terenului natural de sub amprenta clădirii este monitorizat prin trei senzori montați în corpul fundației de beton, distribuiți pe înălțime, și a căror citiri se compară cu cele ale senzorului montat la partea exterioară a polistirenului.

Montarea cablurilor acestor senzori s-a realizat în țevă de polietilenă de înaltă densitate pentru protecție în timpul turnării de beton și realizarea de umpluturi.

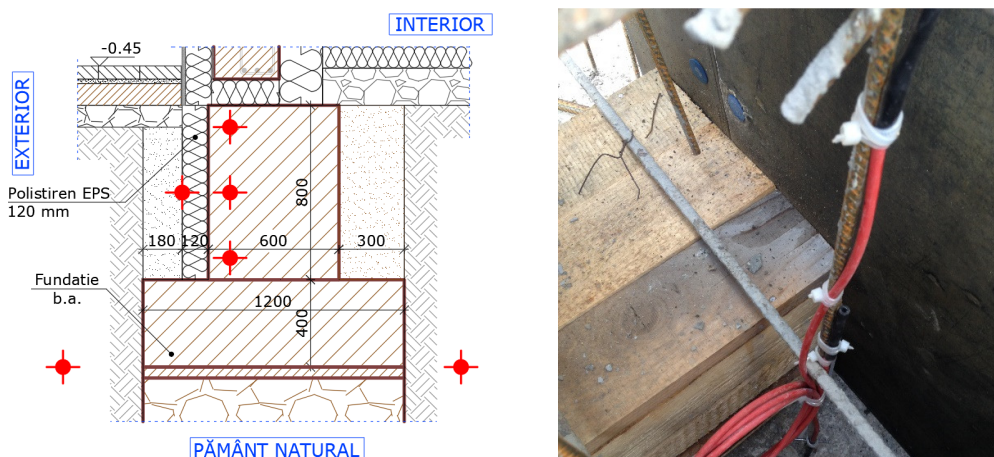


Figura 5.36 - Senzori fundații 1: detaliu și implementare



Figura 5.37 - Senzori fundații 2: implementare



Figura 5.38 - Senzori teren natural: implementare

5.3. Monitorizare parametrii de funcționare a instalațiilor

Performanța energetică a unei clădiri este definită și de instalațiile de asigurare a necesarului termic și a apei calde menajere. Monitorizarea parametrilor tehnici a acestora este esențială pentru diagnosticarea în timp real a comportării lor.

Componentele de monitorizare a infrastructurii au fost stabilite în așa fel încât să ofere o imagine de ansamblu dar și de detaliu a parametrilor acestora. Întreg traseul, de la sursă până la consumatori, a fost prevăzut în strategia de monitorizare. Elementele care alcătuiesc traseul complet al sistemului vizat sunt cele care determină consumurile energetice principale: centrala termică, sursa de agent termic, instalațiile termice interioare și instalațiile de ventilare. Fiecare categorie este tratată în detaliu, dar o atenție sporită este acordată și interacțiunii dintre acestea.

Sistemul de măsurare la nivelul centralei termice includ senzori de temperatură și contoare de debit analog cu ieșire de impuls pe tur. Pachetele de măsurare alcătuite din doi senzori de temperatură montate pe țevi de tur și retur respectiv un contor de debit sunt amplasate la ieșirile pompelor de căldură, schimbătorului de căldură, a distribuitorului principal al forajelor verticale în sistem sol-apă, a centralei în condensatie pe gaz și boilerul de acumulare a apei calde

menajere. Acest tip de echipare permite colectarea datelor precum diferențe de temperatură a circuitelor de tur și retur respectiv debitul de circulație a agentului, cu ajutorul cărora se poate calcula energia termică furnizată de fiecare echipament în parte.

Interacțiunea dintre categorii este cea mai relevantă în cazul centralei termice și a instalațiilor interioare, la care senzorii montați pe țevile tur și retur ale plecării din camera tehnică și ale sosirii la distribuitoare determină pierderile termice pe traseul fizic dintre acestea. Interacțiunea dintre centrala termică și instalația de ventilare este abordată similar, datorită echipării CTA-urilor cu baterii de preîncălzire și prerăcire.

Senzorii de temperatură utilizați sunt preponderent de tipul termometrelor digitale DS18B20 [138], cu excepția celor montați pe adâncimea forajelor verticale care sunt de tipul NTC 20k [139] încadrate în sistemul de măsurare marca KTF20-65. Montarea acestora s-a realizat prin legarea fizică a acestora de exteriorul țevilor a căror agent termic prezintă interes de monitorizare, sub termoizolația acestora. Gradul de precizie a măsurătorilor s-a considerat acceptabil datorită proprietăților de conductivitate termică ineficientă a materialelor din care sunt confecționate țevile. Posibilitățile tehnice de instalare a senzorilor de temperatură în interiorul țevilor ar fi implicat costuri exponențial mai ridicate ale investiției de implementare.

Contoarele de debit analoge s-au prevăzut încă înainte de începerea lucrărilor de execuție a centralei termice astfel încât să fie posibilă montarea acestora pe traseele țevilor în cauză iar ieșirile de impuls asigură posibilitate legării acestora în componenta de stocare de date a sistemului de monitorizare și înregistrarea automată a citirilor.

5.3.1. Centrala termică

Strategia de monitorizare a instalațiilor prevăzute în interiorul centralei termice este de a monta instrumente de măsurare în toate pozițiile relevante din care se poate diagnostica funcționarea și parametrii esențiali care definesc consumurile energetice și performanța sistemelor. Detaliile de monitorizare a sursei de agent termic sunt prezentate în capitolul următor. Instalațiile care asigură necesarul de încălzire și răcire, respectiv prepararea apei calde menajere sunt cele care definesc consumurile energetice principale ale clădirii. Toate aceste categorii sunt tratate ca priorități în strategia de monitorizare.

Ambele pompe de căldură sunt tratate similar în ceea ce privește dotarea cu poziții și tipuri de parametrii mășurați. Pachetele de instrumente de măsurare utilizate la această categorie constau în doi senzori de temperatură pe țevile de tur și retur dar și cu contor de debit analog cu ieșire de impuls pe tur. Sunt prevăzute astfel de pachete pe intrările agentului termic în pompe, la ieșirea acestuia către sistemele de stocare și distribuție a instalațiilor termice și de apă caldă menajeră, la intrarea agentului termic de la centrala în condensatie în distribuitorul principal de instalații termice. Schimbătorul de căldură în plăci a sistemului apă-apă este prevăzut cu senzori de temperatură pe țevile tur și retur atât la intrările agentului termic dinspre foraje dar și la ieșirile către pompa de căldură. Dotarea suplimentară cu senzori a acestei zone urmărește determinarea performanței echipamentului.

Parametrii volumului de agent termic stocat în rezervorul tampon și în boiler sunt mășurați prin instalarea a trei senzori de temperatură la partea inferioară, mijloc și partea superioară a unităților de stocare. Inserarea acestora s-a făcut în locurile special pregătite din dotarea standard a echipamentelor cu ajutorul unor dispozitive tip teacă și presetupe de etanșare.

Monitorizarea distribuției agentului termic pentru încălzire și răcire se face prin dispunerea unor senzori de temperatură pe țevile tur și retur al coloanei principale de alimentare a distribuitorului general de la rezervorul tampon și pe cele cinci circuite principale de alimentare a distribuitorilor de nivel a ventiloconvectoarelor, bateriilor de CTA și radiatoarelor din interiorul clădirii.

Dotările subsistemului de monitorizare a apei calde menajere cuprind senzori de temperatură pe distribuitorul principal de tur și pe cele patru circuite de retur ale apei uzate dar și câte un contor de debit pe țeava de alimentare cu apă rece a boilerului și pe țeava de retur între distribuitorul principal de retur și boiler. Montarea a două contoare de debit, atât pe tur cât și pe retur, în cadrul alimentării cu apă caldă menajeră se datorează faptului că există diferențe de debit pe cele două trasee din cauza consumului efectiv de apă la nivelul obiectelor sanitare care nu se mai reîntoarce în centrala termică. Acest aspect este diferit în cazul instalațiilor termice unde există circuite închise, iar debitul agentului termic, în mod normal, este egal pe traseele de tur și retur. Astfel, aceste sisteme sunt prevăzute doar cu un singur contor de debit pe tur.



Figura 5.39 - Senzori de temperatură și debitmetru pompă de căldură

5.3.2. Sursă de agent termic

În exteriorul centralei termice s-au stabilit două foraje verticale ale sistemului de pompă de căldură sol-apă, în care s-au amplasat senzori de monitorizare a temperaturii agentului pe întreg traseul țevii din foraje. Cele două foraje s-au ales în poziții diametral opuse în plan pentru a putea verifica dacă există diferențe între capacitățile acestora dar și pentru a analiza comportarea termică a forajelor. Modelul de ansamblu de măsurare individuală utilizată pentru această aplicație este KTF20-65 și sunt montate pe fața exterioară a țevii din foraje. Un foraj este dotat cu un total de 11 senzori din care pachete de doi senzori sunt amplasați pe turul și returul țevii la fiecare 20 m adâncime (20, 40, 60, 80, 100 m) și un senzor în poziția de întoarcere la adâncimea de 120 m.

În interiorul centralei termice s-au montat senzori de temperatură pe toate țevile individuale de tur și retur ale celor 10 foraje verticale ale pompei de căldură sol-apă. Țevile tur și retur ale colectoarelor forajelor de la ambele sisteme termice sunt dotate cu senzori de temperatură, înainte de intrarea acestora în pompele de căldură, respectiv în schimbătorul de căldură în plăci. O strategie similară s-a adoptat și pentru centrala în condensatie pe gaz pe țevile tur și retur, între acesta și butelia de egalizare a presiunilor. Scopul montării senzorilor din interior este de a determina performanța fiecărui foraj vertical, temperatura agentului centralizat

înainte și după interacțiunea acestuia cu pompele de căldură dar și aportul în asigurarea necesarului termic al centralei în condensare în cazul avariilor sistemelor principale.

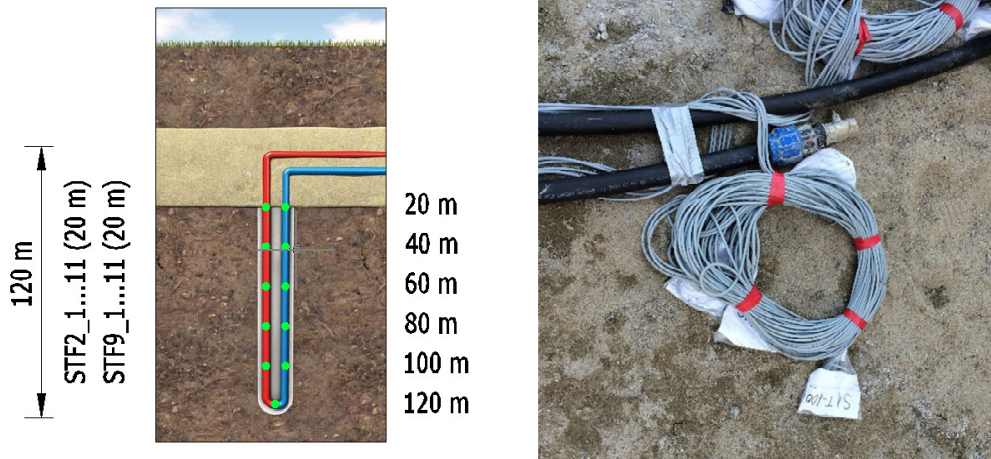


Figura 5.40 - Senzori de temperatură foraje verticale



Figura 5.41 - Senzori foraje pompe de căldură și schimbător de căldură

5.3.3. Instalații termice interioare

Distribuția agentului termic de încălzire și răcire în clădire se realizează prin intermediul unor coloane principale de alimentare a distribuitorilor de nivel de la care se conectează fiecare ventiloconvector. Strategia de monitorizare este de a prevedea câte doi senzori de temperatură la fiecare distribuitor de nivel, amplasați sub termoizolația țevelor principale de alimentare atât pe tur cât și pe retur. Datele furnizate sunt gândite a fi utilizate pentru a determina proporția și ordinul de mărime a consumurilor de energie individuale aferente diferitelor funcțiuni ale clădirii, prin calculul diferenței de temperatură dintre țevile de tur și retur. Agentul termic al bateriilor de încălzire și răcire, care sunt prevăzute pentru pretratarea aerului introdus de către CTA-uri, este la rândul său monitorizat într-un mod similar.



Figura 5.42 - Senzori distribuitoare termice

5.3.4. Instalații de ventilare

Monitorizarea parametrilor care definesc performanța instalațiilor de ventilare implică măsurarea temperaturilor în punctele relevante ale întregului traseu a aerului din exterior până în încăperile destinate a fi ventilate. Traseul conține zone precum: tubulatura dintre exterior și CTA, pornirile și intrările coloanelor principale interioare în CTA și capetele coloanelor de distribuție a aerului. Pentru a nu deteriora etanșeitatea tubulaturii de ventilare, montarea senzorilor de temperatură în interiorul acestora s-a făcut cu ajutorul unor presetupe specifice sistemelor de etanșare a cablurilor electrice.

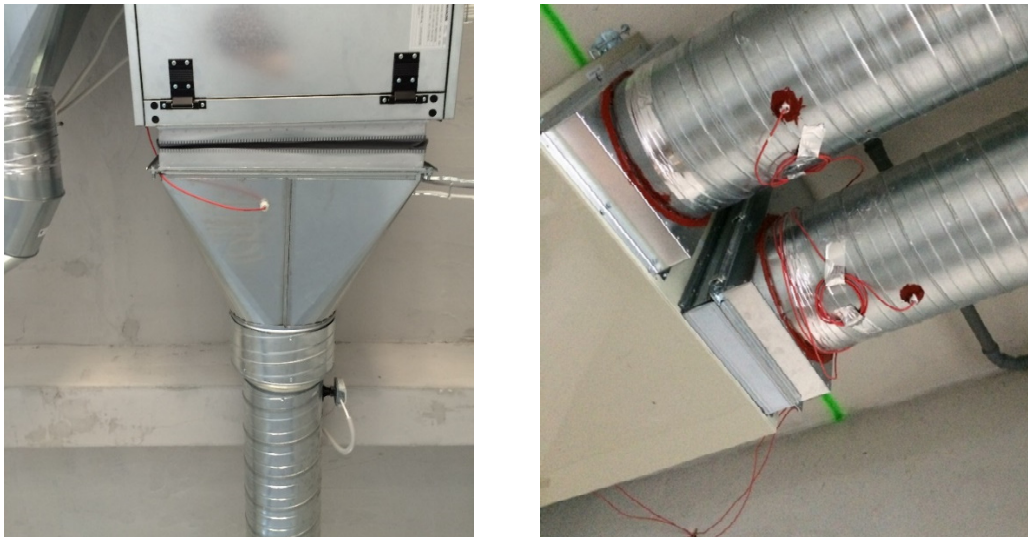


Figura 5.43 - Senzori CTA și recuperator de căldură

Toate cele șase sisteme independente de ventilare mecanică sunt prevăzute cu senzori de temperatură dispuși în următoarele poziții:

- Tubulatura de introducere a aerului exterior în CTA
- Tubulatura de evacuare a aerului viciat din CTA în exterior
- În interiorul CTA-ului, înainte de bateria de încălzire și răcire
- Tubulatura de plecare din CTA spre încăperi, după bateria de încălzire și răcire
- Tubulatura de intrare în CTA dinspre încăperi
- Grila de refulare cea mai îndepărtată de CTA

Cei patru senzori de temperatură din tubulatura din apropierea CTA-ului au rolul de a determina randamentul de recuperare de căldură a acestuia. Cele două poziții de măsurare înainte și după baterie determină funcționarea celei din urmă și în cazul în care acesta este pus în funcțiune, prin diferențele citirilor aferente se obține aportul bateriei în asigurarea temperaturii dorite de introducere a aerului în încăperi. Sensorul grilei de refulare cele mai îndepărtate, împreună cu cel de după baterie, determină pierderile de căldură pe traseul de distribuție a aerului proaspăt introdus.

Echiparea standard a CTA-ului include senzori de CO₂ care fac parte din sistemul de automatizare și reglare a funcționării acestuia în funcție de parametri setați. Aceste instrumente de măsurare sunt integrate în sistemul de monitorizare prin înregistrarea automată a citirilor cu ajutorul opțiunii de manevrare de la distanță a interfeței de setare a aparatului.

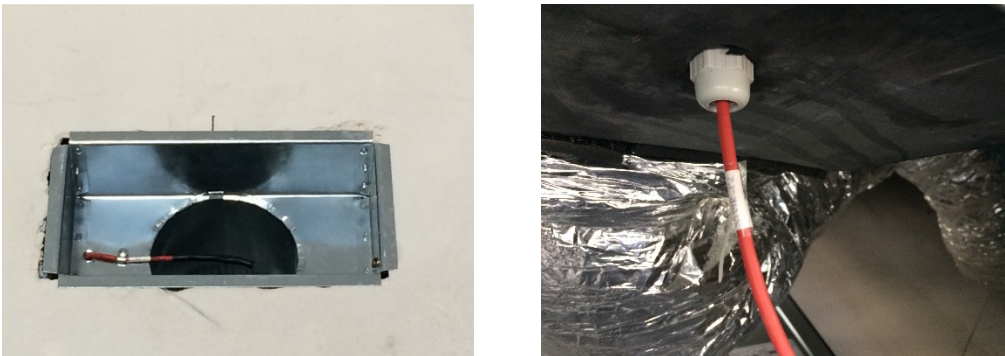


Figura 5.44 - Senzori plenum refulare și coloană principală ventilare

5.4. Monitorizare parametrii climatici interiori

Unul din scopurile principale ale implementării soluțiilor constructive de eficiență energetică este obținerea unui confort interior sporit. De asemenea, condițiile climatice interioare reale sunt necesare pentru completarea datelor de monitorizare în scopul verificării conformării clădirii utilizate cu ipotezele de calcul din etapa de proiectare. Parametrii climatici interiori prevăzuți în sistemul de monitorizare cuprind în mod curent temperatură, umiditate și dioxid de carbon (CO₂). Suplimentar, s-a prevăzut infrastructura necesară pentru completarea ulterioară a acestei categorii cu senzori de vapori de formaldehidă (CH₂O), oxid dinitrogen (N₂O), dioxid de azot (NO₂) și compuși organici volatili (VOC). În această etapă de implementare a sistemului de monitorizare, s-a realizat întreaga infrastructură de cablare și legare, montarea doar a senzorilor de temperatură și a

carcaselor de protecție. Completarea dotării cu instrumente de măsurare a restului de parametri climatici interiori este obiectul propunerii viitoare a unui proiect de cercetare care va asigura fondurile necesare achiziționării și montării acestora.

Strategia de monitorizare a acestei categorii de parametri implică dispunerea unor pachete formate din câte un senzor de temperatură, umiditate și CO₂ în multiple zone ale clădirii. Alegerea zonelor de instalare s-a făcut astfel încât să se poată monitoriza parametrii aferenți fiecărei funcțiuni datorită condițiilor diferite de utilizare. Astfel, sunt montate pachete de senzori în bibliotecă, hol principal, sală de mese, bucătărie, depozitare, aprovizionare bucătărie, administrație, sală profesorală, săli de clasă, grupuri sanitare elevi, holuri longitudinale de circulație, casa scării, camere de cazare, bucătăria zonei de internat precum și în podul neîncălzit.

Dispunerea unui număr mai mare de pachete de senzori în încăperi cu funcțiuni similare precum sălile de clasă sau camerele de cazare s-a făcut pentru verificarea influenței poziției acestor încăperi în planul nivelurilor respectiv a orientării față de punctele cardinale și a aporturilor solare aferente. Planurile de amplasare a pachetelor de senzori de climat interior, pentru fiecare nivel în parte, sunt prezentate în Anexa 6.



Figura 5.45 - Senzori parametrului confort interior

5.5. Contorizarea consumurilor energetice

Consumurile energetice ale clădirii sunt monitorizate și contorizate în timp real cu ajutorul a șapte contoare de energie electrică dar și a două contoare de consum de gaz natural.

Strategia de contorizare prevede dispunerea unor contoare monofazice digitale pentru măsurarea tuturor consumurilor de energie electrică ale fiecărui nivel dar și a consumurilor tehnologice ale bucătăriei și respectiv ale centralei termice. Cele șase contoare montate pe rețeaua internă a clădirii sunt completate de contorul principal de branșament care are rol de verificare a consumurilor totale. Aceste contoare sunt prevăzute în sistemul integrat de monitorizare general pentru a putea înregistra în mod automat citirile la date prestabilite.



Figura 5.46 - Contoare consum energie electrică

Stabilirea contorizării consumurilor totale pentru fiecare nivel a avut în vedere posibilitățile tehnice ale tablourilor de distribuție a energiei electrice pe fiecare nivel și a circuitelor de curenți tari. Având în vedere că funcțiunile principale ale clădirii sunt grupate preponderent pe niveluri, se obțin consumuri separate pe funcțiuni ale iluminatului general și de siguranță, consumatori alimentați de prize, curenți slabi, ventiloconvectoare și centrală de tratare a aerului. Valorile măsurate ale centralei termice reprezintă consumuri totale ale tuturor instalațiilor prezente în zona tehnică și anume încălzire, răcire și apă caldă menajeră, atât la nivel de asigurare a sursei cât și la nivel de distribuție, incluzând totodată și funcționarea pompelor de circulație a apei reci și funcționarea iluminatului general și de securitate, respectiv consumatorii de curenți slabi ai clădirii independente. Contorizarea de energie electrică a bucătăriei include consumurile dotărilor tehnologice, iluminatul general și de securitate, consumatorii de curenți slabi. Nu s-au prevăzut dotări tehnice de monitorizare a valorilor separate pe categorii de consumatori la aceste două contoare. Astfel, defalcarea consumurilor pe categorii s-a realizat prin calcul, în baza unor ipoteze de funcționare.

Măsurarea consumului de gaz ale dotărilor tehnologice aferente bucătăriei se face printr-un contor intern, iar consumul centralei în condensatie, montat ca sursă de rezervă a pompelor de căldură, se determină prin diferența dintre contorul principal de branșament și contorul intern. Aceste contoare nu sunt integrate în sistemul de monitorizare general momentan.

Contorizarea consumurilor lunare de energie electrică luate în calcul sunt pe o durată de doi ani, în perioada martie 2018 și februarie 2020. Citirile acestora sunt prezentate în Tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 - Consumuri lunare energie electrică pe funcțiuni

Consumuri energie electrică [kWh]							
Lună	Parter	Etaj 1	Etaj 2	Etaj 3	Bucătărie	Centrală	Total
2018							
Martie	339	461	616	288	5	827	2536
Aprilie	374	728	747	505	44	3204	5602
Mai	397	681	805	575	26	1453	3937
Iunie	555	1048	1205	627	72	2603	6110
Iulie	293	313	303	510	33	1283	2735
August	528	97	118	593	35	2354	3725
Septembrie	805	536	475	532	42	3071	5461
Octombrie	764	1235	1308	401	53	3440	7201
Noiembrie	564	981	1196	557	92	2794	6184
Decembrie	483	1070	1298	447	43	4486	7827
2019							

152 Contorizarea consumurilor energetice - 5.5

Ianuarie	486	590	759	485	41	4998	7359
Februarie	552	810	986	442	314	4807	7911
Martie	873	676	849	503	978	4599	8478
Aprilie	939	725	821	546	1131	4189	8351
Mai	503	525	701	444	815	1972	4960
Iunie	908	1038	1385	463	1095	4622	9511
Iulie	769	699	344	563	935	4006	7316
August	389	333	75	482	568	2412	4259
Septembrie	604	755	832	457	945	4852	8445
Octombrie	665	714	987	380	1030	1778	5554
Noiembrie	578	957	1197	449	1216	2626	7023
Decembrie	655	635	716	347	1016	3352	6721
2020							
Ianuarie	569	319	492	425	1092	6317	9214
Februarie	622	781	787	835	1142	7008	11175
2018 + 2019 + 2020							
Total	14214	16707	19002	11856	12763	83053	157595
kWh/luna	592	696	792	494	532	3461	6566
kWh/an	7107	8354	9501	5928	6382	41527	78798
kWh/m ² /an	2,03	2,39	2,72	1,70	1,83	11,88	22,54

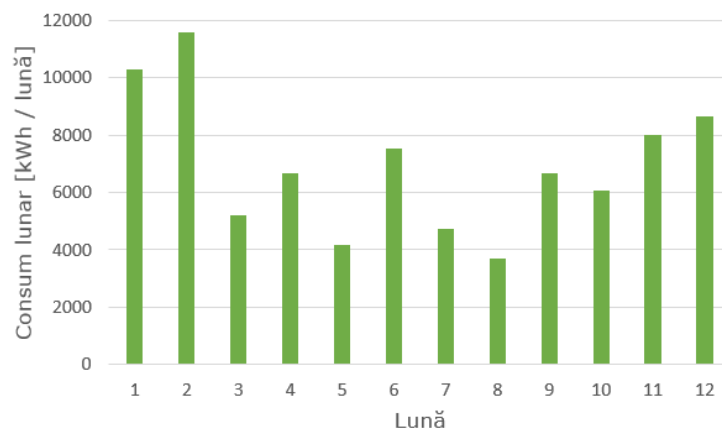


Figura 5.47 - Consumuri lunare medii de energie electrică contorizate

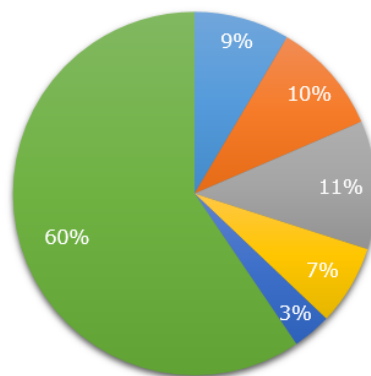


Figura 5.48 - Distribuție pe funcțiuni a consumurilor de energie electrică

Contorizarea consumurilor lunare de gaz luate în calcul sunt pe de durată doi ani, în perioada martie 2018 și februarie 2020. Citirile acestora sunt prezentate în Tabelul 5.3.

Tabelul 5.3 - Consumuri lunare gaz

Consumuri gaz [kWh]			
Lună	Centrală	Bucătărie	Total
2018			
Martie - Octombrie	0	0	0
Noiembrie - Decembrie	6708	0	6708
2019			
Ianuarie - Februarie	9264	0	9264
Martie	0	1108	1108
Aprilie	0	1424	1424
Mai	0	749	749
Iunie	0	1646	1646
Iulie	0	1530	1530
August	0	454	454
Septembrie	0	1572	1572
Octombrie	0	1846	1846
Noiembrie	0	2205	2205
Decembrie	0	1699	1699
2020			
Ianuarie	0	960	960
Februarie	0	2057	2057
2018 + 2019 + 2020			
Total	15972	17249	33221
kWh/luna	665	1437	-
kWh/an	7986	17249	-
kWh/m ² /an	2,28	4,93	7,21

Citirile contorului intern de gaz al bucătăriei a înregistrat valori semnificative începând cu Martie 2019, perioadă în care a început funcționarea acesteia în condiții normale. Consumurile tehnologice de gaz ale dotărilor nu sunt luate în calcul în performanța energetică a clădirii, care se raportează la valorile determinate conform metodologiei de calcul. În Tabelul 5.3, valorile consumurilor lunare sunt determinate pe o perioadă de 12 luni, care reprezintă intervalul de timp real de funcționare a bucătăriei. Perioada de neutilizare a acestei funcțiuni (Martie 2018 – Februarie 2019) nu este luată în calcul pentru determinarea consumurilor totale anuale a clădirii.

Consumurile de gaz ale centralei de rezervă sunt justificate prin faptul că în perioada Noiembrie 2018 – Februarie 2019, pompa de căldură apă-apă nu a fost funcțională din cauza înfundării forajelor de extracție cu nisip și din cauza duratei mari de contractare a serviciilor de denisipare, respectiv repunerea în funcțiune a acestora. Consumul total de gaz în cele patru luni de funcționare ale centralei sunt luate în calcul la consumul total al clădirii și este raportat la cele 24 de luni de funcționare respectiv monitorizare.

Valorile totale contorizate ale consumului specific de energie a clădirii, inclusiv dotările tehnologice este de 29,75 kWh/m²/an.

Consumurile de energie electrică ale bucătăriei cuprind atât consumurile iluminatului și al curenților slabi cât și al dotărilor tehnologice ale acestora. Pentru a putea lua în calcul consumurile separate ale celor trei categorii, având în vedere posibilitatea tehnică de a contoriza doar suma acestora, pentru consumurile

iluminatului de siguranță și a curenților slabi s-a luat în calcul media lunilor din perioada Martie 2018 – Ianuarie 2019. Consumul aferent lunii Februarie 2019, care are o valoare intermediară este caracterizată de probele tehnologice care s-au efectuat pentru punerea în funcțiune a dotărilor de bucătărie. Astfel, consumul mediu lunar al iluminatului de siguranță și a curenților slabi din cadrul bucătăriei s-a considerat 44 kWh/lună respectiv un consum specific de 0,15 kWh/m²/an.

Pentru determinarea consumurilor specifice a iluminatului general s-a luat în considerare puterea instalată totală (2867W) a corpurilor de iluminat în zona bucătăriei și patru ore de funcționare continuă în fiecare zi lucrătoare considerată (205 zile) într-un an. Astfel rezultă un consum mediu lunar 196 kWh/lună respectiv un consum specific de 0,67 kWh/m²/an.

Consumurile specifice ale dotărilor tehnologice ale bucătăriei rezultă din scăderea consumului total al celor aferente iluminatului general și de siguranță, respectiv al curenților slabi. Astfel, valoarea consumurilor specifice de energie electrică a dotărilor este de 1,01 kWh/m²/an iar consumul total, luând în calcul ambele surse de energie, este de 5,94 kWh/m²/an.

În perioada contorizată, condițiile reale de utilizare a clădirii includ și un grad de ocupare scăzut al internatului de la nivelul etajului 3. În această perioadă, consumurile înregistrate de contorul nivelului respectiv sunt caracterizate de funcționarea în condiții normale a iluminatului de siguranță și a curenților slabi respectiv funcționarea în regim de debit redus a instalației de ventilare.

În concluzie, luând în calcul valorile contorizate fără dotările tehnologice, valoarea consumului specific de energie a clădirii, este de 23,81 kWh/m²/an.

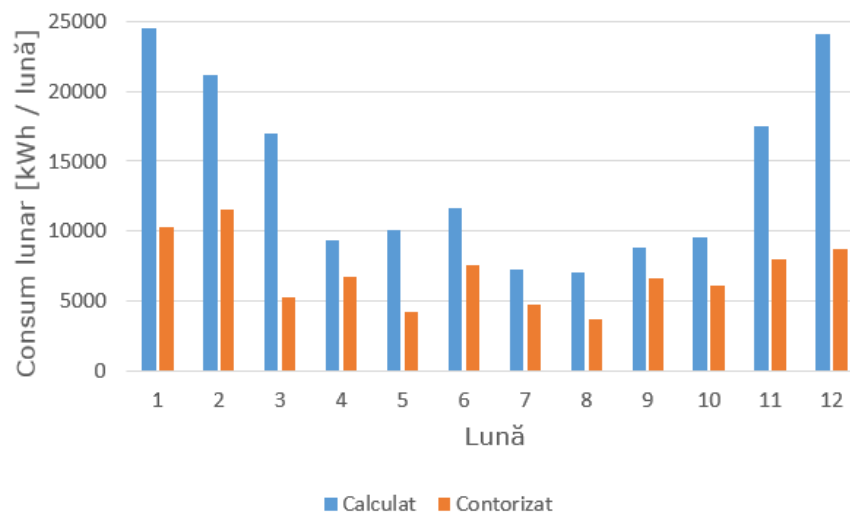


Figura 5.49 - Comparație consumuri lunare medii de energie electrică calculate și contorizate

Valoarea consumurilor specifice de energie finală calculate în baza metodologiei de calcul (48,02 kWh/m²/an) sunt de două ori mai mari decât valoarea contorizată a clădirii (23,81 kWh/m²/an). În ceea ce privește comparația consumurilor totale lunare, diferențele cele mai mari sunt în sezonul de încălzire (lunile Noiembrie – Martie) dar și în lunile Martie și Mai.

În cazul sezonului de încălzire, diferențele dintre temperaturile exterioare în perioada contorizată și valorile medii lunare luate în calcul, respectiv utilizarea reală

a clădirii în alt regim de ocupare și încălzire decât cel din ipotezele de calcul, sunt principalele cauze ale magnitudinii diferenței dintre valorile contorizate respectiv calculate.

O fracțiune din diferențele lunare sunt datorate utilizării cu un grad de ocupare scăzut al etajului 3, care conform calculelor, reprezintă o componentă importantă a consumurilor totale de energie. Valoarea contorizată a lunii Martie este mai redusă datorită faptului că montarea contoarelor s-a realizat în această lună a anului 2018 iar o parte din consumurile aferente acestei luni nu au fost măsurate. Diferența aferentă lunii Mai se datorează faptului că necesarul real de răcire a fost semnificativ mai redus decât cel rezultat din calcul.

5.6. Termografiere

S-a urmărit verificarea calitativă suplimentară a lucrărilor de execuție a componentelor anvelopei termice dar și a comportării energetice a acestora. Examinarea termografică este o procedură eficientă pentru detectarea neregularităților termice ale elementelor de construcție [140]. Prin termografiere se pot identifica variații mari ale proprietăților termice care au ca rezultat variații ale temperaturii pe suprafețele exterioare ale anvelopei. Această metodă de verificare este utilă pentru evidențierea punților termice existente, dacă ele există.

Termografierea implică utilizarea unui instrument sensibil la radiația infraroșie care creează o imagine termică bazată pe radiația aparentă a suprafeței analizate. Intensitatea imaginii este în funcție de temperatura suprafeței, de caracteristicile acesteia, de condițiile de mediu și de tipul de senzor.

Procedura de verificare s-a realizat în data de 16.01.2018 utilizând un termograf Flir InfraCam B [141] și prin respectarea următoarelor condiții:

- Identificarea emisivității materialelor de pe suprafețele exterioare: emisivitatea setată pentru tencuială decorativă $\epsilon = 0,94$, pentru profil PVC $\epsilon = 0,91$, pentru cărămidă sticlă $\epsilon = 0,97$.
- Realizarea termografierii în condițiile unei diferențe de temperatură interior-exterior de cel puțin 20°C: temperatura exterioară la ora realizării măsurătorilor a fost de -6°C iar interiorul clădirii a fost încălzit
- Suprafețele exterioare ale elementelor de anvelopă să nu fie expuse la radiația solară directă: măsurătorile s-au realizat în lipsa însoririi
- Viteza vântului să nu depășească 2 m/s: nu s-au detectat mișcări semnificative ale aerului



Figura 5.50 - Termograf Flir InfraCam B



Figura 5.51 - Termografiere – comparație clădire vecină

În imaginile termice de ansamblu se observă clădirea de învățământ eficientă energetic în apropierea unei clădiri construite fără respectarea soluțiilor constructive de termoizolare corespunzătoare. Diferențele de temperatură de pe suprafețele exterioare de 8-9°C dintre clădirea veche și nouă denotă diferența calitativă majoră dintre acestea, în favoarea clădirii eficiente energetic. De asemenea, valorile temperaturilor suprafețelor exterioare a clădirii de învățământ care sunt apropiate de condițiile mediului exterior dovedesc funcționarea termică corespunzătoare a anvelopei. Temperaturile ridicate pe suprafețele exterioare a clădirii vecine denotă un flux termic respectiv pierderi de căldură semnificative.

În imaginile termice de detaliu realizate din exterior și interior s-au identificat preponderent punți termice care se află pe perimetrul montajului tâmplăriei în peretele de zidărie datorate soluțiilor constructive alese dar și deficiențelor locale în rezolvarea detaliilor de montare a benzilor de etanșare. Temperaturile pe suprafețele interioare ale zonelor cu deficiențe sunt mai scăzute decât în dreptul elementelor de anvelopă care sunt realizate corespunzător, iar efectul local se manifestă printr-un flux termic pronunțat și diminuarea confortului interior.

Suplimentar, prin termografiere s-au constatat diferențele de performanță termică a diferitelor elemente de anvelopă caracterizate de rezistențe la transfer termic diferite. Acest aspect se poate observa cel mai bine la golurile din pereții exterior închise cu cărămidă de sticlă.

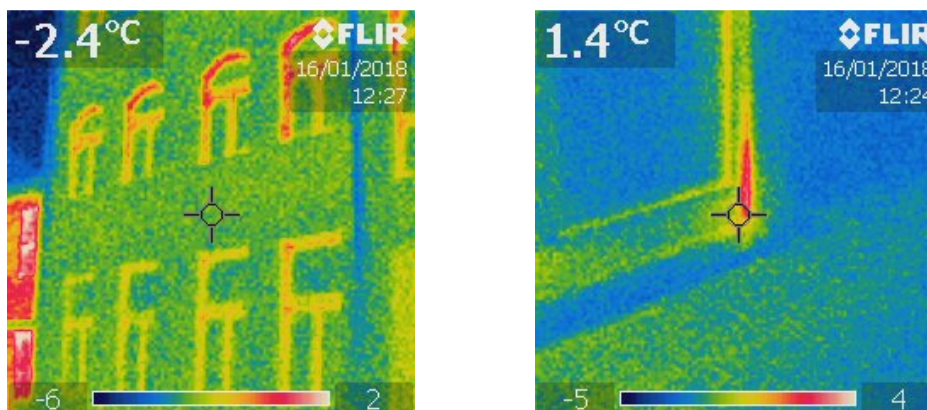


Figura 5.52 - Termografiere – tâmplărie – vedere exterioră

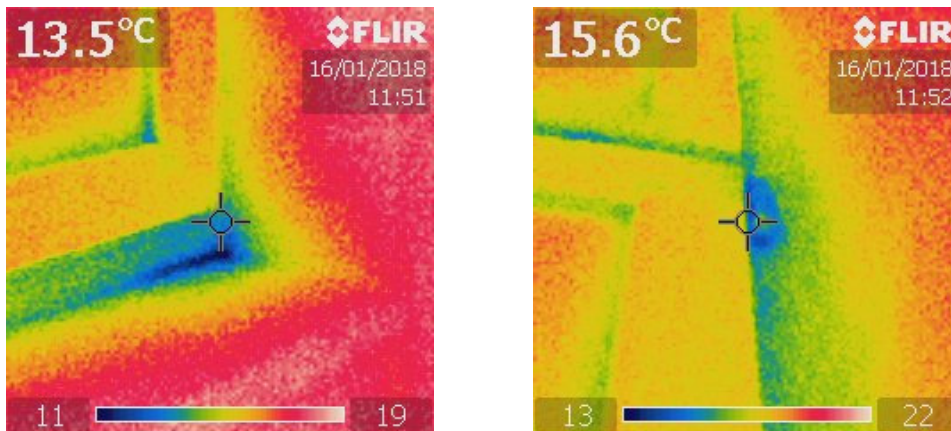


Figura 5.53 - Termografiere – tâmplărie – vedere interioară

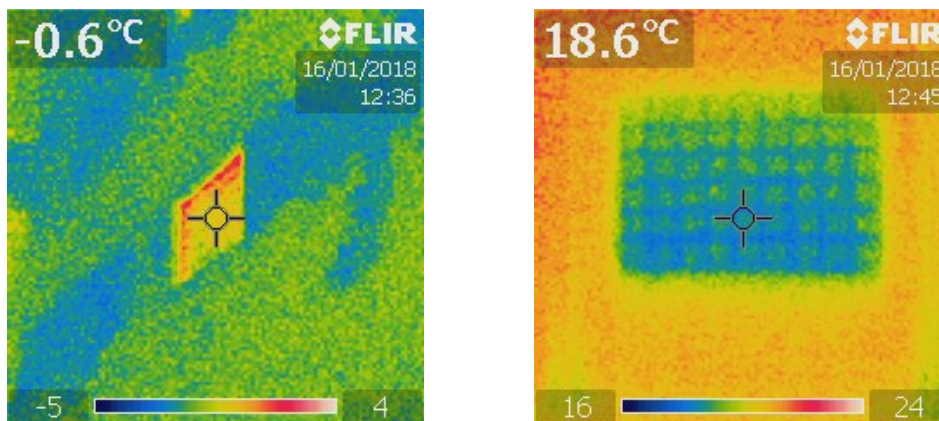


Figura 5.54 - Termografiere – cărămidă sticlă – vedere exterioră și interioară

5.7. Blower-door test

Verificarea etanșeității clădirii dar și a calității montajului tâmplăriei s-a efectuat prin efectuarea unui Blower-Door-Test [85]. Testul urmărește determinarea cantitativă și calitativă a etanșeității anvelopei termice printr-o măsurătoare de presiune diferențială și determină numărul de schimburi de aer pe oră (n_{50}) la o diferență de presiune de 50 Pa. Testul se efectuează atât în varianta creării de presiune cât și în cea a depresiunii. Metodologia de testare implică utilizarea unui ventilator specific în deschiderea unei uși, pregătirea clădirii în baza unor reguli [85], calculul volumului interior net (V_{n50}) [85], efectuarea măsurătorii, interpretarea rezultatelor și verificarea calitativă locală prin sondaj a zonelor de neetanșeități. Realizarea măsurătorilor se poate realiza fie în etapa de execuție a clădirii, după finalizarea anvelopei termice fie în faza de utilizare a acesteia.

Scopul principal al măsurătorii a fost verificarea încadrării numărului de schimburi de aer pe oră rezultate, în limitele recomandate de Institutul de Case Passive, și anume $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$ [70], dar și impunerea unor măsuri timpurii de remediere în cazul obținerii unor valori în afara limitelor recomandate. Astfel, efectuarea măsurătorii s-a ales într-o perioadă când clădirea a fost finalizată la

nivelul anvelopei termice, iar lucrările de finisaje de interior încă erau în execuție, aferent Metodei B din cadrul metodologiei de testare specifice. Testul s-a realizat cu un set de echipamente formate din: ventilator Blower-Door marca Retrotec EU1000 de capacitate 8000 m³/h, software marca FanTestic, anemometru termic compact cu sondă de debit marca Testo-425 și un generator de fum marca Tiny CX. Ventilatorul s-a montat în cadrul tocului de ușă de acces din curtea interioară a sălii de mese de la parter și s-a asigurat etanșarea acestuia de rama perimetrală.

Pregătirea clădirii pentru realizarea testului a implicat următoarele acțiuni:

- Închiderea tuturor ferestrelor și ușilor exterioare, a chepengului de acces spre pod și a ușilor metalice de acces în zona de aprovizionare, respectiv păstrarea în această stare pe toată durata efectuării măsurărilor
- Deschiderea tuturor ușilor de interior
- Oprirea instalației de ventilare mecanizată și închiderea etanșă a clapetelor de reglare
- Etanșarea tuturor sifoanelor de scurgere a obiectelor sanitare

Volumul interior net, care s-a luat în calcul, a fost determinat de volumul de aer definit de dimensiunile finite ale fiecărei încăperi din interiorul anvelopei termice. Astfel, nu s-au luat în considerare volumele pereților și planșeelor interioare, a ghenelor și a tavanelor false, a spațiilor neîncălzite și a mobilierului. S-a obținut prin calcul valoarea $V_{n50} = 10550 \text{ m}^3$.

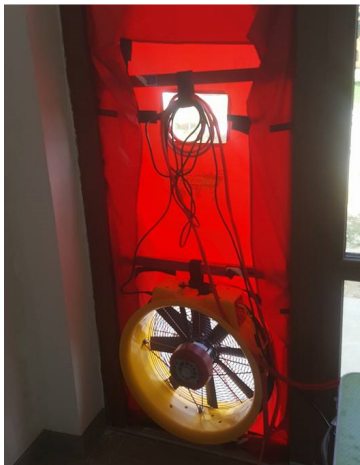


Figura 5.55 - Ventilator și anemometru



Figura 5.56 - Generator de fum



Figura 5.57 - Blower-door test set-up

În urma efectuării testului, rezultatele au fost $n_{50} = 0,4760 \text{ h}^{-1}$ și $n_{-50} = 0,4935 \text{ h}^{-1}$, valori care se încadrează în limitele $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$ [70]. Îndeplinirea condiției de etanșeitate s-a datorat utilizării și montării corespunzătoare a benzilor de etanșare la tâmplăria exterioară, închiderii etanșe a cercevelor pe tocul tâmplăriilor prevăzute cu ochiuri mobile respectiv limitării perforațiilor anvelopei termice de către componentele instalațiilor clădirii.

Zonele de neetanșeitate descoperite prin verificarea locală cu anemometrul termic și generatorul de fum au fost pe perimetrul ușii metalice de acces în încăperea de aprovizionare a bucătăriei, în dreptul unor doze de legături a instalației electrice montate într-un perete exterior, în dreptul perforării anvelopei termice de către țeava de alimentare cu gaz a dotărilor tehnologice a bucătăriei și pe perimetrul tocurilor unui număr redus de ferestre unde s-a constatat deteriorarea sau montarea deficitară a benzilor de etanșare.



Figura 5.58 - Rezultate test etanșeitate

5.8. Controlul calității

Pentru a asigura implementarea proiectului conform conceptului și detaliilor proiectate în scopul obținerii unei clădiri eficiente energetic, dar în aceeași măsură și a unei clădiri cu standarde de calitate ridicate în toate componentele acesteia, echipa de proiectare și management a întreprins urmărirea lucrărilor și consultarea tuturor factorilor implicați. Asistența tehnică s-a oferit de la etapele de ofertare de execuție până la recepția și exploatarea clădirii.

Consultarea beneficiarului în alegerea executanților s-a făcut prin recomandarea alegerii ofertanților care au prezentat lucrări de referință potrivite și interes ridicat pentru înțelegerea cerințelor de calitate și a soluțiilor tehnice. Fiecare ofertant a fost consultat pentru clarificarea detaliilor astfel încât să se asigure obținerea de oferte concludente, reale și transparente.

Înainte de începerea lucrărilor pentru diverse etape, s-au verificat conformarea materialelor și echipamentelor comandate cu cerințele performanțelor tehnice cerute, dar și înțelegerea proceselor tehnologice necesare. În ceea ce privește materialele termoizolante utilizate pentru anvelopa termică s-a avut în vedere conductivitatea termică declarată, asigurarea grosimilor necesare dar și punerea în operă corespunzătoare. Calitatea materialelor termoizolante s-a verificat pe șantier înainte de punerea lor în operă. Verificarea montajului straturilor termoizolante a avut în vedere dispunerea acestora conform detaliilor din proiect dar și asigurarea continuității lor la nivelul anvelopei. Deficiențele de continuitate s-au verificat vizual și s-au remediat prin aplicare de spumă poliuretanică în rosturile rezultate dintre plăci, înainte de aprobarea trecerii la următoarele etape tehnologice.

Montajului tâmplăriei a necesitat o activitate de verificare a calității prin care s-au supervizat detalii precum: poziționare în planul peretelui, îmbinarea de continuitate și detaliu de colț, respectiv lipirea benzilor de etanșare, închiderea etanșă a cercevelor pe toc. Deficiențele constatate în urma verificării s-au remediat în multiple etape până la obținerea calității cerute. Decontarea finală a lucrărilor a fost condiționată de aceste remedieri.

În ceea ce privește echipamentele aferente instalațiilor termice și sanitare s-a avut în vedere alegerea unora cu COP ridicat dar și o grosime minimă de 100 mm de termoizolare în cazul boilerului de acumulare. Dotările tehnologice ale bucătăriei s-au ales ținând cont de eficiența consumurilor specifice ale acestora. Punerea în funcțiune a acestor sisteme s-a realizat în prezența echipei de asistență și s-a asigurat funcționarea acestora în parametri tehnici optimi.

Centralele de tratare a aerului a instalațiilor de ventilare mecanizată s-au ales în funcție de randamentul recuperatoarelor de căldură. Punerea în funcțiune a acestora s-a realizat prin măsurători ale vitezelor și debitelor de aer la nivelul grilelor de aspirație și refulare. Reglarea clapetelor prevăzute pe coloanele de ventilare s-a făcut până la obținerea unui echilibru acceptabil pe toată lungimea acestora. Diferențele acceptate între viteza aerului la grilele cele mai apropiate și cele mai îndepărtate de echipament a fost de 10%.

După recepția la terminarea lucrărilor, s-a efectuat instructajul personalului administrativ de întreținere a clădirii, pentru buna înțelegere a funcționării sistemelor, dar și pentru adaptarea parametrilor acestora în funcție de diverse scenarii de utilizare a clădirii. Obligația contractuală a instituției publice care utilizează clădirea este să asigure personal tehnic permanent de administrare a clădirii și încheierea de contracte de mentenanță cu societăți de specialitate pentru instalațiile esențiale. În ceea ce privește performanța energetică și confortul termic,

mentenanța s-a cerut pentru schimbarea filtrelor unităților de ventilare, verificarea periodică a funcționării pompelor de căldură și a pompelor de circulație a coloanelor principale, verificarea funcționării pompelor submersibile a forajelor de extracție și de denisipare a forajelor în caz de înfundare, schimbarea filtrelor schimbătorului de căldură și a celor pe traseele conductelor din centrala termică. Consultarea administratorului tehnic s-a făcut constant până la însușirea de către acesta a tuturor detaliilor. Câteva exemple de situații în care a fost necesară reglarea asistată a instalațiilor au fost: stabilirea parametrilor și valorilor acestora care definesc începutul perioadei de încălzire sau răcire, varierea utilizării celor două pompe de căldură pentru asigurarea necesarului termic sau apa caldă menajeră, protocoale de urmat în cazul unor defecțiuni la pompele de căldură, reglarea termostatelor în corelare cu setările centralei termice și stabilirea setărilor centralelor de tratare a aerului în funcție de diferite scenarii de utilizare.

În ceea ce privește utilizarea clădirii, s-a întocmit un regulament de ordine internă în care sunt stabilite măsuri necesare a fi respectate pentru funcționarea în parametri normali a clădirii. Regulamentul cuprinde aspecte precum:

- Evitarea deschiderii curente a ferestrelor
- Evitarea păstrării deschise pe perioade îndelungate a ușilor de intrare
- Utilizarea continuă a instalației de ventilare în parametri adaptați condițiilor de utilizare
- Setarea termostatelor la valoarea de maxim 20°C în perioada de încălzire
- Setarea termostatelor la valoarea de maxim 25°C în perioada de răcire
- Utilizarea contribuției sistemelor de umbrire existente (draperii interioare) pentru evitarea supraîncălzirii în perioadele de vară

În primul an de utilizare s-au constatat următoarele deficiențe în înțelegerea fenomenelor specifice clădirilor eficiente de către utilizatori:

- Neîncrederea în asigurarea necesarului de aer proaspăt de către instalația de ventilare și drept urmare utilizarea excesivă a ventilării prin deschiderea ferestrelor
- Oprirea instalațiilor de ventilare în perioadele de neutilizare a clădirii, în speranța greșită de realizare a unei economii de energie
- Păstrarea deschisă a ușilor de intrare
- Neadaptarea instalațiilor termice a încăperilor în funcție de orientarea acestora (în lipsa reglajului potrivit al termostatelor, sălile de clasă cu orientare principală către Sud au avut o temperatură interioară cu 4°C mai mare decât sălile orientate către Nord)

După experiența primului an de funcționare, prin consultarea utilizatorilor respectiv prin demonstrații practice, aceștia s-au convins de necesitatea și utilitatea respectării recomandărilor de exploatare incluse în regulamentul de ordine interioară.

5.9. Măsurători

Citirile senzorilor sunt înregistrate automat la fiecare interval de 30 de minute în stația de achiziție date. Datele stocate reprezintă citiri atât din perioada execuției clădirii, perioadă în care sistemul de monitorizare era deja parțial în funcțiune, cât și din perioada de utilizare. Prin măsurarea temperaturilor în timp real se urmărește modelarea numerică a fluxul termic aferent citirilor, calibrarea modelului numeric de calcul și determinarea pierderilor de energie reale. Unul dintre

scopurile principale ale implementării sistemului de monitorizare este să ofere date prin care să se poată fi generate modele calibrate pe baza consumurilor reale.

Până în prezent, procesarea datelor s-a realizat doar parțial din perioada execuției datorită volumului foarte mare de date. În figurile de mai jos sunt prezentate ca exemplu înregistrările a trei senzori de temperatură pentru o secțiune de perete exterior și una de la nivelul unei grinzi de soclu perimetrice, ambele amplasate pe fațada Vest în zona intrării principale. Datele prezentate sunt înregistrările pe parcursul a 24 de ore, într-o zi de primăvară când instalațiile termice ale clădirii nu erau funcționale.

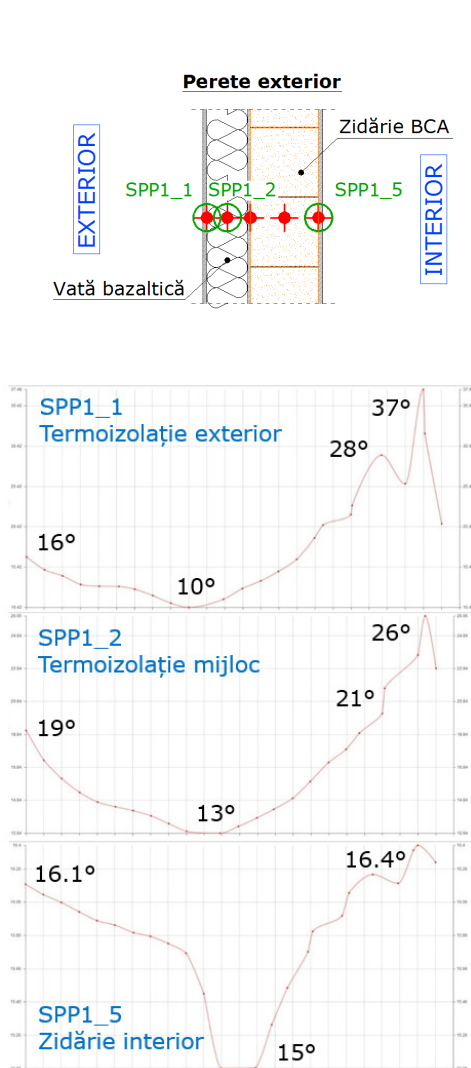


Figura 5.59 - Diagrame temperaturi măsurate senzori perete exterior

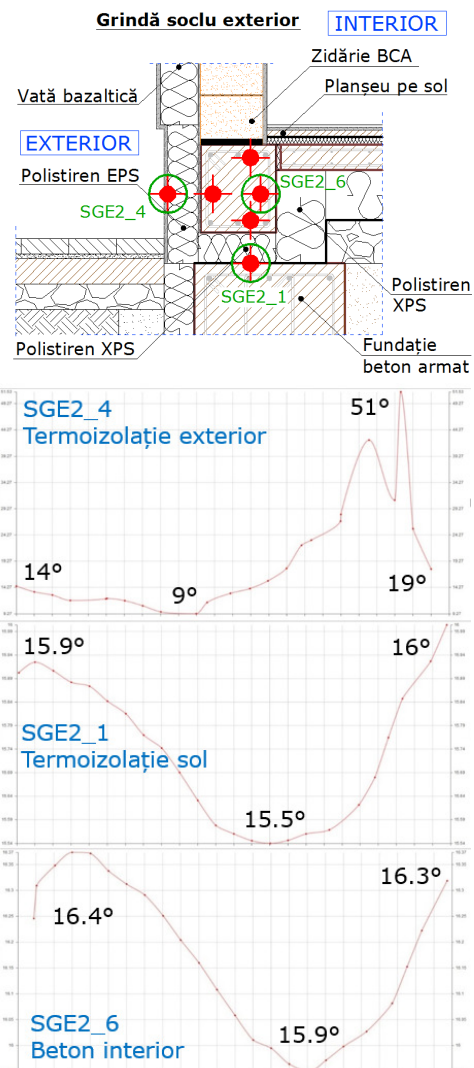


Figura 5.60 - Diagrame temperaturi măsurate senzori planșeu pe sol - grindă soclu ext

În cazul peretelui exterior, se constată diminuarea variației temperaturii înregistrate, dinspre mediul exterior spre mediul interior. Variația temperaturii suprafeței exterioare, care este semnificativ influențată și de radiația solară directă, este de 27°C iar pentru suprafața interioară este de doar 1,4°C. Diferența dintre temperaturile exterioare și interioare pe perioada nopții este de 5°C, în condițiile neutilizării instalațiilor termice.

În cazul grinzii de soclu, concluziile interpretării citirilor sunt similare în ceea ce privește variația temperaturii înregistrate de la exterior spre interior. Variația temperaturii suprafeței exterioare este de 42°C iar pentru suprafața interioară este de doar 0,5°C. Diferența dintre temperaturile exterioare și din interiorul betonului pe perioada nopții este de 6,9°C, în condițiile neutilizării instalațiilor termice.

Valorile temperaturilor înregistrate și prezentate anterior demonstrează că detaliile propuse pentru izolarea termică sunt corespunzătoare. Diferența dintre valorile maxime a temperaturilor suprafețelor exterioare este datorată expunerii mai mari a grinzii de soclu și umbririi considerabile a peretelui exterior de către planșeul de peste intrarea principală.

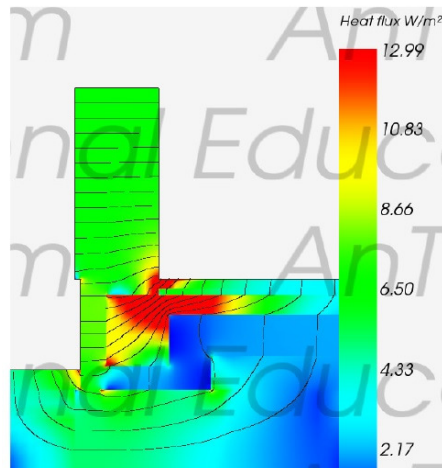


Figura 5.61 - Exemplu distribuție flux termic prin modelare numerică pentru placă pe sol – grindă soclu exterior [142]

6. EVALUAREA CICLULUI DE VIAȚĂ

Impactul asupra mediului a clădirii de învățământ analizate s-a evaluat prin alegerea determinării emisiilor de CO₂ pe durata ciclului de viață, în etapa de execuție și de utilizare [144]. Ciclul de viață definit pentru clădirea analizată este alcătuit din producția și punerea în operă a cantităților reale de materialelor pentru construirea clădirii și consumurile de energie calculate pe durata a 50 ani de utilizare [145].

6.1. Date de intrare

Pentru a determina efectele soluțiilor tehnice de eficiență energetică la clădirile de învățământ, construcția analizată este comparată cu două tipuri de clădiri de referință: V3 definit și prezentat în Cap. 4, respectiv V5 definit și prezentat în continuare.

Clădirile V3 și V5 diferă de clădirea analizată, în principal, prin utilizarea centralelor în condensatie pe gaze naturale în detrimentul pompelor de căldură și prin performanțele termice ale elementelor de anvelopă, care sunt egale cu valorile minime cerute de metodologia de calcul națională [20]. În ceea ce privește răcirea, cele două tipuri de clădiri de referință (V3 și V5) asigură această utilitate doar parțial și utilizează sisteme independente cu unități tip multisplit, cu coeficienți de performanță inferioare. Nivelul de confort asigurat de clădirea V5 este inferior celorlaltor două datorită lipsei instalației de ventilare mecanică și răcirea parțială a spațiilor. Caracteristicile și consumurile celor trei tipuri de clădiri sunt prezentate în Tabelul 6.1 și 6.2.

Tabelul 6.1 - Caracteristici de dotare a celor trei tipuri de clădiri

	Clădire analizată	Clădire V3	Clădire V5
Sursă încălzire	pompe de căldură cu funcționare pe energie electrică	centrală în condensatie gaze naturale	
Sursă ACM		unități multisplit energie electrică	
Sursă răcire			
Acoperire sistem răcire	100%	75%	50%
Sursă ventilare mecanică	energie electrică	energie electrică	-
Sursă baterie CTA	pompe de căldură		
Sursă corpuri iluminat	LED	fluorescent	incandescent
Performanță termică elemente de anvelopă	ridicată	minimă	
Etanșitate anvelopă	ridicată	medie	
Performanță energetică ventilatoare, pompe de circulație, VCV	ridicată	medie	
Randament recuperare de căldură CTA	mediu	scăzut	-
Grosime termoizolație conduțe și dotări CT	ridicată	medie	
Performanță energetică componente înlocuite	ridicată	medie	scăzută

Tabelul 6.2 - Consumurile specifice de energie finală a celor trei tipuri de clădiri

	Clădire analizată	Clădire V3	Clădire V5
	[kWh/m ² an]		
Consum încălzire	17,86	112,00	
Consum ACM	13,13	40,40	
Consum răcire	4,35	7,50	10,00
Consum ventilare mecanică	9,07	34,00	-
Consum iluminat	3,61	12,00	15,00

6.2. Amprenta de carbon a etapei de execuție

Procesele luate în calcul pentru determinarea impactului etapei de execuție cuprind materialele structurale, de compartimentare și închidere, de finisaje dar și transportul acestora pe șantier [146]. Componentele instalațiilor nu sunt luate în considerare. Determinarea amprentei celor trei tipuri de clădiri s-a determinat utilizând programul de calcul dezvoltat de Environment Agency UK [143], respectiv bazele de date al amprentelor de carbon ale materialelor de construcție al Universității din Bath [147] și al British Cement Association [148]. Lista de materiale, cantitățile acestora, factorii de emisie și calculul amprentelor de carbon sunt prezentate în Tabelul C7.1 și C7.2 din Anexa 7.

Tabelul 6.3 - Caracteristici de dotare a celor trei tipuri de clădiri

Material	Clădirea analizată		Clădirea V3 și V5	
	amprentă [tone CO ₂]	fracțiune [%]	amprentă [tone CO ₂]	fracțiune [%]
Materiale din carieră	295,3	17	295,3	18
Material lemnos	18,0	1	18,0	1
Betoane, mortare și ciment	847,8	50	847,8	52
Metale	220,9	13	220,9	14
Materiale plastice	48,7	3	48,7	3
Sticlă	21,1	1	18,9	1
Diverse	85,0	5	26	2
Finisaje	129,9	8	129,9	8
Transport materiale	23,1	1	23,0	1
Total	1689,8	100	1628,5	100

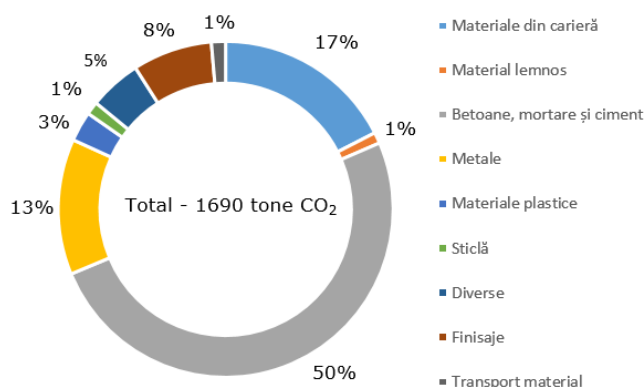


Figura 6.1 - Amprenta de carbon în etapa de construire a clădirii analizate

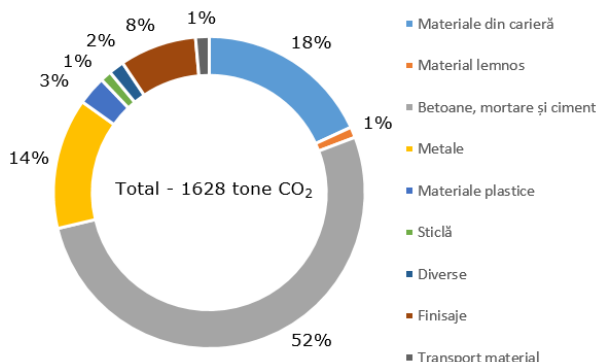


Figura 6.2 - Amprenta de carbon în etape de construire a clădirilor V3 și V5

Amprenta de carbon a clădirii analizate este mai mare cu 4% decât a celorlalte două tipuri de clădiri de referință (V3 și V5). Diferențele sunt datorate de cantitățile mai mari de termoizolare și de sticlă ale clădirii analizate.

6.3. Evoluția consumurilor de energie finală și primară

Consumurile de energie finală ale celor trei tipuri de clădiri analizate s-a determinat în baza unor scenarii de înlocuire a componentelor principale ale instalațiilor. Principiul de calcul implică raportarea procentuală a intervențiilor la consumurile specifice din primul an de utilizare. Durata de viață a componentelor (D_v) este perioada după care se consideră necesară înlocuirea acestora. Pe parcursul duratei de viață, s-a stabilit un interval de timp în care randamentul componentelor este mai redus datorită vechimii acestora (η_r), prin care se majorează procentual (a_r) consumurile specifice. Înlocuirile periodice sunt considerate îmbunătățiri ale consumurilor prin prisma evoluției tehnologice respectiv prin performanțe superioare ale componentelor. Efectele deteriorării performanței termice a elementelor de anvelopă prin îmbătrânire au fost luate în calcul la determinarea consumurilor de energie pentru încălzire. Începând cu anul 10 de utilizare, s-a considerat majorarea acestor consumuri cu 5, 8, 10 și 12%, la fiecare 10 ani. Efectele încălzirii globale [150] a fost luat în calcul prin scăderea proporțională a necesarului de energie pentru încălzire, până la valoarea de 8% în anul 50 de utilizare. Calculul consumurilor anuale de energie finală sunt prezentate în Tabelul C7.3, C7.4 și C7.5 din Anexa 7.

Tabelul 6.4 - Scenariu înlocuirii elemente - Clădire analizată

Componente	D_v	η_r	a_r	Înlocuire				
				1	2	3	4	5
	[ani]	[%]	[%]					
Pompe de căldură	20	5	+1	-8	-15	-		
Pompe de circulație	10	0	0	-2	-2	-3	-3	-3
Termoizolație țevi CT	30	10	+1	-1	-			
VCV	30	5	-1	-1	-			
Termoizolație țevi ACM interior	50	30	+2	-				
Obiecte sanitare	25	15	+1	0	-			
Ventilatoare	15	5	+5	-5	-10	-15	-	
CTA	30	0	0	0	-			
Corpuri iluminat	25	5	-5	-10	-			

Tabelul 6.5 - Scenariu înlocuirii elemente – Clădire V3

Componente	D _v	η _r	a _r	Înlocuire					
				1	2	3	4	5	6
	[ani]	[%]	[%]						
Centrală gaze nat.	15	5	+1	-3	-5	-8	-		
Pompe de circulație	8	0	0	-2	-2	-3	-3	-3	-3
Termoizolație țevi CT	30	10	+1	-1	-				
VCV	35	5	-1	-1	-				
Termoizolație țevi ACM interior	50	30	+2	-					
Obiecte sanitare	25	15	+1	0	-				
Unități multisplit	20	5	+1	-8	-12	-			
Ventilatoare	12	3	+5	-5	-10	-15	-18	-	
CTA	24	0	0	0	-				
Corpuri iluminat	15	10	-5	-10	-20	-20	-		

Tabelul 6.6 - Scenariu înlocuirii elemente – Clădire V5

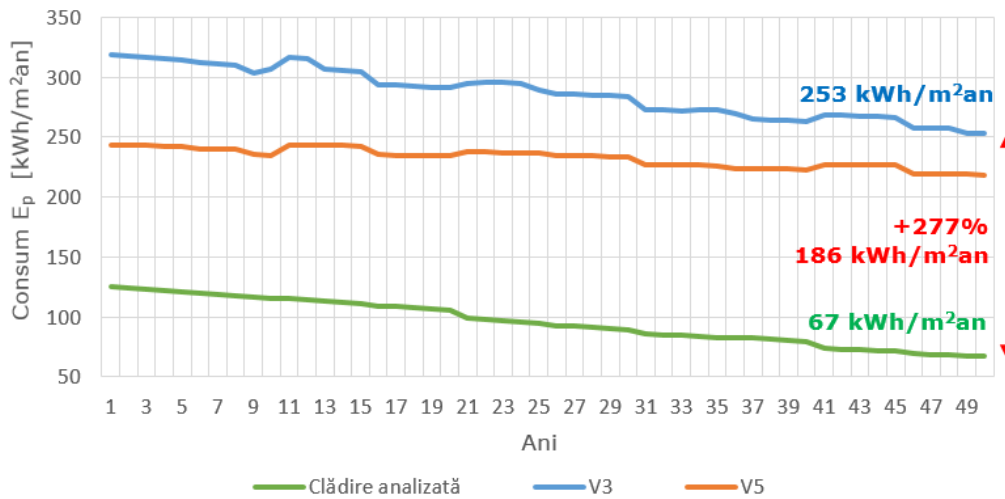
Componente	D _v	η _r	a _r	Înlocuire					
				1	2	3	4	5	6
	[ani]	[%]	[%]						
Centrală gaze nat.	15	5	+1	-3	-5	-8	-		
Pompe de circulație	8	0	0	-2	-2	-3	-3	-3	-3
Termoizolație țevi CT	30	10	+1	-1	-				
VCV	35	5	-1	-1	-				
Termoizolație țevi ACM interior	50	30	+2	-					
Obiecte sanitare	25	15	+1	0	-				
Unități multisplit	20	5	+1	-8	-12	-			
Corpuri iluminat	15	10	-5	-10	-20	-20	-		

În baza scenariului de înlocuire cu componente de performanță tehnică superioară și a efectelor creșterii temperaturilor medii anuale, consumurile de energie finală a celor trei variante de clădiri sunt descendente în timp. Proporția scăderii consumurilor specifice, pe intervalul de timp analizat sunt prezentate în Tabelul 6.7.

Tabelul 6.7 - Evoluția în timp a consumurilor de energie finală

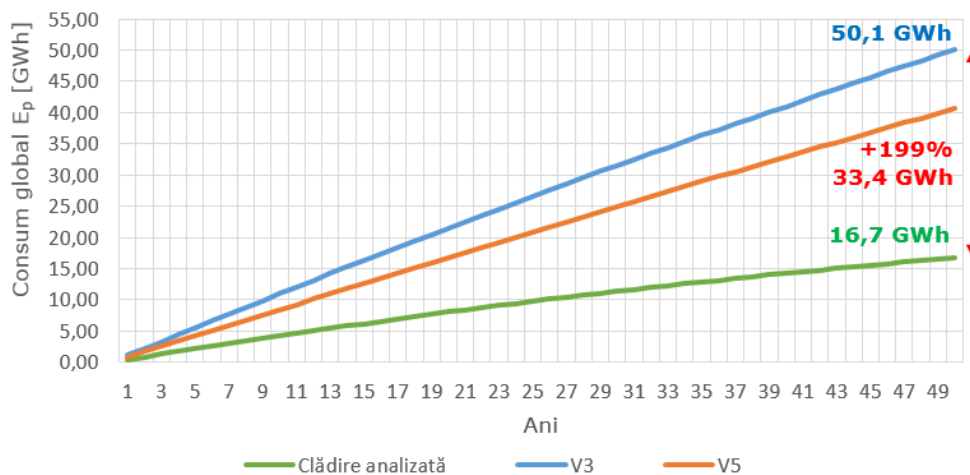
Clădire analizată	Clădire V3		Clădire V5	
Energie electrică	Gaze naturale	Energie electrică	Gaze naturale	Energie electrică
-16,5%	-9%	-22,2%	-9%	-15,3%

Evoluția în timp a consumurilor de energie primară este determinată prin considerarea consumurilor de energie finală determinate anterior și factori variabili de conversie în energie primară a energiei electrice ($f_{p,el}$) și a gazelor naturale ($f_{p,gaz}$). Variația în timp a $f_{p,el}$ are la bază rezultatul studiului realizat de Institutul Fraunhofer [18] în 2016. Scăderea procentuală anuală a valorii $f_{p,el}$ luată în calcul s-a determinat prin media diferențelor anuale ale celor patru metode de calcul, între anii 2020 și 2030. Variația în timp a $f_{p,gaz}$ s-a determinat prin creșterea anuală cu 0,25%. Creșterea valorii $f_{p,gaz}$ se datorează promovării la nivel global a utilizării energiilor regenerabile și a epuizării combustibililor fosili existenți în cantități limitate. Calculul consumurilor anuale de energie primară sunt prezentate în Tabelul C7.6, C7.7 și C7.9 din Anexa 7.

Figura 6.3 - Evoluția în timp a consumului E_p

În baza scenariului de evoluție a $f_{p,el}$ și $f_{p,gaz}$, consumurile de energie primară ale celor trei variante de clădiri sunt descendente în perioada considerată. Creșterile locale ale consumurilor clădirilor sunt datorate diminuării performanțelor termice ale elementelor de anvelopă. Aceste creșteri sunt mai pronunțate în cazul clădirilor V3 și V5 față de clădirea analizată, din cauza diferențelor semnificative între rezistențele la transfer termic ale elementelor de anvelopă ale acestora. La sfârșitul perioadei analizate, diferența de consum de energie primară între clădirea analizată și clădirea V3 este de 186 kWh/m²an, respectiv 277%.

Din punct de vedere ale consumurilor globale, după 50 de ani de utilizare, economia de energie primară a clădirii analizate față de clădirea V3 este de 33,4 GWh.

Figura 6.4 - Consumurile globale E_p

6.4. Evoluția emisiilor de CO₂

Pentru determinarea evoluției de emisii specifice de CO₂, factorii de emisie pentru energie electrică ($f_{CO_2,el} = 0,299$) și gaze naturale ($f_{CO_2,gaz} = 0,205$) sunt luați în calcul în conformitate cu valorile furnizate de metodologia națională de calcul [20]. La sfârșitul perioadei analizate, diferența de emisii de CO₂ între clădirea analizată și clădirea V3 este de 38,3 kg CO₂/m²an. Proportia diferențelor este mai scăzută decât în cazul consumului de energie primară datorită factorului de emisie defavorabil a energiei electrice în raport cu cel al gazelor naturale. Calculul emisiilor anuale sunt prezentate în Tabelul C7.6, C7.8 și C7.10 din Anexa 7.

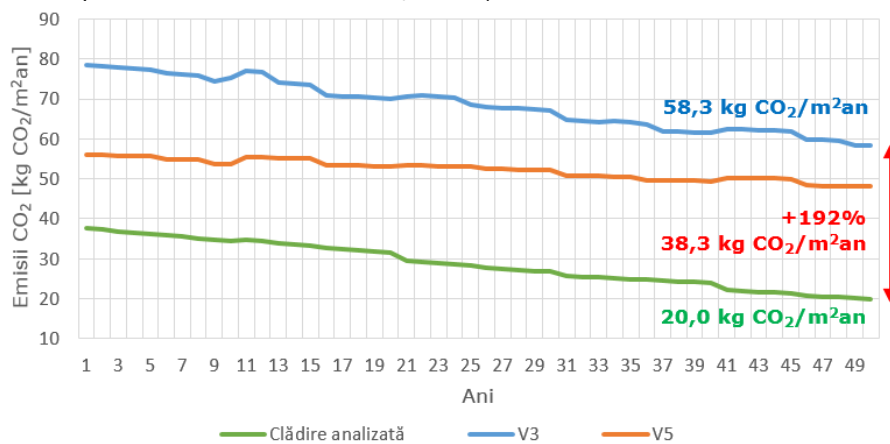


Figura 6.5 - Evoluția în timp a E_{CO2}

Din punct de vedere ale emisiilor globale de CO₂, în urma a 50 de ani de utilizare, cantitatea de emisie evitată a clădirii analizate față de clădirea V3 este de 6966 tone CO₂.

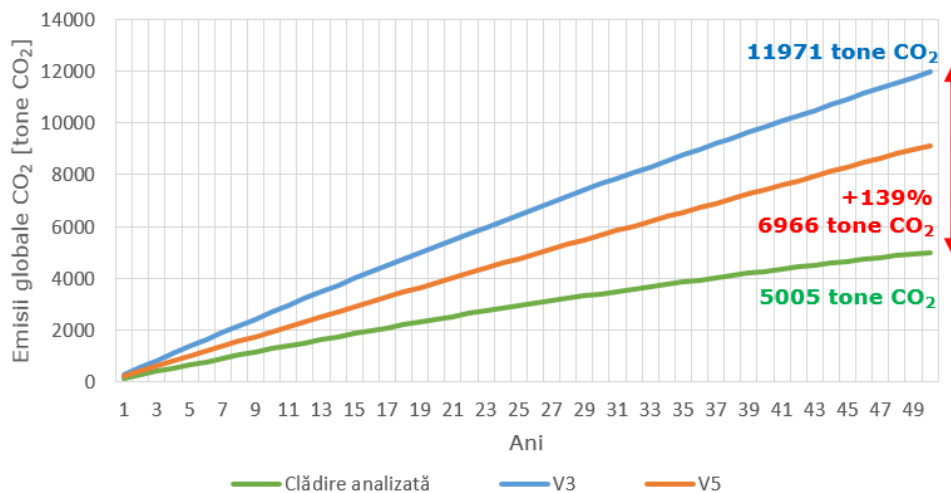


Figura 6.6 - Emisiile globale E_{CO2}

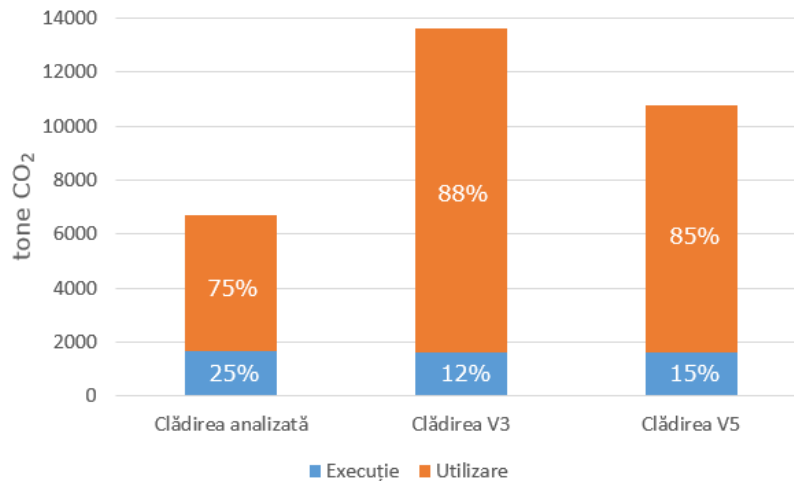


Figura 6.7 - Impactul asupra mediului prin emisiile de CO₂ pentru cele trei tipuri de clădiri

Emisiile de CO₂ ale clădirii analizate sunt semnificativ mai reduse decât ale celor două tipuri de clădiri de referință. Astfel, soluțiile tehnice de eficiență energetică adoptate la clădirea de învățământ îmbunătățesc impactul asupra mediului în raport cu alte tipuri de soluții. În toate cele trei variante, consumurile de energie pe durata de utilizare reprezintă fracțiunea predominantă a impactului asupra mediului.

6.5. Costul global

Determinarea costurilor globale ale celor trei tipuri de clădiri urmărește să analizeze fezabilitatea financiară a soluțiilor tehnice de eficiență energetică, pe durata a 50 ani de utilizare. Din punct de vedere al nivelului de confort asigurat, clădirea analizată și V3 sunt similare, pe când clădirea V5 (în lipsa instalației de ventilare mecanică și dotarea cu instalație de răcire parțială) oferă un nivel de confort semnificativ inferior.

Componentele costului global [149] care s-au luat în calcul cuprind:

- Costurile inițiale de investiție
- Costurile anuale de întreținere (contravaloarea consumurilor de energie finală pentru încălzire, ACM, răcire, ventilare mecanică și iluminat)
- Costurile anuale de mentenanță
- Costurile anuale de înlocuiri

Pentru cele trei variante de clădire, investiția necesară pentru construirea clădirii sunt prezentate în Tabelul 6.8. Prețul brut al clădirii analizate luat în calcul este în conformitate cu cel real, în baza căruia s-a pus în operă. Prețurile specifice sunt raportate la aria desfășurată de 4000 m² a clădirii.

Tabelul 6.8 - Costuri inițiale de investiție

Clădire analizată		Clădire V3		Clădire V5	
Specific [€/m ²]	Total [mii €]	Specific [€/m ²]	Total [mii €]	Specific [€/m ²]	Total [mii €]
672,35	2689,4	606,90	2427,6	571,20	2284,8

Evoluția prețului unitar al energiei electrice are la bază creșterea medie anuală în România de 0,85%, conform datelor statistice Eurostat [23]. Evoluția prețului unitar al gazelor naturale are la bază creșterea medie anuală în statele membre UE [23] și estimarea Băncii Mondiale privind creșterea prețului unitar în Europa între anii 2020 – 2030 [25], de 2%. Prețurile unitare brute ale energiei electrice (0,6494 RON/kWh) și gaze naturale (0,1610 RON/kWh) considerate în calcul sunt cele din datele statistice Eurostat [23] pentru a doua jumătate a anului 2019. Conversia costurilor de întreținere, mentenanță și înlocuire, evaluate în RON, s-a făcut cu un curs mediu RON/EURO de 4,85. Calculul costurilor anuale de întreținere sunt prezentate în Tabelul C7.6, C7.7 și C7.9 din Anexa 7.

Costurile lucrărilor de mentenanță sunt în conformitate cu valoarea ofertelor de mentenanță ale clădirii analizate din 2017, sunt actualizate cu creșterea prețurilor aferente anului 2019 și sunt luate în calcul anual pentru fiecare variantă. În cazul clădirilor V3 și V5, mentenanța pompelor de circulație, a instalației de ventilare și a corpurilor de iluminat sunt mai mari decât la clădirea analizată datorită performanțelor tehnice inferioare și a timpului necesar de intervenție mai mare.

Costurile lucrărilor de înlocuire sunt în conformitate cu valoarea lucrărilor executate în etapa de implementare a clădirii analizate din 2015-2017, sunt actualizate cu creșterea prețurilor aferente anului 2019 și sunt luate în calcul și costurile de desfacere ale componentelor înlocuite. În cazul clădirilor V3 și V5, înlocuirea pompelor de circulație, ventilatoarelor și a centralelor de tratare a aerului reprezintă costuri mai reduse datorită ipotezei de alegere a unor echipamente cu performanțe tehnice inferioare, respectiv cost de achiziție mai redus. Diferențele de capacitate între instalațiile de răcire între clădirile V3 și V5 se regăsesc și în costurile de mentenanță și înlocuire.

Condițiile de înlocuire a corpurilor de iluminat ale clădirilor V3 și V5 implică schimbarea tuturor surselor la fiecare 5 ani, respectiv schimbarea completă a corpurilor de iluminat la fiecare 20 ani. În cazul corpurilor de iluminat cu surse LED a clădirii analizate, s-a considerat doar schimbarea completă a acestora la fiecare 25 ani. Tipurile de activități de mentenanță și înlocuire, frecvența intervențiilor (P_{ANI}) și valorile lucrărilor în RON (V_{RON}) sunt prezentate în Tabelul 6.9.

Tabelul 6.9 - Scenariu costuri mentenanță și înlocuiri elemente

Activitate	Clădire analizată		Clădire V3		Clădire V5	
	P_{ANI}	V_{RON}	P_{ANI}	V_{RON}	P_{ANI}	V_{RON}
Mentenanță pompe căldură	1	3500	-	-	-	-
Înlocuire pompe căldură	20	198750				
Înlocuire echipamente centrală	15	66250				
Denisipare foraje apă-apă	5	4000				
Mentenanță centrală gaze nat.	-	-	1	1000	1	1000
Înlocuire centrală gaze nat.			15	172000	15	172000
Mentenanță unități multisplit			1	2100	1	1575
Încărcare freon unități multisplit			5	20000	5	10000
Înlocuire unități multisplit			20	120000	20	84000
Mentenanță pompe circulație	1	1700	1	1870	1	1870
Înlocuire pompe circulație	10	76200	8	64770	8	64770
Înlocuire termoizolație țevi centrală termică	30	10500	30	10500	30	10500
Mentenanță ventilație	1	3700	1	3850	-	-
Înlocuire ventilatoare	15	80000	12	68800		
Înlocuire centrale tratare aer	30	170000	24	146200		
Mentenanță ventiloconvectoare	1	2100	1	1890	1	1890

172 Costul global - 6.5

Înlocuire ventiloconvectoare	30	378750	35	378750	30	378750
Mentenanță corpuri iluminat	1	5200	1	6240	1	6240
Înlocuire corpuri iluminat	25	183750	20	45050	20	45050
Înlocuire surse iluminat		-	5	13125	5	13125

Costurile cu manopera, materialele și echipamentele necesare executării lucrărilor de mentenanță și înlocuire sunt luate în calcul cu o creștere anuală de 2%. Calculul costurilor anuale de mentenanță și înlocuiri sunt prezentate în Tabelul C7.11, C7.12, C7.13, C7.14, C7.15 și C7.16 din Anexa 7.

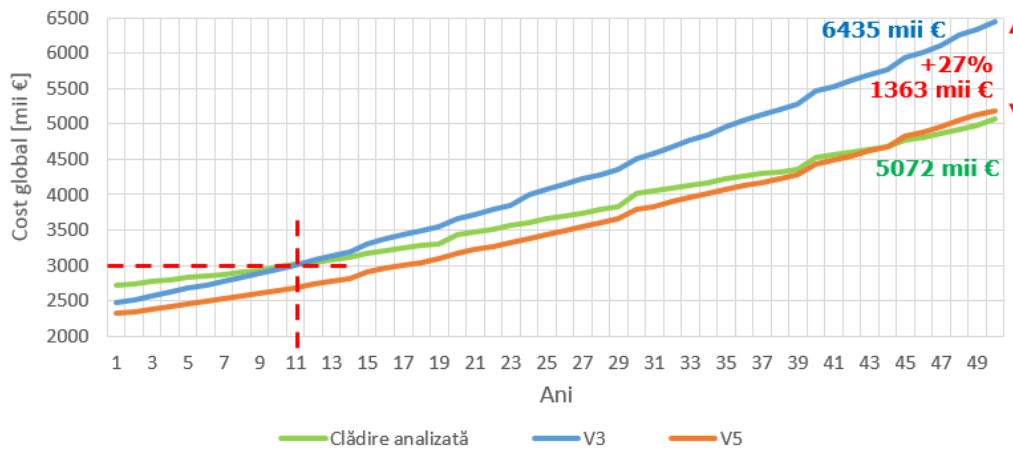


Figura 6.8 - Evoluția în timp a costurilor globale

La sfârșitul perioadei analizate de 50 de ani, diferența costului global între clădirea analizată și clădirea V3 este de 1363 mii €, respectiv 27%. Perioada de amortizare a investițiilor suplimentare de 10% pentru implementarea soluțiilor tehnice de eficiență energetică ale clădirii analizate este de 11 ani. Creșterile locale pronunțate a costurilor anuale sunt determinate de înlocuirile componentelor instalațiilor la sfârșitul de viață a acestora. În cazul clădirii V5, care asigură un nivel de confort inferior (nu este dotată cu instalație de ventilare mecanică iar instalația de răcire este parțială), intersecția costului global cu cel al clădirii analizate se realizează după 44 ani de utilizare. Deși costurile de asigurare a utilităților clădirii analizate sunt mai reduse decât ale clădirilor V3 și V5, costurile mai ridicate de mentenanță și înlocuiri prelungește perioada de amortizare.

7. CONCLUZII

7.1. Concluziile cercetării

Acest capitol prezintă concluziile principale ale cercetării dezvoltate în prezenta lucrare. Activitatea de cercetare vine în continuarea studiilor existente în domeniul performanței energetice și în evaluarea ciclului de viață ale clădirilor. Lucrarea are la bază o clădire de învățământ din România, proiectată și executată utilizând principii și soluții tehnice prin care să se obțină performanțe energetice și confort interior ridicat, la care s-a implementat un sistem de monitorizare în timp a parametrilor ce definesc comportarea energetică. Prezentarea clădirii cuprinde detalii privind soluțiile tehnice de realizare a anvelopei termice și a instalațiilor, atât la nivel de proiectare cât și la nivel de execuție. Calculul performanței energetice s-a realizat în conformitate cu metodologia de calcul națională [20] iar rezultatele sunt comparate cu valorile unor clădiri de referință. Prezentarea sistemului de monitorizare cuprinde detalii privind strategia de monitorizare și instrumentele de măsurare prevăzute pentru anvelopă, instalații, parametri climatici interiori și exteriori, respectiv comportamentul utilizatorilor. Valorile consumurilor energetice reale contorizate ale clădirii sunt comparate cu cele calculate în baza metodologiei. Sunt de asemenea prezentate aspecte privind măsurători in-situ, activități de control al calității pe parcursul implementării, precum și prelucrări parțiale ale datelor de monitorizare înregistrate. Impactul asupra mediului este determinat prin evaluarea ciclului de viață pentru o perioadă de 50 ani, prin calculul amprentei de carbon și a emisiilor de CO₂ ale clădirii analizate. Costul global este determinat prin considerarea tuturor costurilor de la începerea execuției clădirii și până la parcurgerea perioadei de utilizare normale. Rezultatele privind impactul asupra mediului și al costului global al clădirii analizate sunt comparate cu cele ale unor clădiri de referință.

Concluziile principale stabilite în urma realizării activității de cercetare și interpretarea rezultatelor sunt:

1. Evoluția cercetării și studiilor în domeniul eficienței energetice a clădirilor a arătat că îmbunătățirea performanțelor energetice a acestora poate să reprezinte un instrument corespunzător pentru îndeplinirea obiectivelor strategice de reducere a impactului asupra mediului până în anul 2050. Pentru a reduce impactul negativ asupra mediului, principiile clasice după care se proiectează, execută și utilizează clădirile trebuie să fie schimbate.

2. Factorul de transformare a energiei electrice în energie primară reprezintă un parametru esențial în contextul energetic global. Având în vedere faptul că strategiile globale pe termen lung implică utilizarea energiei electrice din surse regenerabile în detrimentul combustibililor fosili și faptul că raportarea performanțelor energetice a clădirilor la cerințele minime se face prin intermediul consumului de energie primară, este esențială dezvoltarea metodelor de calcul a factorului de energie primară, respectiv reducerea valorilor pentru energia electrică.

3. Pe durata existenței combustibililor fosili, raportul dintre prețul unitar al energiei electrice și al gazelor naturale reprezintă un factor decizional în alegerea sursei de energie a clădirilor. În primul semestru al anului 2020 [23], raportul era

de 2,83 în cazul mediei statelor membre UE și de 4,39 în cazul României. Alegerea pompelor de căldură alimentate electric în detrimentul centralelor în condensatie pe gaze naturale devine fezabilă din punct de vedere al costului de utilizare atunci când coeficientul mediu de performanță al pompei de căldură este corelat cu acest raport.

4. Propunerea de modificare a metodologiei de calcul națională [69] aduce îmbunătățiri la reglementarea tehnică în vigoare [20] din punctul de vedere al procedurilor de calcul, al datelor puse la dispoziție, al transparenței și al cerințelor tehnice privind performanța energetică a clădirilor. Deși adoptarea viitoare a propunerii de modificare ar reprezenta o evoluție privind calculul performanței energetice, complexitatea procedurilor de calcul, respectiv volumul de date și cunoștințe de specialitate necesare pentru parcurgerea acestora implică dependență de programe numerice de calcul automat. Fezabilitatea aplicării corecte și eficiente, pe scară largă, a unor proceduri de calcul cu o complexitate semnificativă este însă redusă. Se propune crearea unor metode simplificate de încadrare în clase energetice a consumurilor clădirilor și de elaborare a certificatelor energetice, respectiv eliminarea obligativității aplicării procedurilor complexe de calcul pentru construcții de categorie de importanță normală și redusă.

5. Performanțele energetice și confortul interior al clădirilor care respectă principiile și cerințele tehnice de Casă Pasivă și nZEB, sunt semnificativ mai bune decât ale clădirilor realizate utilizând soluții clasice și tradiționale.

6. Sistemele de monitorizare a performanței și a consumurilor energetice ale clădirilor pot să reprezinte un instrument potrivit pentru calibrarea modelelor numerice de calcul, dar și pentru a analiza comportarea în timp real a clădirilor și efectuarea unui bilanț energetic cu date reale.

7. Procedurile de calcul privind evaluarea ciclului de viață oferă posibilitatea proiectării în timp a comportării clădirilor privind consumurile de energie, impactul asupra mediului, dar și a costurilor globale. Metoda evaluării ciclului de viață poate fi utilizată pentru compararea clădirilor realizate cu diferite soluții tehnice, dar și pentru a oferi asistență factorilor decizionali privind performanțele clădirilor pe termen lung. Este necesară completarea bazelor de date existente cu materiale și componente de construcție suplimentare, în baza proceselor tehnologice locale, pentru îmbunătățirea preciziei și încrederii studiilor.

8. Consumul total de energie finală al clădirii, calculat în baza metodologiei de calcul națională [20], este de 48,02 kWh/m²an, din care 17,86 kWh/m²an pentru încălzire, 13,13 kWh/m²an pentru prepararea apei calde menajere, 4,35 kWh/m²an pentru răcire, 9,07 kWh/m²an pentru ventilare mecanică, 3,61 kWh/m²an pentru iluminat. Distribuția lunară a consumurilor de energie electrică totală a clădirii sunt prezentate în Figura 7.1. Valorile lunare cele mai mari sunt în sezonul de încălzire.

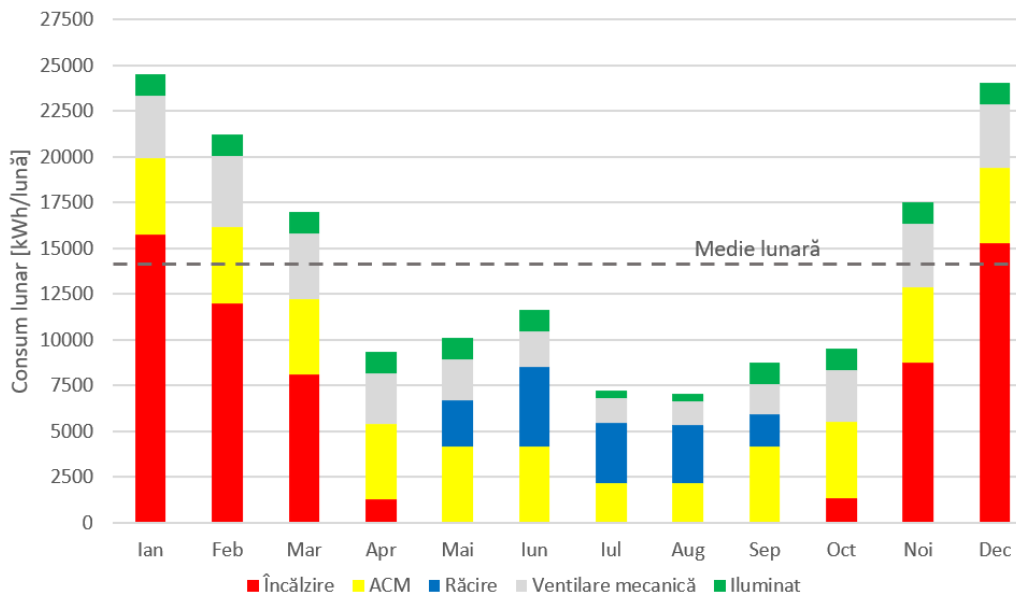


Figura 7.1 - Distribuție lunară consumuri totale de energie

9. Consumul total de energie primară al clădirii, calculat în baza metodologiei de calcul națională [20], este de 125,81 kWh/m²an. Această valoare depășește cu puțin (+4,8%) limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ conform cerinței de Casă Pasivă de tip Classic Standard (120 kWh/m²an) [71]; similar, consumul se situează cu aproximativ +9,4% peste limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ în zona climatică II, pentru încadrarea în condițiile clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB), conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (115 kWh/m²an) [69]. Consumul total de energie primară al clădirii se încadrează în clasa energetică A, conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (90...127 kWh/m²an) [69]. În cazul noilor încadrări ale Caselor Pasive, necesarul de energie primară regenerabilă a clădirii este de 81,63 kWh/m²an care depășește cu aproximativ 8,8% limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ tipice, conform cerinței de Casă Pasivă de tip PHI Low Energy Building (75 kWh/m²an) [71]. Diferențele reduse dintre performanța energetică a clădirii și cerințele tehnice de încadrare prezentate se pot elimina prin dotarea acestora cu o instalație locală de producere a energiei electrice cu panouri fotovoltaice.

10. Consumurile specifice de energie finală și de energie primară, respectiv emisiile de CO₂ ale clădirii sunt semnificativ mai reduse decât ale altor clădiri cu funcțiune similară, realizate cu soluții tehnice tradiționale și care sunt caracterizate de consumurile medii ale fondului construit de învățământ existent. Diferențele între clădirea analizată și varianta clădirii realizată cu soluții tehnice tradiționale și surse energetice bazate de gaze naturale, sunt de +328% în cazul energiei finale, de +153% în cazul energiei primare și de +109% în cazul emisiilor de CO₂; aceste date sunt prezentate în Figura. 7.2.

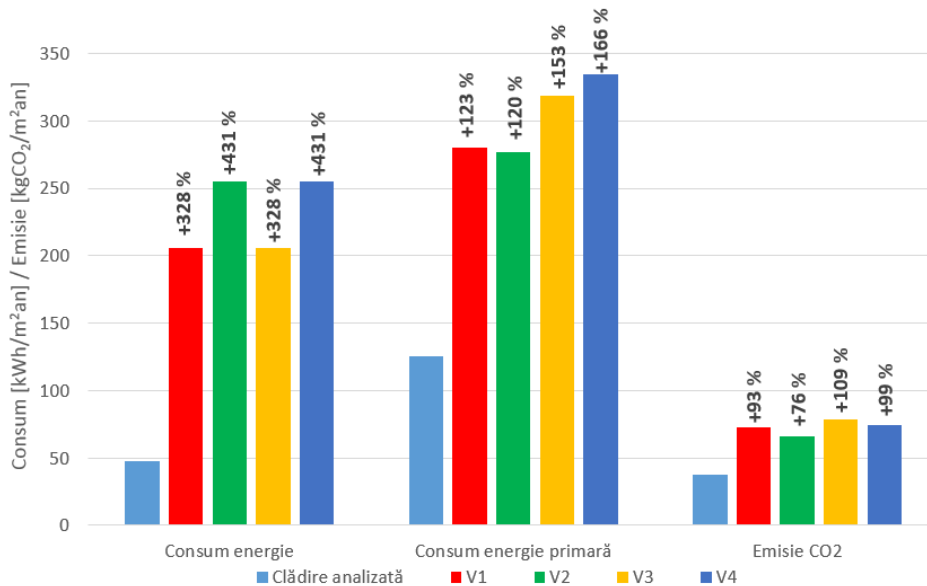


Figura 7.2 - Q_f , E_p și E_{CO_2} clădire învățământ și clădiri comparative (V1-V4)

11. Sistemul de monitorizare implementat reprezintă o sursă de date înregistrate în timp real, prin care comportarea energetică a clădirii se poate analiza în detaliu. Nivelul de complexitate, volumul și varietatea de date furnizate de sistem oferă posibilitatea studierii unei multitudini de teme de ansamblu sau de detaliu în domeniul eficienței energetice a clădirilor. Dezvoltarea temelor și continuarea activității de prelucrare a volumului considerabil de date de monitorizare necesită o echipă de cercetare multidisciplinară.

12. Valoarea consumurilor specifice de energie finală calculate în baza metodologiei de calcul ($48,02 \text{ kWh/m}^2\text{an}$) sunt de două ori mai mari decât valoarea contorizată a clădirii ($23,81 \text{ kWh/m}^2\text{an}$). Diferențele dintre temperaturile exterioare în perioada contorizată și valorile medii lunare luate în calcul, respectiv utilizarea reală a clădirii în alt regim de ocupare și încălzire decât cel din ipotezele de calcul, sunt principalele cauze ale magnitudinii diferenței de consum de energie dintre valorile contorizate și cele calculate. Rezultatele comparației sunt prezentate în Figura 7.3. Diferențele dintre valorile reale și teoretice se pot diminua prin modificarea metodologiei, prin dezvoltarea procedurilor de calcul a consumurilor de energie a clădirilor caracterizate de ocupare discontinuă cu ajutorul datelor reale monitorizate. Numărul de ore de utilizare, temperaturile interioare de confort, aporturile interne, comportamentul utilizatorilor și duratele de reîncălzire sunt date care pot fi folosite cu o precizie mai bună în modelele numerice de calcul, prin determinarea tiparelor de comportament în urma analizării și interpretării măsurătorilor sistemelor de monitorizare.

13. Consultanța de specialitate, asistența tehnică și controlul calității pe întreaga durată a procesului de implementare, urmărirea comportării în timp și instruirea utilizatorilor au fost activități esențiale pentru obținerea performanței energetice proiectate. În lipsa acestora, diferențele dintre cerințele tehnice ale proiectului tehnic și punerea lor în operă ar fi fost majore.

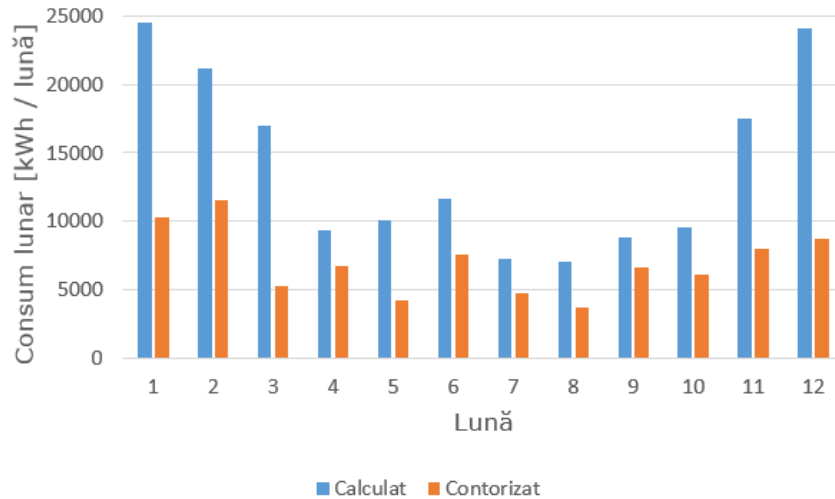


Figura 7.3 - Comparație consumuri lunare medii de energie electrică calculate și contorizate

14. Impactul asupra mediului prin amprenta de carbon și emisiile de CO₂ ale clădirii analizate, pe durata a 50 ani de utilizare, sunt semnificativ mai reduse decât cele ale clădirilor realizate cu soluții tehnice tradiționale. În toate situațiile analizate, consumurile de energie pe durata de utilizare reprezintă fracțiunea predominantă a impactului asupra mediului (Figura 7.4).

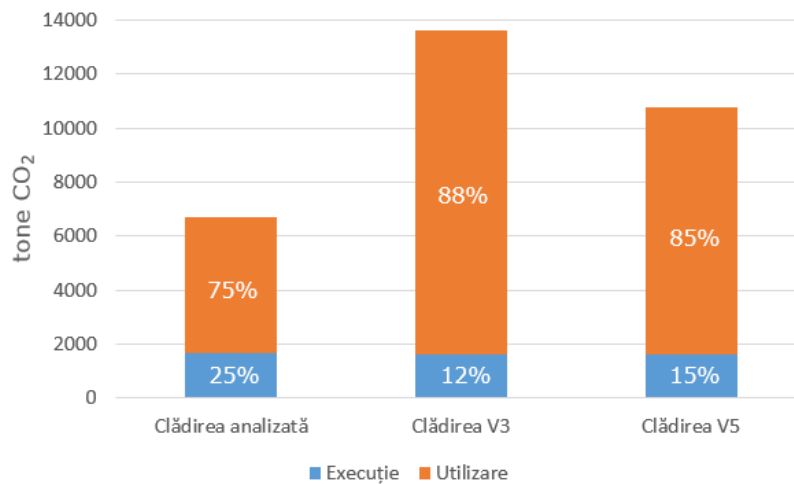


Figura 7.4 - Impactul asupra mediului prin emisiile de CO₂ a celor trei tipuri de clădiri

15. La sfârșitul perioadei analizate de 50 de ani, diferența costului global între clădirea analizată și clădirea realizată cu soluții tehnice tradiționale și cu surse de gaze naturale (V3) este de 1363 mii €, respectiv 27%. Perioada de amortizare a investițiilor suplimentare de 10% pentru implementarea soluțiilor tehnice de eficiență energetică a clădirii analizate este de 11 ani. Deși costurile de asigurare a

utilităților clădirii analizate sunt mai reduse decât ale celorlalte tipuri de clădiri (V3 și V5), costul mai ridicat de mentenanță și înlocuiri prelungește perioada de amortizare.

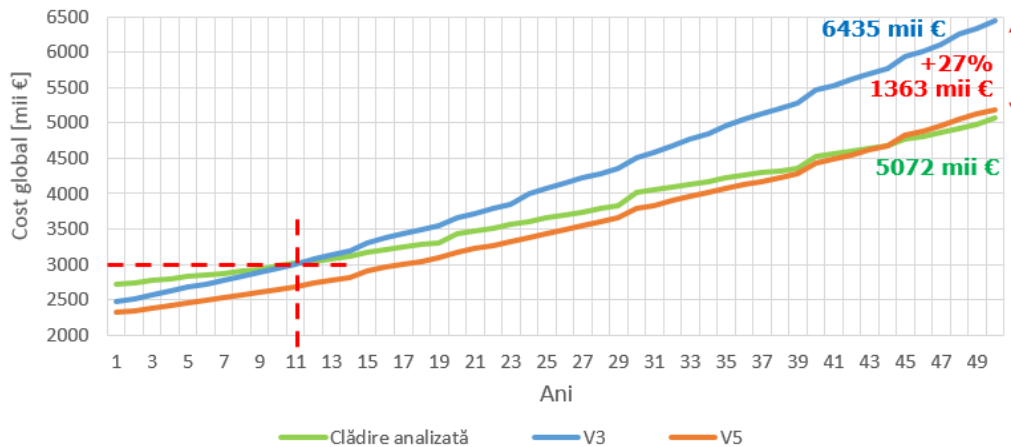


Figura 7.5 - Evoluția în timp a costurilor globale

16. Realizarea și urmărirea în exploatare a clădirii de învățământ poate să reprezinte un exemplu de bune practici pentru implementarea investițiilor similare; însă, pentru îndeplinirea obiectivelor strategice până în anul 2050 este nevoie de continuarea activității de cercetare în domeniul eficienței energetice, dezvoltarea personalului de specialitate, îmbunătățirea sistemului de control al calității și de prioritizarea implementării soluțiilor tehnice de eficiență energetică la scară largă.

7.2. Contribuții personale

Autorul consideră următoarele activități contribuțiile sale personale:

1. **Elaborare studiu preliminar pentru soluții constructive eficiente energetic**, în urma cărora investitorul a decis realizarea clădirii în această variantă în detrimentul soluțiilor tradiționale.
2. **Coordonator al echipei de proiectare, detaliere și dimensionare structură, stabilire soluții constructive inovative de eficiență energetică pentru anvelopă, manager de proiect, coordonator al echipei de asistență tehnică în etapa de execuție, instruire și consultare administrator clădire în etapa de utilizare.**
3. **Analizarea și studiul a unui număr considerabil de lucrări științifice și activități de cercetare** în domeniul performanței energetice a clădirilor.
4. **Crearea unei infrastructuri de cercetare prin implementarea sistemului de monitorizare, unică prin complexitate.** Elaborarea strategiei de monitorizare a parametrilor clădirii care definesc performanța energetică și confortul interior. Autorul a asigurat resursele necesare și a obținut sponsorizări pentru

implementarea sistemului, respectiv a coordonat o echipă de punere în operă la care au contribuit în mod permanent 5 persoane și în mod ocazional alte 8 persoane. Pentru promovarea infrastructurii de cercetare, autorul a organizat vizite tematice cu studenți și cadre didactice la clădirea de învățământ: Inginerie Civilă UPT - 2015, Ingineria instalațiilor DE MK (Debrecen) - 2016, CCI UPT - 2017. Pentru dezvoltarea și valorificarea sistemului de monitorizare, autorul a participat la redactarea unei propuneri de proiect de cercetare „Impact of Buildings ENergy EFFICIency towards a sustainable Educational environment - BENEFFICE” depus la The Romanian – EEA Research Programme 2014 – 2021 cu număr de înregistrare EEA-RO-NO-2018-0432 în care s-a urmărit dotarea sistemului de monitorizare cu elementele lipsă, dotarea clădirii cu panouri fotovoltaice pentru asigurarea consumului de energie electrică, dotarea clădirii cu o instalație de automatizare a funcționării instalațiilor termice și de ventilare, respectiv asigurarea resurselor umane pentru procesarea, analiza și interpretarea cantității voluminoase de date înregistrate de sistemul de monitorizare.

5. Organizare și concepere test de etanșeitate Blower-Door și termografieră.

6. Calculul performanței energetice a clădirii prin metode complexe utilizând un volum de date ridicat și calibrarea acestuia cu caracteristicile materialelor și detaliilor real executate. Compararea consumurilor de energie teoretice și încadrării energetice al clădirii cu valorile de referință (conform metodologiei de calcul actuale, conform Standardului de Casă Pasivă și conform propunerii de modificare a metodologiei).

7. Procesarea, analiza și interpretarea consumurilor de energie înregistrate în etapa de utilizare. Compararea consumurilor reale de energie cu valorile teoretice calculate și justificarea diferențelor dintre cele două valori.

8. Propunerea unor modificări ale metodologiei de calcul: îmbunătățirea metodei de evaluare a consumurilor de energie a clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit și cu ocupare discontinuă în baza valorilor real măsurate, schimbarea strategiei de aplicare a metodologiei de calcul în funcție de categoria de importanță a clădirii respectiv în funcție de scopul realizării certificatului energetic.

9. Susținere prezentări la conferințe și workshop-uri naționale și internaționale la: Zilele tehnice de instalații - Debrecen 2016 – „Termoizolare, punți termice și clădiri cu consum de energie aproape egal cu zero, din perspectiva inginerului structurist”, Climathon - Timișoara 2017 – „Clădire de învățământ cu consum de energie aproape egal cu zero. O soluție pentru a îmbunătăți amprenta climatică?”, Ziua Științei Maghiare - Timișoara 2017 – „Prima clădire de învățământ eficientă energetic din Europa de Est” și Climathon - Timișoara 2018 – „Lupta împotriva schimbărilor climate, clădire cu clădire”.

10. Organizare workshop Passive House Bootcamp (conferință și vizite tehnice) despre clădiri eficiente energetic la Timișoara, 15-16 martie 2019.

Această lucrare este sprijinită de Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane POSDRU/159/1.5/S/137516 finanțat din Fondul Social European și de către Guvernul României.

Această lucrare a fost parțial sprijinită de un grant al Autorității Naționale pentru Cercetare Științifică, CNDI-UEFISCDI, număr proiect PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1214 – Contract 74/2012

Pe durata studiilor, doctorandul a publicat 21 articole științifice în tematica tezei, din care 3 articole sunt ISI Journal, 1 articol este ISI proceedings și altele sunt indexate în baze de date internaționale. O parte din aceste articole științifice sunt:

Boros I., Stoian D., Stoian V., Nagy-György T., „Energy efficient school building HVAC systems monitoring plan”, *Journal of Applied Engineering Sciences*, vol. 6 (19), issue 2/2016, pp. 15-20, 2016, ISSN 2247-3769, eISSN 2284-7197, WOS:000407310100002.

Boros I., Tănasă C., Stoian V., Dan D., „Life cycle assessment and life cycle cost analysis of a nearly zero energy residential building, a case study”, *Environmental Engineering and Management Journal*, Vol. 16, No. 3, pp. 695-704, 2017, ISSN 1582-9596, eISSN 1843-3707, WOS:000403508600021, IF (2018) = 1,186 (Q4).

Ene R.C., Brata S., **Boros I.**, Dan. D., „Effect of inserted parallel air chambers in rockwool and polystyrene insulation panels”, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, Vol. 21, No. 1, pp. 202-210, 2020, ISSN 1311-5065, IF (2019) = 0,692 (Q4).

Bob C., Chendes R., Dencsak T., Bob L., **Boros I.**, „The assessment of transportation of materials by a sustainable model”, *Proceedings of Ecology, Economics, Education and Legislation Conference*, vol. I (2016), *International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM*, Albena, Bulgaria, pp. 669-676, 2016, ISSN 1314-2704, ISBN 978-619-7105-65-0.

Boros I., Nagy-György T., Dan D., „Energy efficient school building concept and constructive solutions”, *International Review of Applied Sciences and Engineering - IRASE*, Vol. 6 (2015) 2, pp. 101-110, 2015, ISSN 2063-4269.

Boros I., Schmiedt K., Tănasă C., Nagy-György T., Dan D., Stoian V., „Real time thermal analysis of an exterior wall solution used as envelope for an energy efficient building”, *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 10 (2016), 2016, ISSN 2308-1007, pp. 243-247.

Boros I., Tănasă C., Stoian V., Dan D., „Thermal Studies of Specific Envelope Solutions for an Energy Efficient Building”, *Key Engineering Materials* Vol. 660, pp. 192-197, 2015, ISSN 1013-9826, eISSN 1662-9795.

Boros I., Nagy-György T., Floruț C., Dan D., „Monitoring Strategy for an Energy Efficient School Building”, *Proceedings of The Second International Conference on Advances in Civil, Structural and Mechanic Engineering - ACSM 2015*, Bangkok, Thailand, pp. 52-56, 2015, ISBN 978-1-63248-074-3.

Boros I., Stoian D., Nagy-György T., Stoian V., „Monitoring system of an energy efficient school building”, *ITM Web of Conferences*, V29, 02009 - 1st International

Conference on Computational Methods and Applications in Engineering – ICCMAE 2018, p. 02009, 2019, eISSN 2271-2097.

Karda Sz., Nagy-György T., **Boros I.**, „Use of glass fiber reinforced polymer composite connectors for core insulated concrete sandwich walls”, 24th International Conference on Civil Engineering and Architecture - ÉPKO 2020, Șumuleu Ciuc, România, 20 Mai 2020, ISSN 2734-4525, ISSN-L 1843-2123, pp. 44-49.

Nagy-György T., **Boros I.**, Crișan A., „Computational curiosities of a wind-sensitive roof structure”, 24th International Conference on Civil Engineering and Architecture - ÉPKO 2020, Șumuleu Ciuc, România, 20 Mai 2020, ISSN 2734-4525, ISSN-L 1843-2123, pp. 122-128.

Tănasă C., Stoian V., Dan D., **Boros I.**, Sabău C., „Comparative study about energy efficiency and life cycle cost of passive and traditional house”, Buletinul AGIR, nr. 1, 2013, ISSN-L 1224-7928, eISSN 2247-3548, pp. 154-157.

Boros I., Nagy-György T., Fülöp L., „Energy efficient school in Salonta”, 19th International Conference on Civil Engineering and Architecture – ÉPKO 2015, Șumuleu Ciuc, România, 2015, ISSN 1843-2123, pp. 27-32.

Boros I., Stoian D., Nagy-György T., Tănasă C., Stoian V., „Soluții adoptate la proiectarea și execuția unei clădiri de învățământ eficiente energetic”, Review AICPS - 3/2016, ISSN 2067-4546, pp. 42-51.

Boros I., Nagy-György T., „Energy efficient school building HVAC monitoring plan”, 20th International Conference on Civil Engineering and Architecture – ÉPKO 2016, Șumuleu Ciuc, România, 2016, ISSN 1843-2123, pp. 28-32.

Tănasă C., **Boros I.**, Stoian V., „Urmărirea extinsă a parametrilor de confort interior într-o clădire cu funcțiuni multiple”, Buletinul Informativ al Comisiei Naționale de Comportare In Situ a Construcțiilor, nr. 3, 2016, ISSN 1584-6687, pp. 3-6.

Boros I., Nagy-György T., Stoian D., Stoian V., „Proiectarea, execuția și utilizarea primei clădiri de învățământ din România concepută cu înaltă eficiență energetică”, Review AICPS – 1-2/2018, ISSN 2067-4546, pp. 162-173.

Karda Sz., Nagy-György T., Dan D., **Boros I.**, „Thermal Analysis of Glass Fiber Reinforced Polyamide Fasteners”, Proceedings of 18th edition International Technical-Scientific Conference - Modern Technologies for the 3rd Millenium, Oradea, România, 2019, ISBN 978-88-87729-61-0, pp. 217-222.

Kun L., Crișan A., Nagy-György T., **Boros I.**, „Wind effect modelling for a wind-sensitive structure in Timisoara”, 18th International Technical-Scientific Conference - Modern Technologies for the 3rd Millennium, Oradea, România, 4-5 Aprilie, 2019, ISBN 978-88-87729-61-0, pp. 223-228.

Karda Sz., Nagy-György T., **Boros I.**, „Thermal behavior analysis of glass fiber reinforced polyamide fasteners”, 23rd International Conference on Civil Engineering and Architecture – ÉPKO 2019, Șumuleu Ciuc, România, 2019, ISSN 1843-2123.

Boros I., Nagy-György T., Stoian D., Stoian V., „Prima clădire de învățământ din România concepută cu înaltă eficiență energetică”, Revista Construcțiilor, XV, nr. 160, iulie, 2019, ISSN 1841-1290, pp. 52-57.

7.3. Continuarea activității de cercetare

Consumurile energetice ale fondului construit este o temă care prezintă interes ascendent la nivel global. Îmbunătățirea condițiilor de mediu au devenit o prioritate în strategiile politice recente iar obținerea unei performanțe energetice ridicate a clădirilor noi și existente se consideră a fi un instrument eficient în îndeplinirea obiectivului. Costurile de utilizare scăzute și confortul interior sporit sunt avantajele care promovează aceste tipuri de clădiri și soluții în rândul investitorilor și utilizatorilor. Industria construcțiilor necesită extinderea și perfecționarea activității de cercetare a performanței energetice a clădirilor pentru a oferi instrumente cu care să se obțină rezultatele dorite cu eficiență și precizie ridicată.

Autorul propune continuarea cercetării cu următoarele activități:

1. Completarea sistemului de monitorizare existent cu instrumentele de măsurare lipsă: senzori de umiditate, CO₂, CH₂O, N₂O, NO₂ și VOC, stație de monitorizare solară, înregistrator de vânt, pluviometru și contor flux de persoane.
2. Procesarea, analizarea și interpretarea datelor monitorizate din etapa de utilizare pe o perioadă de cel puțin 10 ani.
3. Calibrarea modelului numeric de calcul cu citirile înregistrate a instrumentelor de măsurare.
4. Realizarea unui calcul de performanță energetică în regim dinamic utilizând datele condițiilor mediului exterior și ale regimului de utilizare real și compararea cu rezultatele calculului în regim staționar.
5. Repetarea a testului de etanșeitate Blower-Door și a termografierii pe durata exploatarei clădirii pentru verificarea comportării în timp a performanței anvelopei termice.
6. Dotarea clădirii cu o instalație de panouri fotovoltaice pentru asigurarea consumului total de energie electrică și monitorizarea datelor acesteia
7. Dotarea clădirii cu automatizarea suplimentară a instalațiilor termice și ventilare și determinarea economiilor de energie rezultate.
8. Dotarea clădirii cu sisteme de umbrire exterioare pentru limitarea aporturilor solare pe perioada de răcire.
9. Dotarea clădirii cu contoare suplimentare de consum de energie electrică pentru segmentarea consumurilor totale pe niveluri în categorii precum: ventilație, iluminat, curenți slabi, consumatori prize.
10. Monitorizarea comportamentului și stării de sănătate a utilizatorilor clădirii respectiv realizarea evaluării psihologice a acestora.
11. Monitorizarea nivelului de CO₂ a încăperilor și asocierea acestuia cu rezultatelor educaționale a elevilor.
12. Implementarea unor sisteme de monitorizare la alte clădiri cu regim de ocupare discontinuă respectiv în altă zonă climatică.
13. Construirea unei baze de date de monitorizare, cu prelucrare, evaluare și interpretare automatizată, care să fie utilizat la calibrarea metodologiilor de calcul și la validarea soluțiilor tehnice optime de eficiență energetică.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Harde, H., "What Humans Contribute to Atmospheric CO₂: Comparison of Carbon Cycle Models with Observations" (2019) , Earth Sciences. Vol. 8, No. 3, 2019, 139-158. doi: 10.11648/j.earth.20190803.13
- [2] European Commission (EC), EU energy in figures, Statistical pocketbook 2018, doi: 10.2833/105297
- [3] Ministerul Lucrărilor Publice, Dezvoltării și Administrației (MLPDA), Strategiei Naționale de Renovare pe Termen Lung pentru sprijinirea renovării parcului național de clădiri rezidențiale și nerezidențiale, atât publice, cât și private, într-un parc imobiliar cu un nivel ridicat de eficiență energetică și decarbonat până în 2050, Proiectul de act normativ, Ianuarie 2020
- [4] Directiva 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică a clădirilor
- [5] United Nations (UN), Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, 11 December 1997
- [6] Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 25 octombrie 2012 privind eficiența energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE și 2010/30/UE și de abrogare a Directivelor 2004/8/CE și 2006/32/CE
- [7] Directiva 2018/844/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor și a Directivei 2012/27/UE privind eficiența energetică
- [8] Legea 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor
- [9] Legea 159/2013 pentru modificarea și completarea Legii 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor
- [10] Legea 156/2016 privind aprobarea Ordonanței Guvernului nr. 13/2016 pentru modificarea și completarea Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor
- [11] Legea 101/2020 pentru modificare și completarea Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor
- [12] Banca Mondială (BM), Analiza Băncii Mondiale a datelor despre clădiri, 2019
- [13] Institutul Național de Statistică – România (INS), Activitatea întreprinderilor din industrie, construcții, comerț și servicii de piață, în anul 2018 – date provizorii, Comunicat de presă nr. 297, noiembrie 2019
- [14] Zittel, W., Schindler, J. (2009). "Projections of Fossil Energy Reserves and Supply until 2050 (2100): Implications for Longer-term Energy Supply Security." In: Brauch H.G. et al. (eds) Facing Global Environmental Change. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, vol 4. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68488-6_25
- [15] Ansari, D., Holz, F. (2019) "Anticipating global energy, climate and policy in 2055: Constructing qualitative and quantitative narratives", Energy Research & Social Science, vol. 58, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101250>
- [16] International Atomic Energy Agency (IAEA), Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, August 2019

- [17] European Commission (EC), Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050: Reference Scenario 2012
- [18] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Review of the default primary energy factor (PEF) reflecting the estimated average EU generation efficiency referred to in Annex IV of Directive 2012/27/EU and possible extension of the approach to other energy carriers, Mai 2016
- [19] Molenbroek, E., Stricker, E., Boermans, T.: Primary energy factors for electricity in buildings: Toward a flexible electricity supply, July 2011, Ecofys
- [20] Mc 001/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor
- [21] Mc 001-2/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor – Partea II-a – Performanța energetică a instalațiilor aferente clădirii
- [22] Ministerul Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri (MEEMA), Strategia energetică a României 2019-2030, cu perspectiva anului 2050, Iulie 2019
- [23] Eurostat – The statistical office of the European Union, Disponibil de la: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [24] European Commission (EC), Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050: Reference Scenario 2013, doi: 10.2833/17897.
- [25] The World Bank Group (WBG), World Bank Commodities Price Forecast, October 2019, Disponibil de la: <https://www.worldbank.org/>
- [26] Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Reiß, J., (2015). "Plus energy schools in Germany – Pilot projects and key technologies", 6th International Building Physics Conference (IBPC 2015), November 2015, Torino, Italy, Energy Procedia vol. 78, 3336-3341, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.747>
- [27] Reiss, J., (2014). "Energy retrofitting of school buildings to achieve plus energy and 3-litre building standards", International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2013), September 23-25, 2013, Freiburg, Germany, Energy Procedia vol. 48, 1503-1511, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.170>
- [28] Lou, S., Tsanga, E., Li, D., Leea, E., Lam, J., (2017). "Towards zero energy school building designs in Hong Kong", The 8th International Conference on Applied Energy (ICAE2016), October 8-11, 2016, Beijing, China, Energy Procedia vol. 105, 182-187, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.299>
- [29] Loukaidou, K., Michopoulos, A., Zachariadis, Th., (2017). "Nearly-Zero Energy Buildings: Cost-Optimal Analysis of Building Envelope Characteristics", International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale (SBE16), October 16-19, 2016, Thessaloniki, Greece, Procedia Environmental Sciences vol. 38, 20-27, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.069>
- [30] Giovannetti, F., Kirchnera, M., Sassa, R., Rockendorfa, G., (2016). "Enameled glass panels for solar thermal building envelopes", International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SCH 2015), December 2-4, 2015, Istanbul, Turkey, Energy Procedia, vol. 91, 49-55, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.170>

- [31] Jokisalo, J., Kurnitski, J., Korpi, M., Kalamees, T., Vinha, J., (2009). "Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses", *Building and Environment*, vol. 44, issue 2, 377-387, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.014>
- [32] Hernandez, J., Alonso, J., Gomez, E., Yousif, C., Martínez, F., (2020). "Performance analysis of a hybrid ventilation system in a near zero energy building", *Building and Environment*, vol.185, 107265, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107265>
- [33] Lee, J., Park, J., Yoon, J., Baek, N., Kim, D., Shin, U., (2014). "An empirical study of performance characteristics of BIPV (Building Integrated Photovoltaic) system for the realization of zero energy building", *Energy*, vol.66, 25-34, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.08.012>
- [34] Katzin, D., Marcelis, L., Mourik, S., (2020). "Energy savings in greenhouses by transition from high-pressure sodium to LED lighting", *Applied energy*, vol.281, (2021), 116019, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116019>
- [35] Abdallah, H., (2017). "Thermal Monitoring and Evaluation of Indoor CO2 Concentration in Classrooms of Two Primary Governmental Schools in New Assiut City, Egypt", 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC 2017), October 19- 22, 2017, Jinan, China, *Procedia Engineering* vol. 205, 1093-1099, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.176>
- [36] Gecova, K., Vala, D., (2018). "Human influence on the microclimate of buildings", *IFAC PapersOnLine*, vol. 51-6, issue 6, 342-347, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.177>
- [37] Curado, A., Silva, J., Lopes, S., (2020). "Radon risk assessment in a low-energy consumption school building: A dosimetric approach for effective risk management", 6th International Conference on Energy and Environment Research (ICEER 2019), July 22-25, 2019, University of Aveiro, Portugal, *Energy Reports*, vol.6, 897-902, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.155>
- [38] Loreti, L., Valdiserri, P., Garai M., (2016). "Dynamic simulation on energy performance of a school", 71st Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association (ATI2016), September 14-16, 2016, Turin, Italy, *Energy Procedia* vol.101, 1026 - 1033, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.130>
- [39] Bernardo, H., Quintal, E., Oliveri, F., (2017), "Using a calibrated building energy simulation model to study te effects of improving the ventilation in a school", International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies" (CONNECT 2016), October 12-14, 2016, Riga, Latvia, *Energy Procedia* vol. 113, 151-157, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.044>
- [40] Sartori, I., Hestnes, A.G. (2007), "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article", *Energy and Buildings*, vol. 39, issue 3, 249-257, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>
- [41] Rossi, B., Marique, A.F., Glaumann, M., Reiter, S., (2012). "Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool", *Building and Environment*, vol. 51, 395-401, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001>

- [42] Scheuer, C., Keoleian, G., Reppe, P. (2003), "Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications", *Energy and Buildings*, vol. 35, issue 10, 1049-1064, Disponibil de la: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00066-5)
- [43] Kofoworola, F.O., GHeewala, H.S. (2008), "Environmental life cycle assessment of a commercial office building in Thailand", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 13, 498, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0012-1>
- [44] The Buildings Performance Institute Europe (BPIE), *Nearly Zero-Energy Buildings Definitions Across Europe*, April 2015
- [45] <https://www.breeam.com>
- [46] <https://www.usgbc.org>
- [47] The Passive House Institute (PHI), Disponibil de la: <https://www.passiv.de>
- [48] <https://www.passivehouse.com>
- [49] Hotărârea Consiliului Local (HCL) nr. 405 din 16.10.2015 privind stabilirea impozitelor și taxelor locale în Municipiul Timisoara pentru anul 2016
- [50] C107/2005 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor
- [51] Ordinul nr. 2641 din 4 aprilie 2017 privind modificarea și completarea reglementării tehnice "Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor", aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007
- [52] Ordinul nr. 386 din 2016 privind modificarea și completarea reglementării tehnice "Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor", aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 2055/2005
- [53] SR EN ISO 13789:2017 – Performanța termică a clădirilor. Coeficienți de transfer termic prin transmisie și prin ventilare. Metodă de calcul
- [54] SR EN ISO 13790:2008 - Performanța energetică a clădirilor. Calculul necesarului de energie pentru încălzirea și răcirea spațiilor
- [55] C107-2/2005 – Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile cu altă destinație decât cea de locuire
- [56] Mc 001-1/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor – Partea I-a – Anvelopa clădirii
- [57] Mc 001-1/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor – Partea III-a – Auditul și certificatul de performanță a clădirii
- [58] C107-3/2005 – Normativ privind calculul performanțelor termoenergetice ale elementelor de construcție ale clădirilor
- [59] <https://www.dosetimpex.ro/doset-pec/doset-pec.php>
- [60] <https://www.algorithm.ro/software-performanta-energetica-cladiri-8/>
- [61] <https://www.software-certificat-energetic.ro/>
- [62] <https://www.certificat-energetic.com/>
- [63] https://www.nemetschek.ro/solutii/solutii_09_certificat_energetic.html
- [64] <https://www.energyplus.net/>
- [65] <https://www.trnsys.com/>
- [66] Hotărâre de Guvern nr. 122 din 25 februarie 2015 pentru aprobarea Planului național de acțiune în domeniul eficienței energetice
- [67] <https://www.mdrap.ro>
- [68] <https://www.utcb.ro>

- [69] Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor, indicativ MC 001/2006: Revizuire metodologie - Redactarea a II-a - faza a II-a, revizia 5 - septembrie 2019
- [70] Passipedia – the Passive House resource, Disponibil de la: <https://www.passipedia.org>
- [71] Passive House Institute (PHI), Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, version 9f, revised 15.08.2016
- [72] Passive House Database, Disponibil de la: <https://www.passivehouse-database.org> (09.11.2020)
- [73] Intelligent Energy – Europe (IEE) - Monitoring and Control of Energy Consumption in Municipal Public Buildings over the Internet (ENERinTOWN), 2008, Disponibil de la: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enerintown>
- [74] Giraldo Soto, C., Erkoreka, A., Mora, L., Uriarte, I., Portillo, L. (2018). "Monitoring System Analysis Used for Evaluating the Building's Envelope Energy Performance Through Estimation of Its Heat Loss Coefficient", Sensors 2018, vol. 18, Issue 7, 2198, Disponibil de la: <https://doi.org/10.3390/s18072198>
- [75] Cao, L., Luo, X., Deng, J., Chen, W., Zhao, Y., Yang, Y. (2018), " Research and Design of Energy Efficiency Monitoring System for Resource-Saving Campus", 2018 International Conference on Mechanical, Electronic, Control and Automation Engineering (MECAE 2018), March 2018, Qingdao, China, Advances in Engineering Research, volume 149, 765-769. Disponibil de la: <https://doi.org/10.2991/mecae-18.2018.134>
- [76] Hong, T., Feng, W., Lu, A., Xia, J., Yang, L., Shen, Q., Im, P., Bhandari, M., (2013), "Building energy monitoring and analysis", Lawrence Berkeley National Laboratory
- [77] Anggraini, D., Effendy, N., Ihsan Al Hafiz, M., Ojeda Luviano, D. (2018) "Research and Development of a Power Monitoring System for the Sustainable Energy Management System Implementation at Green School, Bali, Indonesia", E3S Web Conferences, Vol. 43, ASTEchnova 2017 International Energy Conference, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184301021>
- [78] Dongmei, L. (2020). "Analysis on the monitoring system of energy conservation and comfort in office buildings based on internet of things", International Journal of Low-Carbon Technologies, Vol. 15, Issue 3, August 2020, 351-355, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz083>
- [79] Tănasă C., Stoian V., Stoian D., Dan D. (2016), "Concept and monitoring strategy of a residential building designed as a nearly zero-energy building", YRSB16 – iiSBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building 2016, 21 Iunie 2016, Praga, Cehia
- [80] Bjelic, D., Carapina, H.S., Markic, D.N., Pesic, Z.S., Mihajlov, A., Vukic, L. (2015), "Environmental assessment of waste management in Banja Luka region with focus on landfilling", Environmental Engineering and Management Journal, vol. 14, 1455-1463, Disponibil de la: <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2015.157>
- [81] Farcas, V., Ilies, N., Co,t R. (2015), "CO₂ and energy footprint of different retaining walls solutions. Masonry retaining wall vs. Cantilever retaining wall", Environmental Engineering and Management Journal, vol. 14,

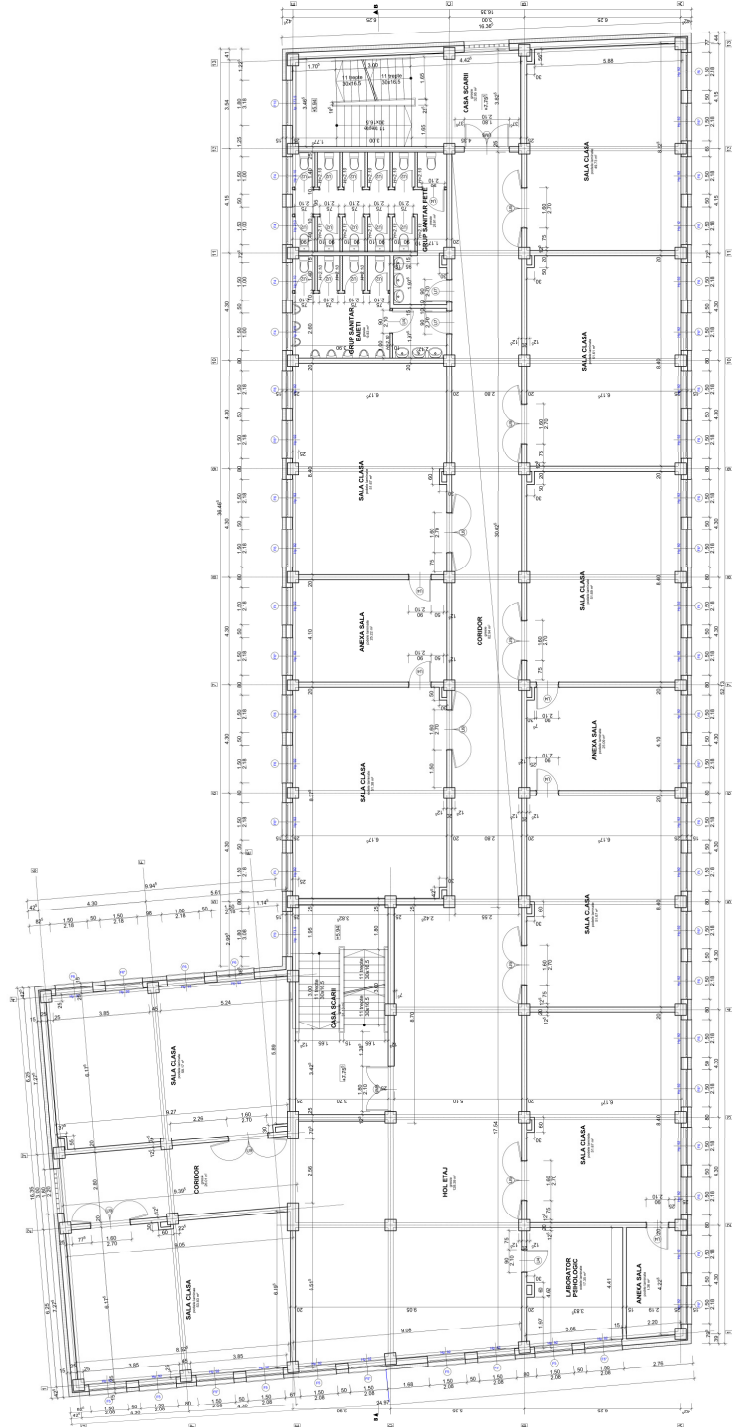
- 1323-1326, Disponibil de la:
<http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2015.157>
- [82] ISO 14044:2006 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
- [83] Goedkoop, M., Oele, M., Leijng, J., Pnsioen, T., Meijer, E. (2016), "Introduction to LCA with SimaPro", SimaPro, Report Version 5.2, Disponibil de la: <https://www.pre-sustainability.com/legacy/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>
- [84] ISO 14042:2000 – Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment.
- [85] EN 13829 – European Standard EN 13829:2001, Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method, 2001
- [86] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2001). 2001 ASHRAE handbook: Fundamentals. SI edition Atlanta, GA: ASHRAE.
- [87] <https://www.qualitymonitoring.ro>
- [88] Zidărie BCA - DoP no.1 - 20.08.2018 – BCA - Simcor 2,5-05 – Macon. <https://www.macon.ro> - accesat la data 21.09.2018
- [89] Vată minerală bazaltică - DoP no.03b/2016 – Isoroc-ISOFAS - <http://www.isoroc.pl> - accesat la data 10.12.2018
- [90] P118/1999 – Normativ de siguranță la foc a construcțiilor
- [91] Polistiren XPS - DoP no.010-XPS TOP30 P-FH – Austrotherm. <https://www.austrotherm.ro> - accesat la data 02.03.2020
- [92] Vată minerală bazaltică semirigidă - Dop no.RW-PL-G-1047 - Multirock standard – Rockwool. <https://www.rockwool.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [93] Cărămidă de sticlă – DoP no.22/90F/4/17 – Seves Vetroarrendo 1919/16 Clearview – Vitrablok – <https://www.sevesglassblock.com> - accesat la data 10.12.2018
- [94] Serie profil tâmplărie PVC – 402 42874/1 – bluEvolution92 – Salamander - <https://www.salamander-windows.com> – accesat la data 10.12.2018
- [95] Bandă de etanșare – illmod Trioplex+ TP652 – Illbruck - <https://www.illbruck.com> – accesat la data 10.12.2018
- [96] Bandă de etanșare – SWS Universal Inside / Outside – Soudal - <https://www.soudal.ro> – accesat la data 10.12.2018
- [97] Bandă de etanșare – Premium sealing Tape Internal / External – Penosil - <https://www.penosil.com> – accesat la data 10.12.2018
- [98] Vitraj cu trei foi sticlă – 52 mm - LE4/20Ar/4Fl/20Ar/LE4 – Saint-Gobain – <https://www.ro.saint-gobain-building-glass.com> – accesat la data 10.12.2018
- [99] Distanțier foi sticlă – TX Pro – Thermix Warm Edge – <https://www.lisec.com> – accesat la data 10.12.2018
- [100] Profil lamelar încleiat din Pin – dlh – <https://www.dlh.pl> – accesat la data 10.12.2018
- [101] Vitraj cu trei foi sticlă – 36 mm – LE4/12Ar/4Fl/12Ar/LE4 – Saint-Gobain – <https://www.ro.saint-gobain-building-glass.com> – accesat la data 10.12.2018
- [102] Spumă rigidă cu structură celulară – Kingspan IPN – Kingspan - <https://www.panouri.kingspan.ro> - accesat la data 10.12.2018

- [103] Uși metalice – 5002009/2-C10 – Univer Fire Door – Ninz - <https://www.ninz.it> - accesat la data 10.12.2018
- [104] Scară de acces pod – LWF 45 – Fakro - <https://www.fakro.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [105] C107-5/2005 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul
- [106] Disertație – Karda Szilárd, Master Dezvoltare durabilă: auditul energetic și securitate la incendiu a clădirilor, Facultatea de Construcții, UPT, Timișoara, 2018
- [107] Polistiren EPS – DoP no.TNY-009/24.11.2017 – AT-L4 – Austrotherm. <https://www.austrotherm.hu> - accesat la data 21.09.2018
- [108] Spumă poliuretanică – Kompakt – According Group - <https://www.according.ro> - accesat la data 15.02.2019
- [109] Pompă de căldură reversibilă – SI 75TER+ – Dimplex - <https://www.dimplex.de> - accesat la data 10.12.2018
- [110] Rezervor tampon puffer – PSW1000 – Dimplex - <https://www.dimplex.de> - accesat la data 10.12.2018
- [111] <https://www.blog.romstal.ro>
- [112] <https://www.zammmark.ro>
- [113] Schimbător de căldură în plăci – XGM050H-1-77 Cool Pack – Danfoss - <https://www.danfoss.com> - accesat la data 10.12.2018
- [114] Centrală în condensatie pe gaz – FT no. 5774 069 RO - Vitodens 200-W B2HA – Veissman - <https://www.viessman.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [115] Boiler apă caldă menajeră – BF-2-3000 – Elbi - <https://www.elbi.it> - accesat la data 10.12.2018
- [116] Tuburi și plăci elastomerice – 0919-CPR-0551-FEF-11-5-R3.e – Armaflex Elastomeric Foam și AF/Armaflex N – Armacell - <https://www.armacell.com> - accesat la data 10.12.2018
- [117] Țeavă oțel preizolată – Kelit P – Ke Kelit - <https://www.kekelit.com> - accesat la data 10.12.2018
- [118] Țeavă Pe-Xa – Purmo - <https://www.purmo.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [119] Ventilatoare de pardoseală și tavan – DC-2011-0115-GB 2018-05/R8 – Denco-Happel Flex-Geko – FläktGroup - <https://www.flaktgroup.com> - accesat la data 10.12.2018
- [120] <https://www.ventilatierecuperarecaldura.ro>
- [121] Centrale de tratare a aerului – FT no. 16.814JZ.068 – AHU 4.000 / AHU 1.000 – Mandik - <https://www.mandik.com> - accesat la data 10.12.2018
- [122] Ventilatoare – CC-SHT 452-F300-120 – Maico Group 2014 - <https://www.maico-group.com> - accesat la data 10.12.2018
- [123] Recuperator de energie – RVZ-P-K/F 750 – Atrea - <https://www.atrea.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [124] Vată minerală lamelară cu folie de aluminiu – Larock 32 ALS – Rockwool - <https://www.rockwool.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [125] Thermal Bridges Catalogue, Passive House Institute, 3. Edition, Darmstadt, Mai 2020
- [126] Passivhaus Dienstleistung GmbH, Certified European Passive House Designer: Building Envelope – Window, 2012
- [127] Mc 001-6/2013 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor - Partea VI-a – Parametri climatici
- [128] C107-1/2005 – Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile de locuit

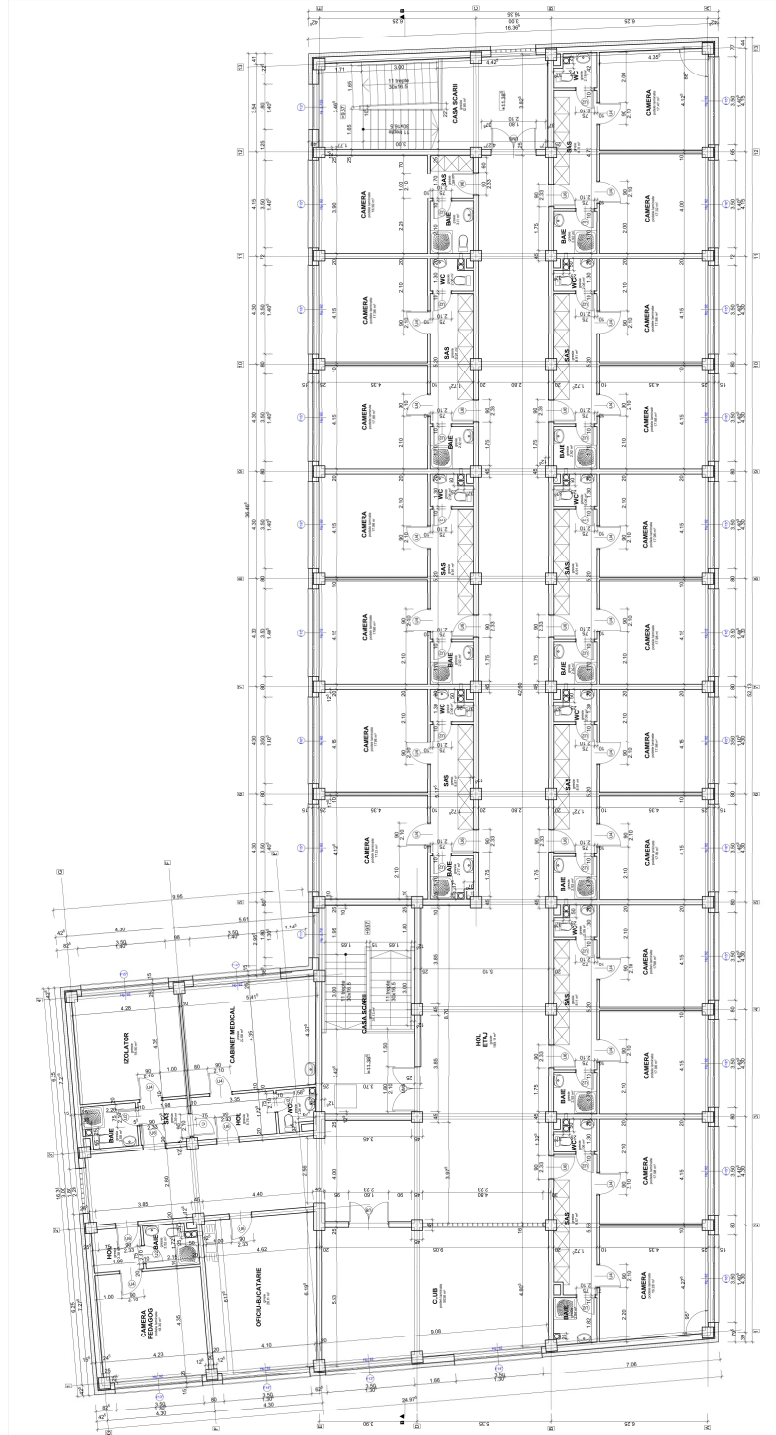
- [129] Pompă de circulație – Wilo Yonos Pico 25/1-6 – <https://www.wilo.com> - accesat la data 10.12.2018
- [130] Pompă de circulație - Wilo Yonos Maxo 50/0,5-12 - <https://www.wilo.com> - accesat la data 10.12.2018
- [131] Pompă de circulație - Wilo Yonos Maxo 50/0,5-9 - <https://www.wilo.com> - accesat la data 10.12.2018
- [132] Pompă submersibilă - Biral Sub4X 5-17 - <https://www.biral.de> - accesat la data 10.12.2018
- [133] I9/2015 – Normativ privind proiectarea, execuția și exploatarea instalațiilor sanitare aferente clădirilor
- [134] Țeavă PPR – Valrom - <https://www.valrom.ro> - accesat la data 10.12.2018
- [135] Pompă de circulație - Wilo Yonos Maxo 30/0,5-10 - <https://www.wilo.com> - accesat la data 10.12.2018
- [136] Mc 001-4/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor - Partea IV-a - Breviar de calcul al performanțelor energetice a clădirilor și apartamentelor
- [137] I5/2010 – Normativ pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor de ventilare și climatizare
- [138] Senzor digital de temperatură - DS18B20 – Maxim Integrated - <https://www.maximintegrated.com> - accesat la data 10.12.2018
- [139] Senzor de temperatură - FT no. EN0B-0720GE51 R1215D - NTC 20k – Honeywell - <https://www.honeywell.com> - accesat la data 10.12.2018
- [140] MP 037/2004 – Metodologie privind determinările termografice în construcții
- [141] Termograf – InfraCam – Flir - <https://www.flir.eu>
- [142] <https://www.antherm.at>
- [143] Environment Agency (EA) - United Kingdom government's Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Disponibil de la: <https://www.data.gov.uk/data/contracts-finder-archive/download/355422/39ef8800-9ca6-43b3-b893-5b6399cf7374>
- [144] EN 15643-1:2010 – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework
- [145] EN 15643-2:2011 – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance
- [146] EN 15978:2011 – Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
- [147] Inventory of Carbon and Energy (ICE), Version 2.0, Sustainable Energy Research Team (SERT), Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK
- [148] British Cement Association (BCA, 2009); Fact Sheet 18 [P2] Embodied CO2 of factory-made cements and combinations
- [149] EN 15643-4:2012 – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance
- [150] Dirks, A.J., Gorrissen, J.W., Hathaway, H.J., Skorski, C.D., Scott, J.M., Pulsipher, C.T., Huang, M., Liu, Y., Rice, S.J. (2015), "Impacts of climate change on energy consumption and peak demand in buildings: A detailed regional approach", Energy, vol. 79, 20-32, Disponibil de la: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.081>
- [151] Adeziv termoizolație - Dop no.CPR-BG/0002 - Mapetherm – Mapei. <https://www.mapei.com/> - accesat la data 21.09.2018
- [152] Diblu termoizosistem - DoP no.007/04-0023/2017/03 - ejotherm STR U 2G – Ejot. <https://www.ejot.ro/> - accesat la data 21.09.2018

-
- [153] Mortar adeziv BCA - FT no. AM38-2011 - ANA 38 - Cesal.
<https://www.cesal.ro/> - accesat la data 21.09.2018
- [154] Tencuială decorativă - DoP no.CPR-IT1/0331 - Quarzolite Tonachino - Mapei -
<https://www.mapei.com/> - accesat la data 15.02.2019

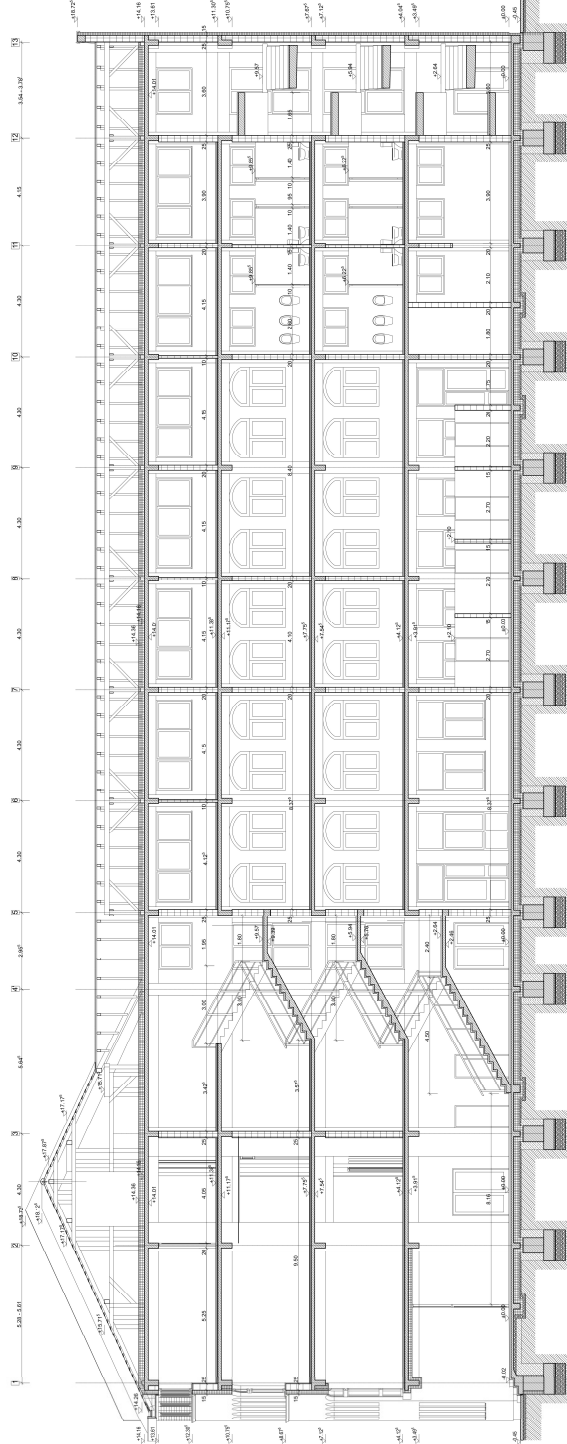
Plan etaj 2 – Arhitectură



Plan etaj 3 – Arhitectură



Secțiune longitudinală - Arhitectură



Fațada principală - Arhitectură



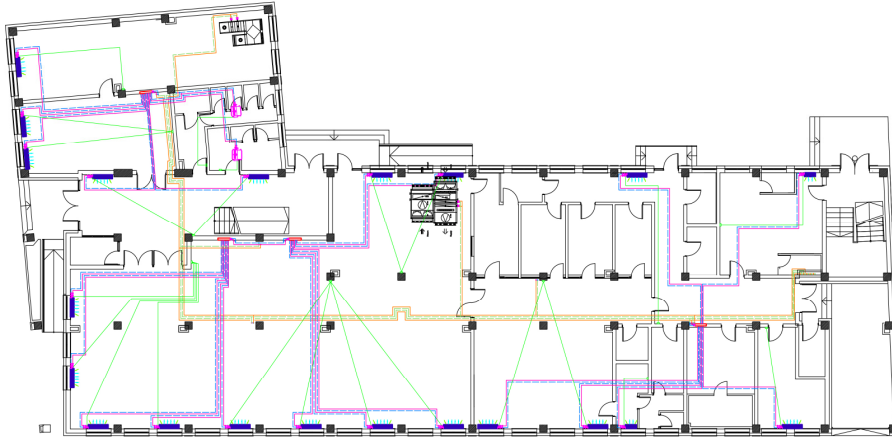
Fațade laterale - Arhitectură



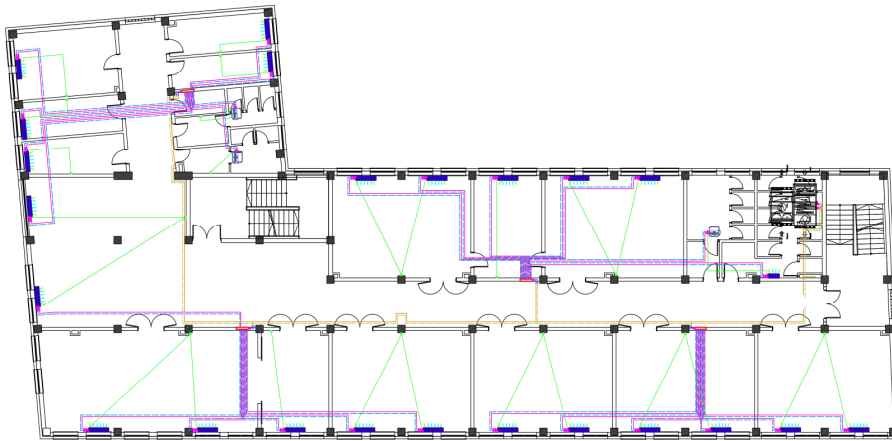
Fațada posterioară - Arhitectură



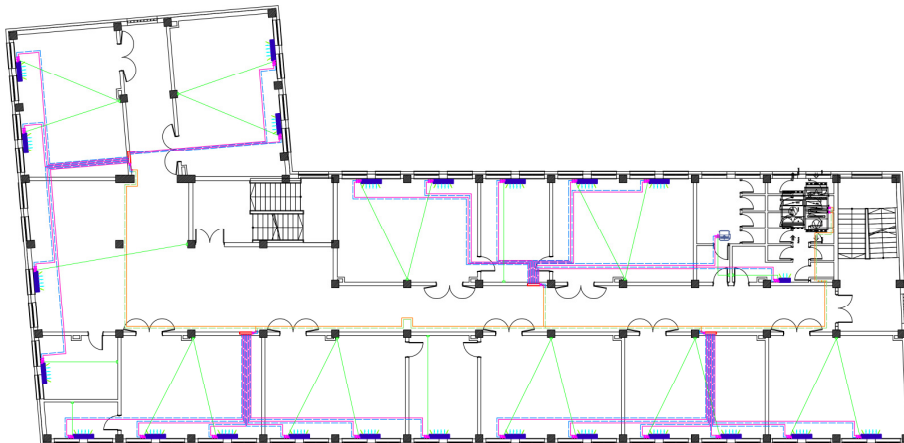
Instalații termice – Parter



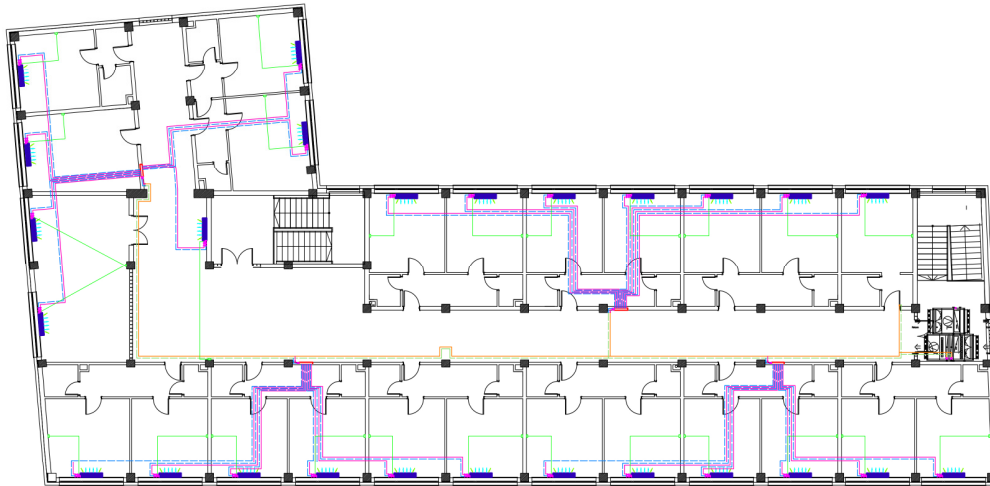
Instalații termice – Etaj 1



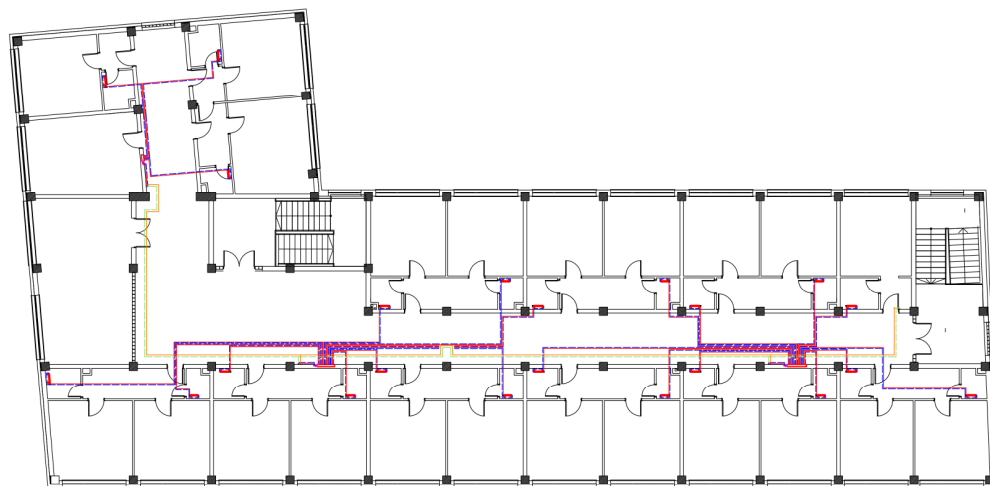
Instalații termice – Etaj 2



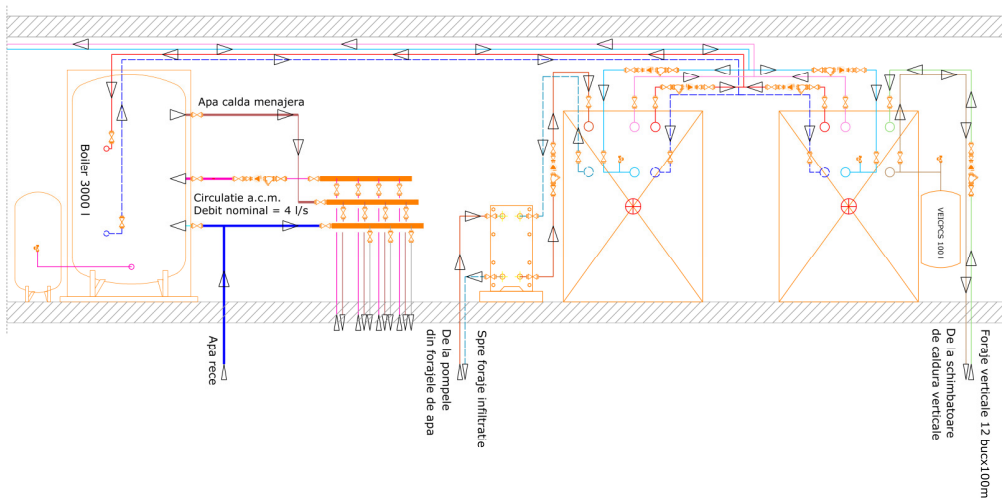
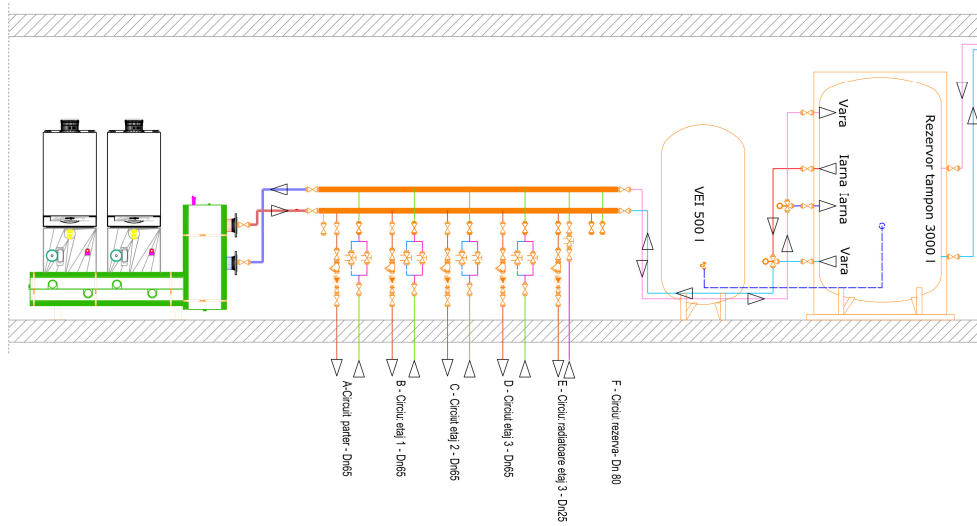
Instalații termice – Etaj 3



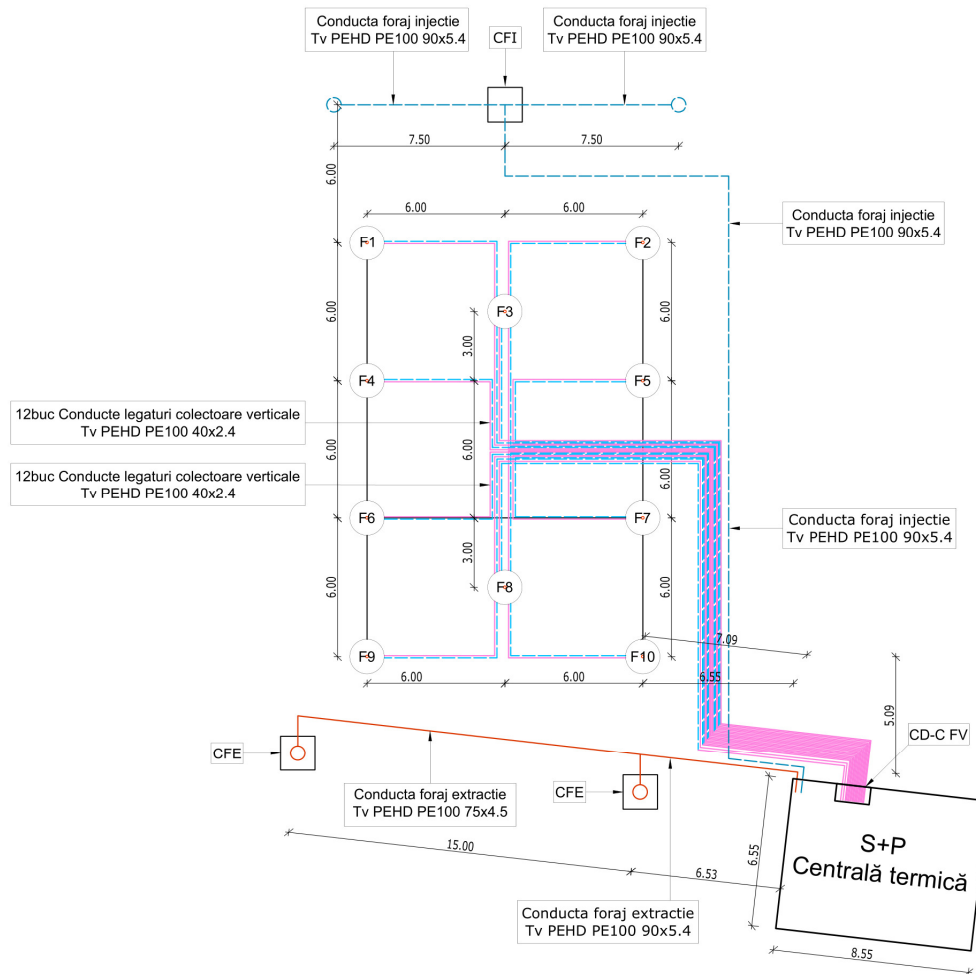
Instalații termice – Etaj 3 - radiatoare



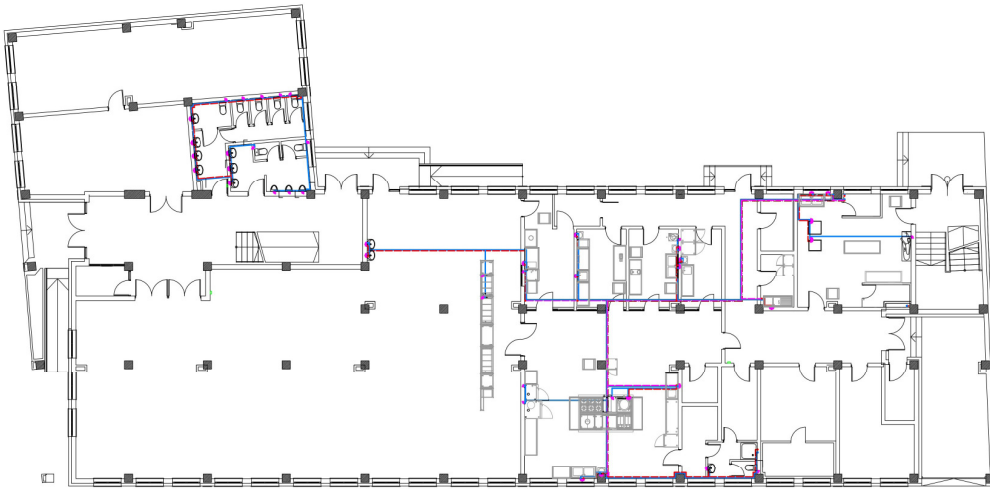
Instalații termice – Schemă funcțională – Camera Tehnică



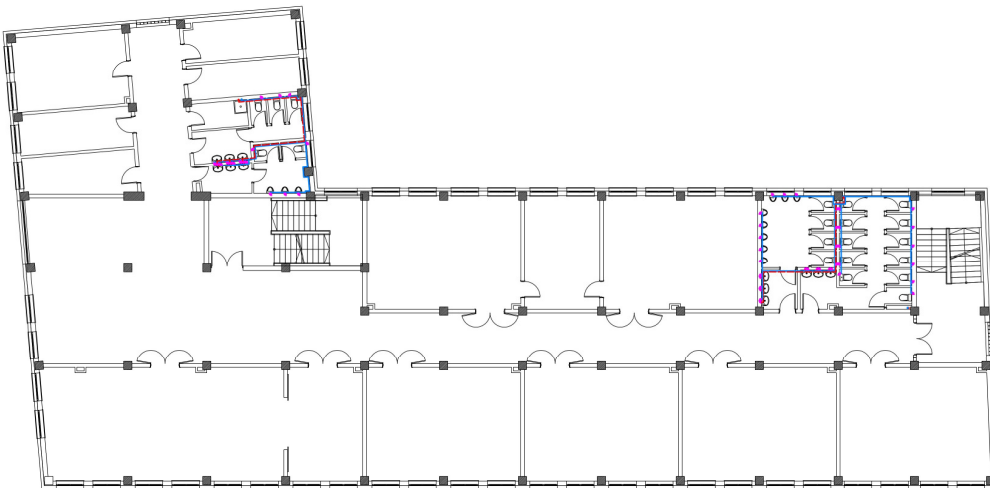
Instalații termice – Plan foraje



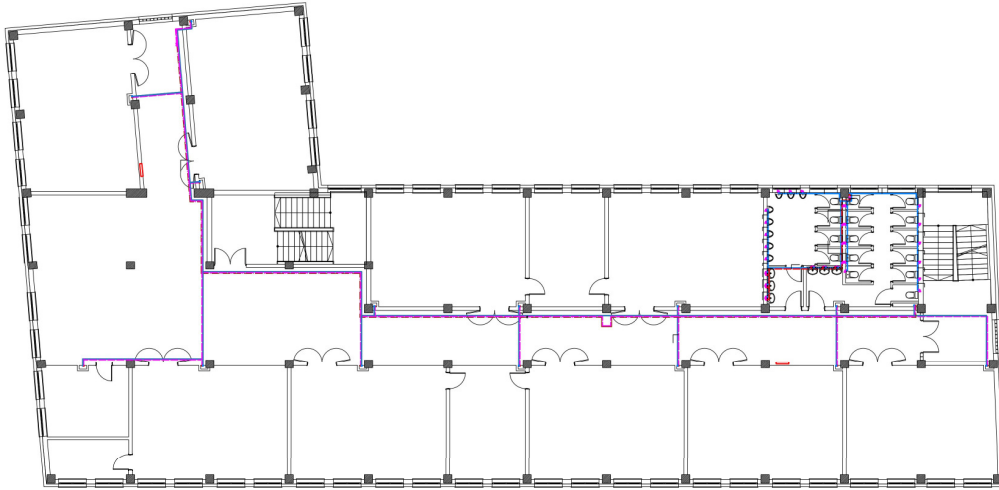
Instalații sanitare – Parter



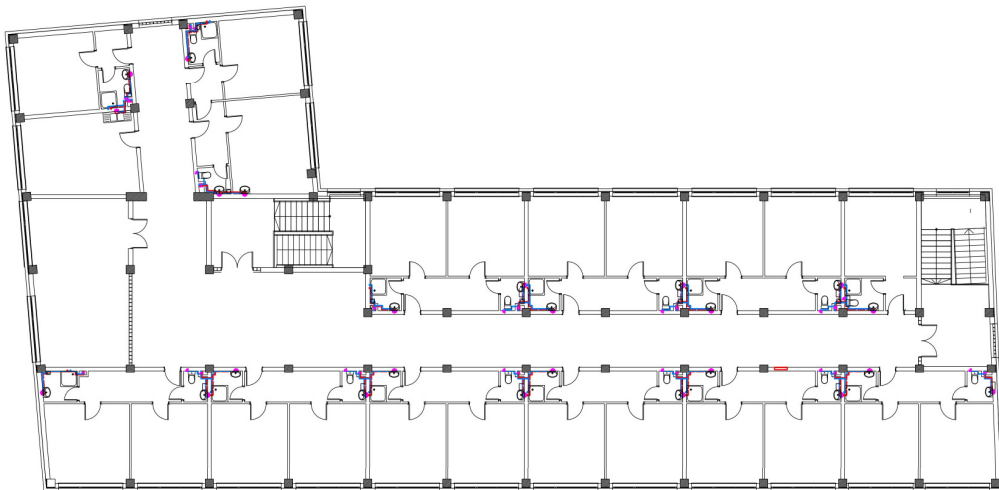
Instalații sanitare – Etaj 1



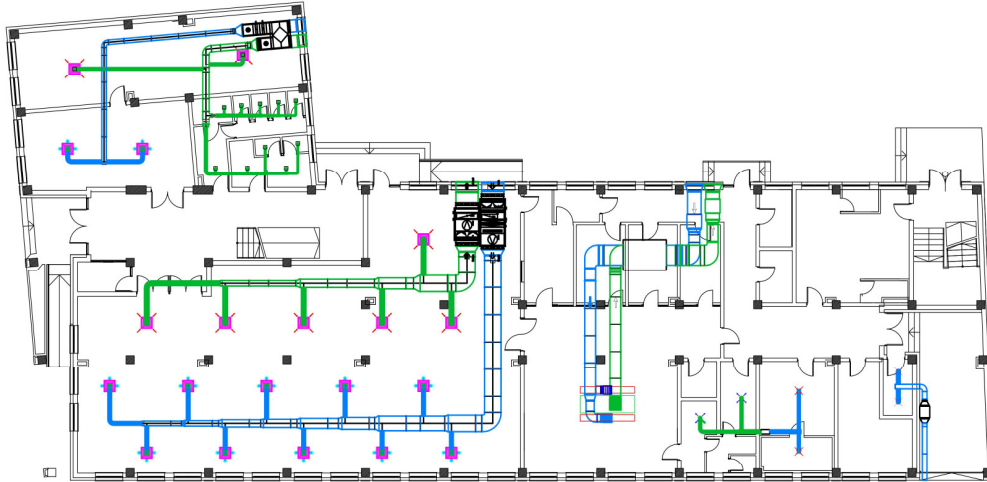
Instalații sanitare - Etaj 2



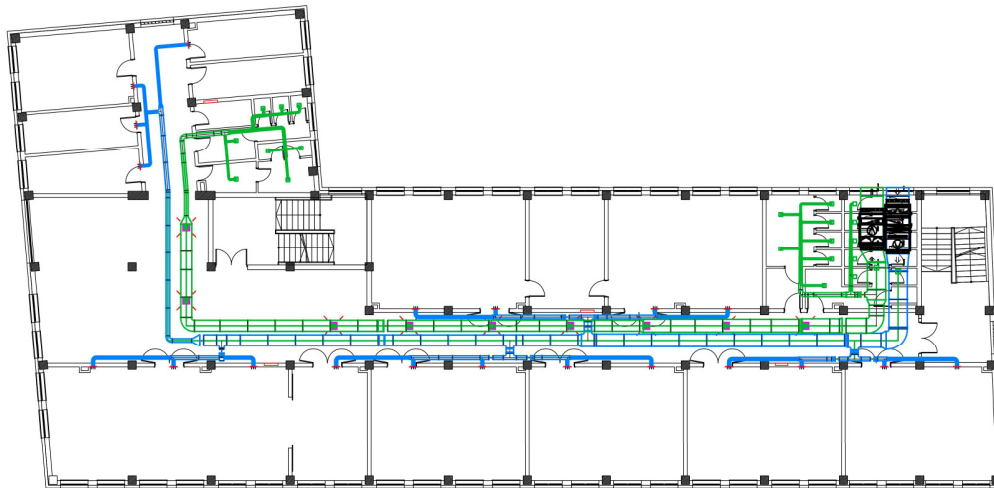
Instalații sanitare - Etaj 3



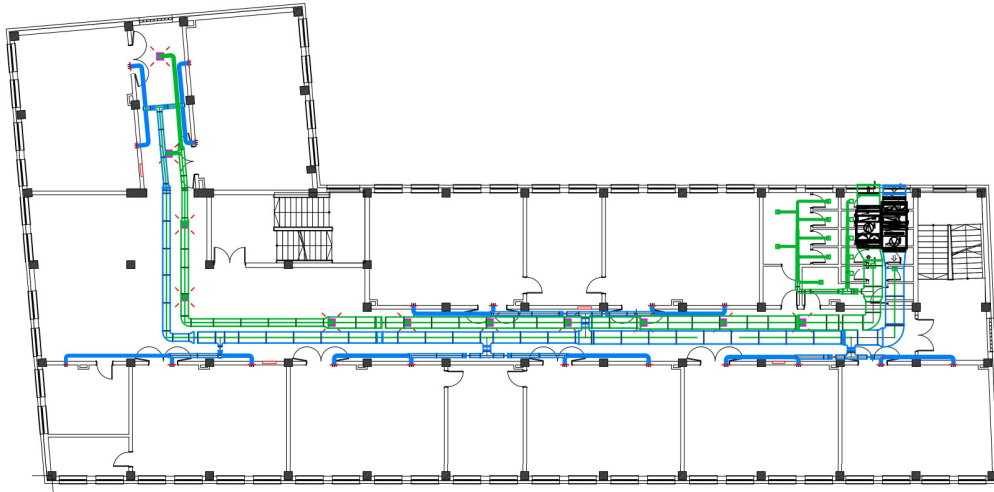
Instalații de ventilare – Parter



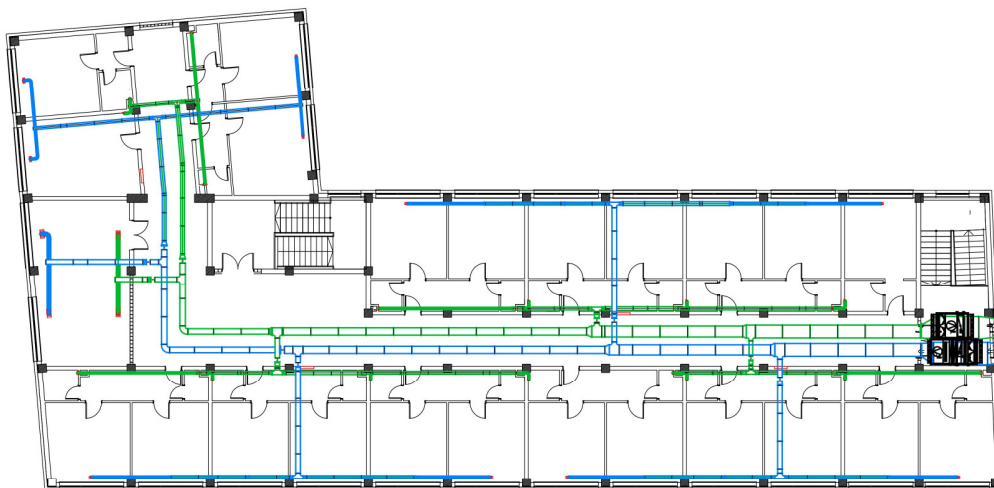
Instalații de ventilare – Etaj 1



Instalații de ventilare – Etaj 2



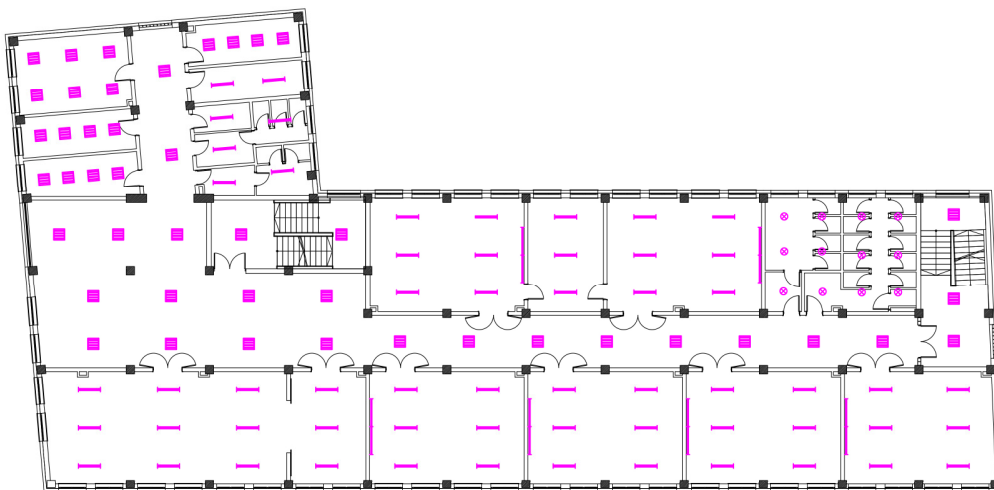
Instalații de ventilare – Etaj 3



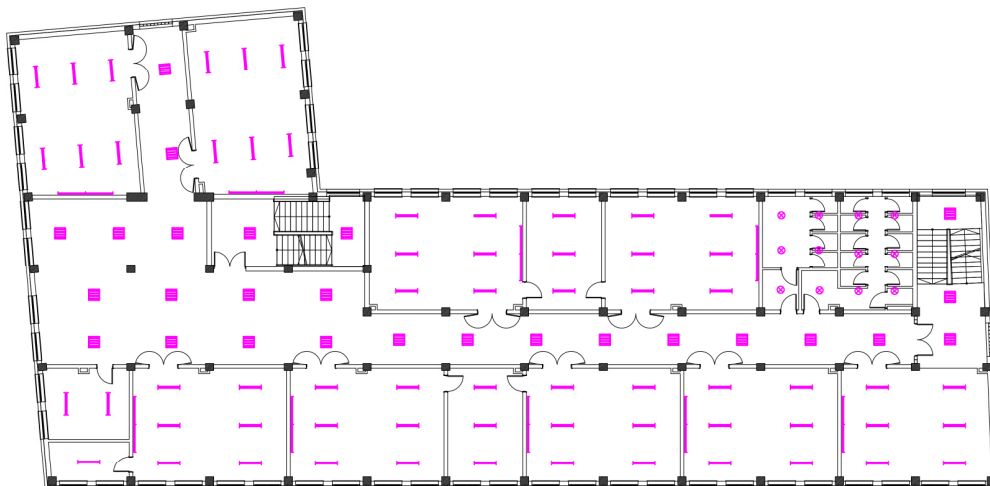
Instalații electrice – Parter



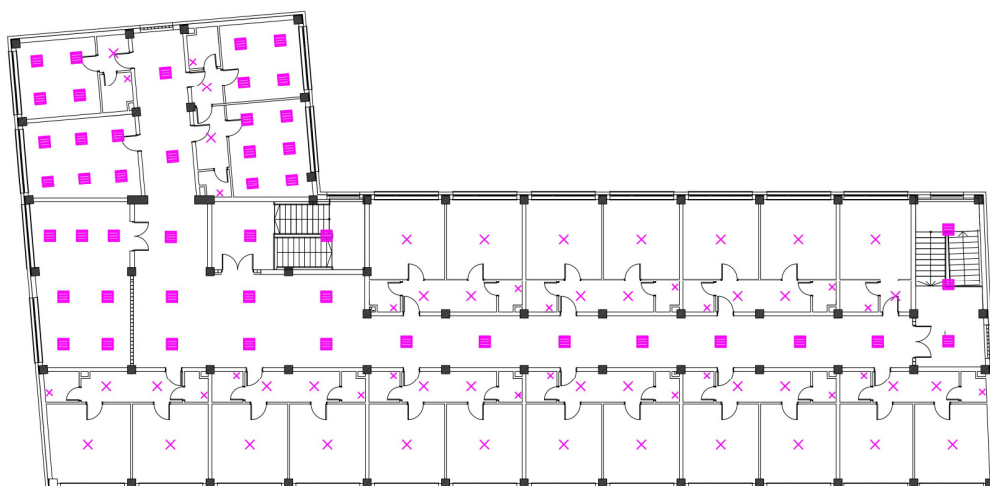
Instalații electrice – Etaj 1



Instalații electrice - Etaj 2



Instalații electrice - Etaj 3

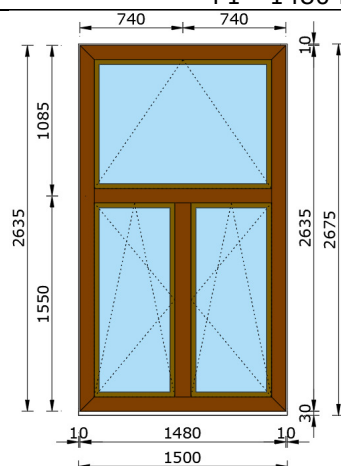


ANEXA 2 – CARACTERISTICI TERMICE ALE PĂRȚILOR COMPONENTE A ANVELOPEI

Denumire material	Densitate [kg/m ³]	Căldură spec. [J/kgK]	λ [W/mK]
Adeziv - gresie ceramica	1800	840	0,930
Adeziv - PVC	1400	1460	0,230
Adeziv – termoizolație [151]	1800	840	0,430
Argilă cu praf cafeneu - maronie	1952	2045	3,000
Argilă cu praf și nisip	1956	1918	3,200
Argilă cu praf vinețiu - negricioasă	1609	2095	2,000
Balast	1800	840	0,700
Beton armat	2500	840	1,740
Beton sclivisit	1800	840	0,930
Bloc de zidărie din BCA [88]	400	1350	0,102
Covor PVC	1400	1460	0,230
Diblu - ancoră din oțel inoxidabil [152]	7850	480	15,000
Folie polietilenă	1600	1460	0,290
Gresie ceramică	2400	920	2,030
Mortar adeziv – BCA [153]	1200	840	0,400
Mortar de var-ciment	1700	840	0,930
Nisip fin cu praf cenușiu	1956	1918	3,000
Nisip mijlociu cafeneu cenușiu	1760	2500	3,000
Polistiren expandat EPS [107]	20	1460	0,042
Polistiren extrudat XPS [91]	40	1460	0,036
Sapă de mortar	1800	840	0,930
Tencuială decorativă [154]	1800	840	1,280
Țiglă ceramică	1700	880	0,720
Umplutură de pământ	1800	2000	1,500
Vată minerală bazaltică – rigidă [89]	100	1030	0,0360
Vată minerală bazaltică – semirigidă [92]	28	1030	0,039

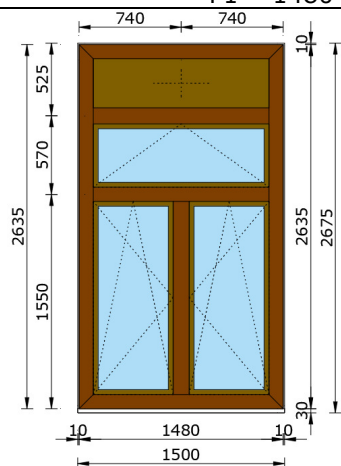
ANEXA 3 – TÂMLĂRIE EXTERIOARĂ

F1 - 1480 mm x 2635 mm



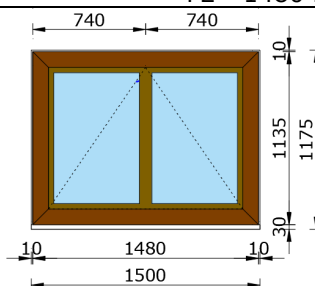
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 3,90 m²
- 15 buc

F1' - 1480 mm x 2635 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 3,90 m²
- 5 buc

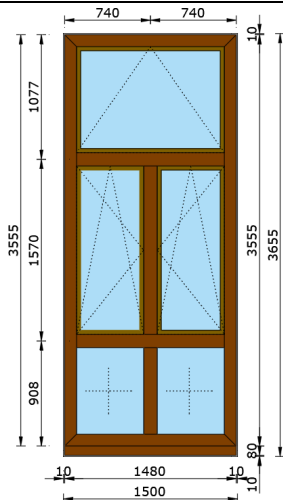
F2 - 1480 mm x 1135 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 1,68 m²
- 12 buc

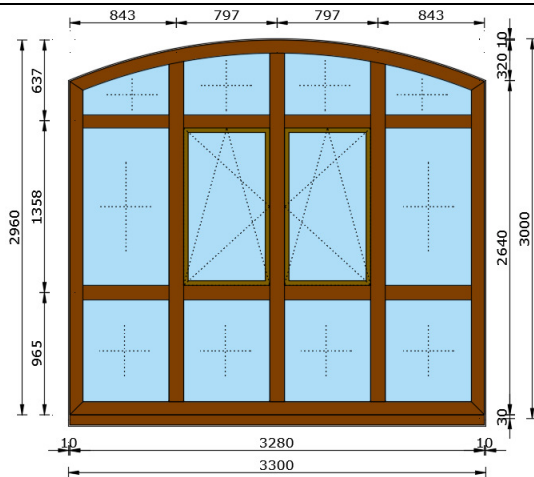
210 ANEXA 3 – TÂMLĂRIE EXTERIOARĂ

F3 - 1480 mm x 3555 mm



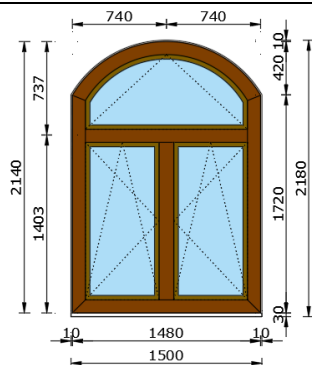
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 5,26 m²
- 12 buc

F4 - 3280 mm x 2960 mm



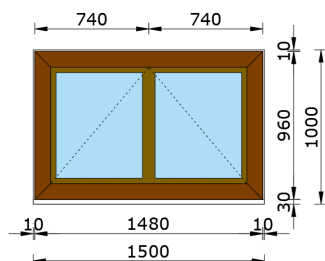
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 9,35 m²
- 1 buc

F5 - 1480 mm x 2140 mm



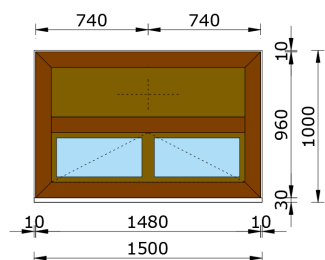
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 2,98 m²
- 62 buc

F6 - 1480 mm x 960 mm



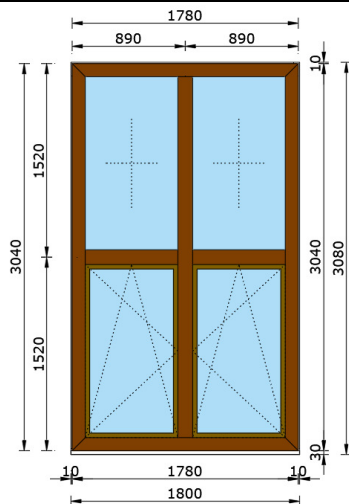
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 1,42 m²
- 6 buc

F6' - 1480 mm x 960 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- panou opac format din 2 straturi de lemn – 12 mm și miez din polistiren XPS – 40 mm
- Aria = 1,42 m²
- 4 buc

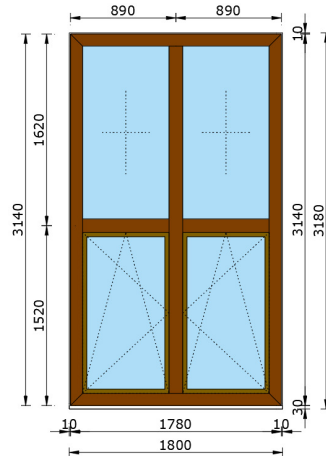
F7 - 1780 mm x 3040 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 5,41 m²
- 2 buc

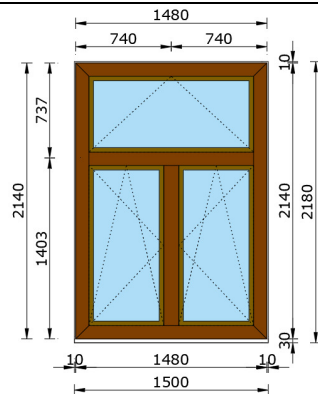
212 ANEXA 3 – TÂMLĂRIE EXTERIOARĂ

F8 - 1780 mm x 3140 mm



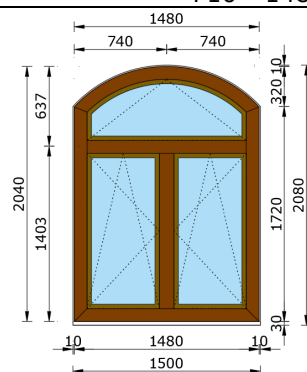
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 5,59 m²
- 2 buc

F9 - 1480 mm x 2140 mm



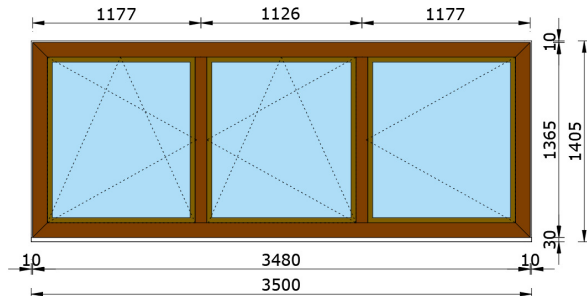
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 3,16 m²
- 12 buc

F10 - 1480 mm x 2040 mm



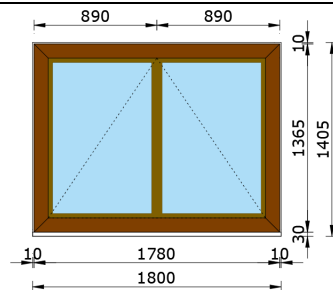
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 2,87 m²
- 18 buc

F11 - 3480 mm x 1365 mm



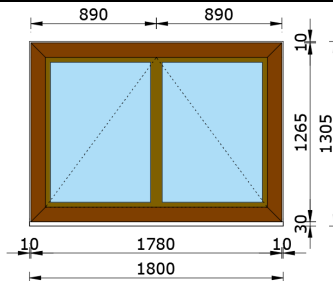
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 4,75 m²
- 21 buc

F12 - 1780 mm x 1365 mm



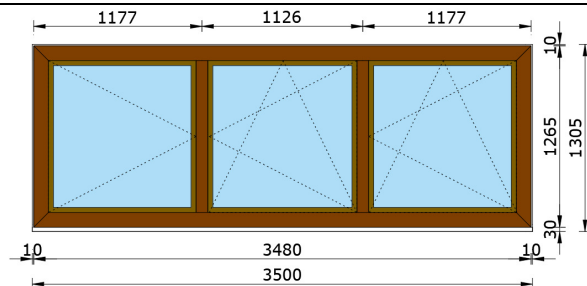
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 2,43 m²
- 1 buc

F13 - 1780 mm x 1265 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 2,25 m²
- 1 buc

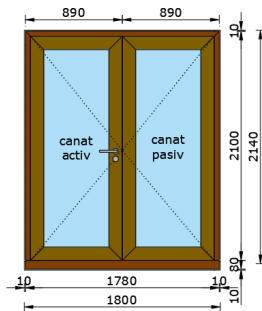
F14 - 3480 mm x 1265 mm



- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- solbanc – 30 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- Aria = 4,40 m²
- 4 buc

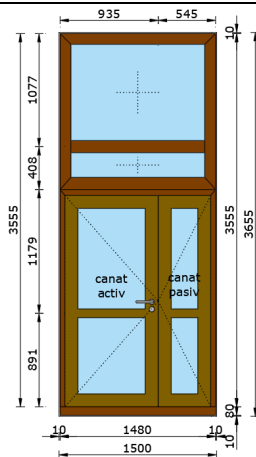
214 ANEXA 3 – TÂMLĂRIE EXTERIOARĂ

U1 - 1780 x 2100 mm



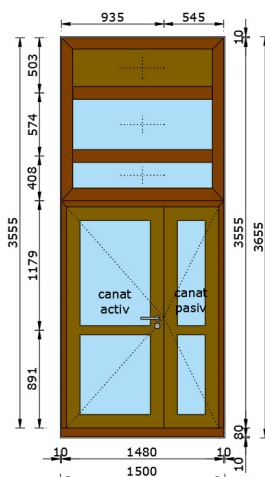
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- profil prag aluminiu 22 mm
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- cu dispozitiv de autoînchidere
- Aria = 3,74 m²
- 2 buc

U2 - 1480 x 3555 mm



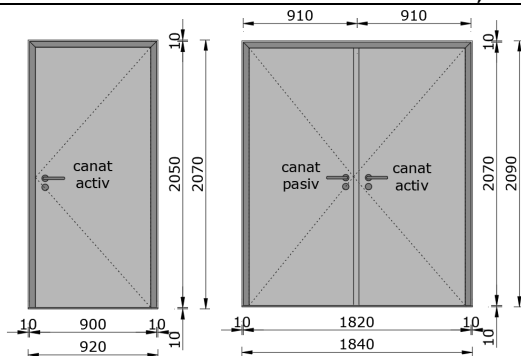
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- profil prag aluminiu 22 mm
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- cu dispozitiv de autoînchidere (amortizor cu braț)
- Aria = 5,26 m²
- 1 buc

U2' - 1480 x 3555 mm



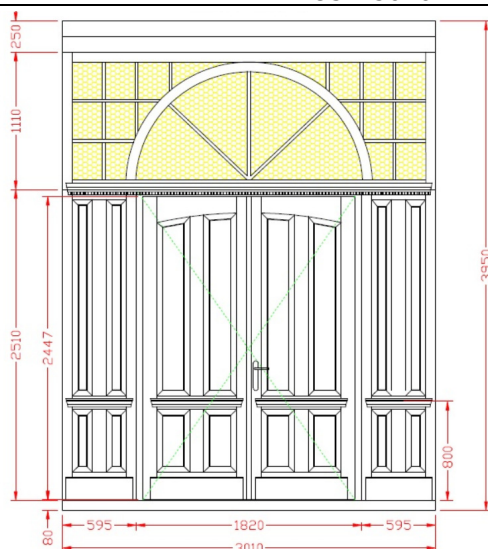
- Profil PVC – Salamander bluEvolution 92
- profil prag aluminiu 22 mm
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- vitraj – Saint Gobain – 52 mm - LE4 \ 20Ar \ 4FI \ 20Ar \ LE4
- panou opac format din 2 straturi de lemn – 12 mm și miez din polistiren XPS – 40 mm
- cu dispozitiv de autoînchidere
- Aria = 5,26 m²
- 1 buc

 U3 - 900 mm x 2050 mm și U4 - 1820 mm x 2070 mm



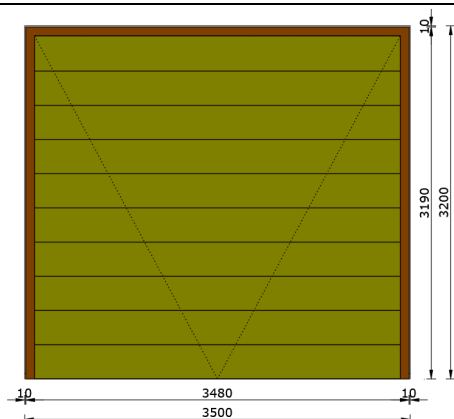
- Profil toc oțel galvanizat
- canat format din 2 straturi de tablă de oțel – 2 mm și vată mineral – 60 mm
- profil de măturare automată montat la baza foilor
- cu dispozitiv de autoînchidere (balamale cu arc)
- Aria = 2,02 m² / 3,67 m²
- 1 buc / 1 buc

 U5 - 3010 mm x 3620 mm



- Profil din lemn triplustratificat – IV78
- profil prag aluminiu 22 mm
- profil completare partea inferioară de 80 mm
- profil completare partea superioară de 250 mm
- vitraj – Saint Gobain – 36 mm - LE4 \ 12Ar \ 4FI \ 12Ar \ 4FI
- panou opac format din 2 straturi de lemn – 6 mm și miez din polistiren XPS – 30 mm
- cu dispozitiv de autoînchidere (amortizor cu braț)
- Aria = 10,89 m²
- 1 buc

 U6 - 3480 mm x 3190 mm



- structură oțel – 84 mm
- panou de ușă Kingspan – 40 mm format din 2 foi de tablă din oțel galvanizat și nucleu de termoizolare din spumă rigidă cu structură celulară – 40 mm
- Aria = 11,10 m²
- 1 buc

ANEXA 4 – ELEMENTE DE ANVELOPĂ ÎN FUNCȚIE DE ORIENTARE FAȚĂ DE PUNCTELE CARDINALE

Orientare - Nord		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Nord 1	PE_N1	205,97
Perete exterior - Nord 2	PE_N2	309,80
Perete exterior - Nord 4	PE_N4	2,98
Tâmplărie PVC	F1	11,70
	F1'	11,70
	F2	6,72
	F3	10,52
	F5	59,60
	F6	5,68
	F6'	5,68
	F7	10,82
	F8	11,18
	F11	33,25
	F12	2,43
	F13	2,25
Tâmplărie metalică	U1	7,48
	U2	5,26
	U2'	5,26
Tâmplărie metalică	U3	1,85
Total		710,13

Orientare - Est		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Est 1	PE_E1	96,14
Perete exterior - Est 2	PE_E2	184,77
Tâmplărie PVC	F2	3,36
	F5	17,88
	F6	2,84
	F11	9,50
Tâmplărie metalică	U4	3,77
Total		318,26

Orientare - Sud		
Denumire element	Simbol	Suprafață [m ²]
Perete exterior - Sud 2	PE_S2	404,80
Perete exterior - Sud 3	PE_S3	14,34
Tâmplărie PVC	F1	31,20
	F1'	7,80
	F2	10,08
	F3	36,83
	F5	107,28
	F9	38,01
	F11	57,00
Total		707,34

Orientare - Vest		
Denumire element	Simbol	Suprafată [m²]
Perete exterior - Vest 1	PE_V1	30,25
Perete exterior - Vest 2	PE_V2	4,40
Perete exterior - Vest 3	PE_V3	170,46
Tâmplărie PVC	F1	15,60
	F3	15,78
	F4	9,35
	F10	51,66
	F14	17,61
Tâmplărie de lemn	U5	10,90
Total		326,01

ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Încălzire

Tabelul A5.1 - Configurare și parametrii termotehnici elemente opace anvelopă spațiu încălzit

Element	d [mm]	λ [W/mK]	R _{si}	R _{se}	R	U [W/m ² K]
			[m ² K/W]			
Perete exterior – PE – tip 1						
Tencuială interioară	15	0,930	0,125	0,05	6,451	0,155
Zidărie BCA	250	0,109				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată mi. bazaltică	150	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Perete exterior – PE – tip 2						
Stâlp beton armat	200	1,740	0,125	0,05	5,552	0,180
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	200	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Perete interior – PSN – tip 1						
Tencuială interioară	15	0,930	0,125	0,84	6,485	0,154
Zidărie BCA	250	0,109				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	150	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Perete interior – PSN – tip 2						
Stâlp beton armat	200	1,740	0,125	0,84	5,586	0,179
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	200	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Planșeu pe sol – PS – tip 1						
Gresie	10	2,030	0,167	0,042	9,467	0,106
Adeziv	10	0,930				
Șapă	30	0,930				
Polistiren expandat	30	0,042				
Placă beton armat	100	1,740				
Folie polietilenă	2	0,290				
Polistiren extrudat	200	0,036				
Balast	170	0,700				
Umplutură pământ	600	1,500				
Argilă praf vinețiu	800	2,000				
Argilă praf cafeniu	1000	3,000				
Argilă praf și nisip	1600	3,200				
Nisip fin cu praf	2600	3,000				
Nisip mijl. cafeniu	400	3,000				

Planșeu pe sol – PS – tip 2						
Fundație beton	1800	1,740	0,167	0,042	3,291	0,304
Balast	150	0,700				
Argilă praf cafeniu	1000	3,000				
Argilă praf și nisip	1600	3,200				
Nisip fin cu praf	2600	3,000				
Nisip mijl. cafeniu	400	3,000				
Planșeu pe sol – PS – tip 3						
Gresie	10	2,030	0,167	0,042	7,146	0,140
Adeziv	10	0,930				
Șapă	30	0,930				
Polistiren expandat	30	0,042				
Grindă beton armat	350	1,740				
Folie polietilenă	2	0,290				
Polistiren extrudat	120	0,036				
Umplutură pământ	600	1,500				
Argilă praf vînietiu	800	2,000				
Argilă praf cafeniu	1000	3,000				
Argilă praf și nisip	1600	3,200				
Nisip fin cu praf	2600	3,000				
Nisip mijl. cafeniu	400	3,000				
Planșeu spre spațiu neîncălzit - PN						
Covor PVC	4	0,230	0,167	0,084	7,716	0,130
Adeziv	6	0,230				
Șapă	60	0,930				
Folie polietilenă	2	0,290				
Polistiren expandat	30	0,042				
Placă beton armat	130	1,740				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	250	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Planșeu inferior – PI – tip 1						
Gresie	10	2,030	0,167	0,05	7,639	0,131
Adeziv	10	0,930				
Șapă	50	0,930				
Polistiren expandat	30	0,042				
Placă beton armat	130	1,740				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	250	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Planșeu inferior – PI – tip 2						
Gresie	10	2,030	0,167	0,05	2,816	0,355
Adeziv	10	0,930				
Șapă	50	0,930				
Polistiren expandat	30	0,042				
Placă beton armat	800	1,740				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	50	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Strat de grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				

220 ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Planșeu spre pod – PP – tip 1						
Vată min. bazaltică	250	0,039	0,125	0,042	6,675	0,150
Folie polietilenă	2	0,290				
Placă beton armat	130	1,740				
Tencuială interioară	15	0,930				
Planșeu spre pod – PP – tip 2						
Vată min. bazaltică	100	0,039	0,125	0,042	3,711	0,269
Talpă lemn	150	0,170				
Folie polietilenă	2	0,290				
Placă beton armat	130	1,740				
Tencuială interioară	15	0,930				
Planșeu spre pod – PP – tip 3						
Pop lemn	250	0,170	0,125	0,042	1,735	0,576
Folie polietilenă	2	0,290				
Placă beton armat	130	1,740				
Tencuială interioară	15	0,930				
Planșeu spre pod – PP – tip 4						
Cărămidă aerisire	30	0,262	0,125	0,042	4,128	0,242
Vată min. bazaltică	150	0,039				
Planșeu spre pod – PP – tip 5						
Izolație elastomerică	19	0,036	0,125	0,042	0,695	1,439

Tabelul A5.2 - Configurare și parametrii termotehnici elemente opace anvelopă spații neîncălzite

Element	d [mm]	λ [W/mK]	Rsi	Rse	R	U [W/m ² K]
			[m ² K/W]			
Planșeu pe sol garaj – PSG						
Beton sclivisit	60	0,930	0,167	0,042	3,172	0,315
Placă beton armat	100	1,740				
Balast	170	0,700				
Umplutură pământ	600	1,500				
Argilă praf vînietiu	800	2,000				
Argilă praf cafeniu	1000	3,000				
Argilă praf și nisip	1600	3,200				
Nisip fin cu praf	2600	3,000				
Nisip mijl. cafeniu	400	3,000				
Perete calcan – PCN						
Vată min. bazaltică	100	0,0384	0,083	0,05	6,721	0,149
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Zidărie BCA	250	0,109				
Adeziv termoizolație	10	0,430				
Vată min. bazaltică	150	0,0384				
Masă de șpaclu	10	0,430				
Grund	2	0,430				
Tencuială decorativă	3	1,280				
Învelitoare – INV						
Căpriori - 80x150 mm	24	0,17	0,083	0,05	0,345	2,901
Sipci - R1 - 50x30 mm	3	0,17				
Sipci - R2 - 50x30 mm	5	0,17				
Folie polietilenă	2	0,29				
Tigla ceram. - 240x390mm	13	0,80				

Tabelul A5.3 - Rezistențe termice medii elemente de anvelopă spațiu încălzit

Element	R [m ² K/W]	Suprafață [m ²]	Suprafață totală [m ²]	R _m [m ² K/W]
Perete exterior – PE				
PE – tip 1	6,451	1218,89	1423,96	6,304
PE – tip 2	5,552	205,07		
Perete interior – PSN				
PSN – tip 1	6,485	53,69	61,12	6,361
PSN – tip 2	5,586	7,43		
Planșeu pe sol – PS				
PS – tip 1	9,467	798,79	873,75	9,015
PS – tip 2	3,291	12,54		
PS – tip 3	7,146	62,42		
Planșeu inferior – PI				
PI – tip 1	7,639	34,50	35,40	7,321
PI – tip 2	2,816	0,90		
Planșeu spre pod – PP				
PP – tip 1	6,675	935,08	946,90	6,521
PP – tip 2	3,711	5,90		
PP – tip 3	1,735	3,78		
PP – tip 4	4,128	1,44		
PP – tip 5	0,695	0,70		
Tâmplărie exterioară PVC – TPVC				
F1 - 1480 x 2635	1,441	58,50	621,32	1,440
F1' - 1480 x 2635	1,376	19,50		
F2 - 1480 x 1135	1,402	20,16		
F3 - 1480 x 3555	1,455	63,14		
F4 - 3280 x 2960	1,516	9,35		
F5 - 1480 x 2140	1,396	184,76		
F6 - 1480 x 960	1,370	8,52		
F6' - 1480 x 960	1,252	5,68		
F7 - 1780 x 3040	1,515	10,82		
F8 - 1780 x 3140	1,521	11,18		
F9 - 1480 x 2140	1,403	38,01		
F10 - 1480 x 2040	1,388	51,66		
F11 - 3480 x 1365	1,498	99,75		
F12 - 1780 x 1365	1,468	2,43		
F13 - 1780 x 1265	1,454	2,25		
F14 - 3480 x 1265	1,483	17,61		
U1 - 1780 x 2100	1,407	7,48		
U2 - 1480 x 3555	1,394	5,26		
Tâmplărie interioară metalică – TM				
U3 - 900 x 2050	0,671	1,85	5,61	0,665
U4 - 1820 x 2070	0,662	3,77		

Tabelul A5.4 - Rezistențe termice medii elemente de anvelopă spațiu neîncălzit

Element	R [m ² K/W]	Suprafață [m ²]	Suprafață totală [m ²]	R _m [m ² K/W]
Perete exterior – PE				
PE – tip 1	6,451	32,82	36,69	6,343
PE – tip 2	5,552	3,87		

222 ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Tabelul A5.5 - Rezistențe termice medii corectate elemente opace spațiu încălzit

R_m [m ² K/W]	Punți termice	Ψ [W/mK]	L [m]	r [-]	R'_m [m ² K/W]	U' [W/m ² K]
Perete exterior – PE						
6,304	stâlp colț ieșind	0,058	131,8	0,829	5,226	0,191
	stâlp interm.	0,027	735,1			
	planșeu curent	0,034	536,1			
	perete colț ieș.	0,060	8,25			
	colț casa scării	0,065	4,13			
	colț ușă garaj	0,029	4,13			
Perete interior – PSN						
6,361	colț casa scării	0,040	4,13	0,938	5,966	0,168
	colț ușă garaj	0,029	4,13			
	stâlp colț ieșind	0,058	4,13			
	stâlp interm.	0,027	4,13			
Planșeu pe sol – PS						
9,015	soclu exterior	0,091	142,3	0,870	7,845	0,127
	soclu garaj	0,091	16,6			
Planșeu spre spațiu neîncălzit - PN						
7,716	grindă perim.	0,043	13,4	0,801	6,180	0,162
	grindă interior	0,098	6,85			
Planșeu inferior – PI						
7,321	grindă perim.	0,098	15,6	0,717	5,247	0,191
	grindă interior	0,098	3,90			
Planșeu spre pod – PP						
6,521	calcan	0,013	31,1	0,933	6,085	0,164
	cosoroabă	0,082	121,9			
Perete cărămidă sticlă – PC						
0,714	-	-	-	-	0,714	1,400
Chepeng pod – CH						
1,670	-	-	-	-	1,670	0,600

Tabelul A5.6 - Rezistențe termice medii corectate elemente vitrate anvelopă spațiu încălzit

R_m [m ² K/W]	Element	$\Psi \times L$ [W/K]	r [-]	r_m [-]	R'_m [m ² K/W]	U' [W/m ² K]
Tâmplărie exterioară PVC – TPVC						
1,440	F1 - 1480 x 2635	0,788	0,788	0,763	1,099	0,910
	F1' - 1480 x 2635	0,878	0,764			
	F2 - 1480 x 1135	0,476	0,716			
	F3 - 1480 x 3555	0,952	0,792			
	F4 - 3280 x 2960	1,773	0,777			
	F5 - 1480 x 2140	0,691	0,755			
	F6 - 1480 x 960	0,438	0,703			
	F6' - 1480 x 960	0,496	0,696			
	F7 - 1780 x 3040	1,031	0,776			
	F8 - 1780 x 3140	1,053	0,777			
	F9 - 1480 x 2140	0,708	0,761			
	F10 - 1480 x 2040	0,681	0,752			
	F11 - 3480 x 1365	1,004	0,760			
	F12 - 1780 x 1365	0,586	0,738			
	F13 - 1780 x 1265	0,587	0,725			
	F14 - 3480 x 1265	0,975	0,753			
	U1 - 1780 x 2100	0,599	0,816			
	U2 - 1480 x 3555	0,981	0,794			
F1 - 1480 x 2635	1,071	0,785				

Tâmplărie exterioară lemn – TL						
0,872	U5 - 3010 x 3620	3,097	0,801	0,801	0,699	1,431
Tâmplărie interioară metalică – TM						
0,665	U3 - 900 x 2050	0,234	0,922	0,935	0,622	1,608
	U4 - 1820 x 2070	0,353	0,942			

Tabelul A5.7 - Rezistențe termice medii corectate elemente opace spații neîncălzite

R_m [m ² K/W]	Punți termice	Ψ [W/mK]	L [m]	r [-]	R'_m [m ² K/W]	U' [W/m ² K]
Perete exterior garaj – PEG						
6,343	soclu exterior	0,091	13,40	0,783	4,966	0,201
	stâlp interm.	0,027	4,53			
	stâlp colț ieșind	0,058	4,53			
Planșeu pe sol garaj – PSG						
3,172	soclu garaj	0,091	13,40	0,909	2,884	0,347
Perete calcan – PC						
6,721	cosoroabă	0,094	31,10	0,763	5,129	0,195

$$\lambda_{ech} = \frac{\sum(\lambda_j \cdot A_j)}{\sum A_j} [W/mK] \quad [54] \quad \text{Ec. 89}$$

- λ_{ech} - conductivitate termică echivalentă [W/mK]
 λ_i - conductivitate termică materiale componente [W/mK]
 A_j - aria materialelor componente în planul stratului [m²]

Tabelul A5.8 - Conductivitate termică echivalentă perete zidărie BCA

Strat cvasiomogen – zidărie BCA și mortar			
Element	λ [W/mK]	Arie element pe suprafață de 1 m ²	$\lambda_{ech,zid}$ [W/mK]
BCA – 250x250x600 mm	0,102	0,9776	0,109
Mortar BCA – 5 mm	0,400	0,0224	

$$\lambda_{ech} = \lambda + d \cdot n_{anc} \cdot \chi [W/mK] \quad [54] \quad \text{Ec. 90}$$

- λ_{ech} - conductivitate termică echivalentă [W/mK]
 λ - conductivitate termică material termoizolant [W/mK]
 d - grosime material termoizolant [m]
 n_{anc} - număr ancore pe metru pătrat [buc/m²]
 χ - coeficient punctual de transfer termic [W/K]

Tabelul A5.9 - Conductivitate termică echivalentă termosistem pereți exteriori

Strat cvasiomogen – termoizolație vată minerală și ancore oțel				
Element	λ [W/mK]	Număr dibluri pe m ²	χ [W/K]	$\lambda_{ech,iz}$ [W/mK]
Vată minerală bazaltică	0,036	8	0,002	0,0384
Diblu oțel inoxidabil	-			

Tabelul A5.10 - Centralizator tâmplărie exterioară

Tip	Dimensiune [b x h]	Nr. [buc]	Nord	Vest	Sud	Est
			[buc]			
F1	1480 x 2635 mm	15	3	4	8	-
F1'	1480 x 2635 mm	5	3	-	2	-
F2	1480 x 1135 mm	12	4	-	6	2
F3	1480 x 3555 mm	12	2	3	7	-
F4	3280 x 2960 mm	1	-	1	-	-
F5	1480 x 2140 mm	62	20	-	36	6
F6	1480 x 960 mm	6	4	-	-	2
F6'	1480 x 960 mm	4	4	-	-	-
F7	1780 x 3040 mm	2	2	-	-	-
F8	1780 x 3140 mm	2	2	-	-	-
F9	1480 x 2140 mm	12	-	-	12	-
F10	1480 x 2040 mm	18	-	18	-	-
F11	3480 x 1365 mm	21	7	-	12	2
F12	1780 x 1365 mm	1	1	-	-	-
F13	1780 x 1265 mm	1	1	-	-	-
F14	3480 x 1265 mm	4	-	4	-	-
U1	1780 x 2100 mm	2	2	-	-	-
U2	1480 x 3555 mm	1	1	-	-	-
U2'	1480 x 3555 mm	1	1	-	-	-
U3	900 x 2050 mm	1	1	-	-	-
U4	1820 x 2070 mm	1	-	-	-	1
U5	3010 x 3620 mm	1	-	1	-	-
U6	3480 x 3190 mm	1	-	-	1	-

Tabelul A5.11 - Caracteristici dimensionale tâmplărie exterioară

Tip	Arie tâmplărie A_F [m ²]	Arie toc și cercevele A_r [m ²]	Arie geam A_g [m ²]	Arie panou opac A_p [m ²]	Raport A_r/A_F [m ²]	
F1	3,90	1,51	2,39	0,00	39%	
F1'	3,90	1,63	1,82	0,45	42%	
F2	1,68	0,72	0,96	0,00	43%	
F3	5,26	1,97	3,29		37%	
F4	9,35	2,98	6,37		32%	
F5	2,98	1,29	1,69		43%	
F6	1,42	0,65	0,77		46%	
F6'	1,42	0,72	0,29		0,41	51%
F7	5,41	1,73	3,68		0,00	32%
F8	5,59	1,76	3,83	32%		
F9	3,17	1,35	1,82	43%		
F10	2,87	1,26	1,61	44%		
F11	4,75	1,59	3,16	33%		
F12	2,43	0,88	1,55	36%		
F13	2,25	0,84	1,41	37%		
F14	4,40	1,53	2,87	35%		
U1	3,74	1,57	2,16	42%		
U2	5,26	2,28	2,98	43%		
U2'	5,26	2,43	2,39	0,44	46%	
U3	1,85	0,23	0,00	1,79	12%	
U4	3,77	0,27		3,40	7%	
U5	10,90	4,85		2,24	3,80	45%
U6	11,10	0,00	0,00	11,10	0%	

Tabelul A5.12 - Caracteristici termotehnice tâmplărie exterioară

Coeficienți transfer termic tâmplărie						
Tip	U_f [W/m ² K]	U_g [W/m ² K]	U_p [W/m ² K]	$l_{f,inf}$ [m]	$\Psi_{f,inf}$ [W/mK]	
F1	1,00	0,50	-	1,48	0,099	
F1'			0,655	1,48		
F2			-	1,48	0,029	
F3				1,48		
F4				3,28		
F5				1,48		
F6				1,48		
F6'				0,655		1,48
F7				1,78		0,099
F8				1,78		
F9				1,48		
F10				1,48		
F11			3,48			
F12			1,78			
F13			2,00			
F14			3,48			
U1			1,78	0,029		
U2			1,48			
U2'			0,655		1,48	
U3			1,49		0,90	0,099
U4	1,51		1,82			
U5	1,48	0,90	0,869	1,82		
U6	0,512		3,48			

Tabelul A5.13 - Caracteristici termotehnice tâmplărie exterioară

Coeficienți transfer termic tâmplărie							
Tip	$l_{f,sup+lat}$ [m]	$\Psi_{f,sup+lat}$ [W/mK]	l_g [m]	Ψ_l [W/mK]	l_p [m]	Ψ_p [W/mK]	
F1	6,75	0,029	11,47	0,039	-	0,039	
F1'	6,75		10,53		3,26		
F2	3,75		5,68		-		
F3	8,59		16,98				
F4	9,20		36,25				
F5	5,76		9,73				
F6	3,40		4,98				
F6'	3,40		3,27				3,20
F7	7,86		16,14				-
F8	8,06		16,54				
F9	5,76		10,17				
F10	5,56		9,61				
F11	6,21		12,33				
F12	4,51		7,20				
F13	4,31		6,80				
F14	6,01		11,73				
U1	5,98		9,62		3,23		
U2	8,59		17,72				
U2'	8,59		16,81				
U3	5,00		-		-		-
U4	5,96	-	-	-			
U5	11,44	25,56	0,039	40,82	0,039		
U6	9,86	0,099	-	-	-		

Tabelul A5.14 - Performanțe termotehnice tâmplărie exterioară

Performanțe termice tâmplărie				
Tip	R [m ² K/W]	r [-]	R' [m ² K/W]	U' [W/m ² K]
F1	1,441	0,788	1,116	0,896
F1'	1,376	0,764	1,050	0,952
F2	1,402	0,716	1,003	0,997
F3	1,455	0,792	1,152	0,868
F4	1,516	0,777	1,178	0,849
F5	1,396	0,755	1,054	0,948
F6	1,370	0,703	0,963	1,039
F6'	1,252	0,696	0,871	1,148
F7	1,515	0,776	1,176	0,851
F8	1,521	0,777	1,182	0,846
F9	1,403	0,761	1,067	0,937
F10	1,388	0,752	1,044	0,957
F11	1,498	0,760	1,138	0,879
F12	1,468	0,738	1,084	0,923
F13	1,454	0,725	1,054	0,948
F14	1,483	0,753	1,117	0,896
U1	1,407	0,816	1,148	0,871
U2	1,394	0,794	1,107	0,904
U2'	1,344	0,785	1,055	0,948
U3	0,671	0,922	0,618	1,617
U4	0,662	0,942	0,624	1,604
U5	0,872	0,801	0,699	1,431
U6	1,953	0,811	1,585	0,631

Tabelul A5.15 - Temperaturile medii lunare ale spațiilor neîncălzite

Temperaturi medii lunare spații neîncălzite [°C]					
Aprovizionare					
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai.	Iun.
4,167	5,226	8,326	12,863	17,173	19,593
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.
20,878	20,425	16,341	12,787	8,629	4,697
Pod					
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mai.	Iun.
0,167	1,531	5,527	11,374	16,929	20,047
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.
21,704	21,119	15,857	11,276	5,917	0,849

$$M_c = \sum (A_m \cdot \rho_m \cdot d_m \cdot c_m) [J/K] \quad [21] \quad \text{Ec. 91}$$

M _c	- capacitate termică elemente de construcție	[J/K]
A _m	- suprafața interioară element de construcție	[m ²]
ρ _m	- densitate material	[kg/m ³]
d _m	- grosime material	[m]
c _m	- capacitate termică material	[J/kg K]

Tabelul A5.16 - Capacitate termică elemente de construcție exterioare și interioare

Element	Grosime [mm]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg K]	Suprafață [m ²]	M _c [kJ/K]
Perete exterior – PE – tip 1					
Tencuială interioară	15	1700	840	1218,89	82055,70
Zidărie BCA	85	400	1350		
Perete exterior – PE – tip 2					
Beton armat	100	2500	840	205,07	43064,70
Perete interior – PSN – tip 1					
Tencuială interioară	15	1700	840	53,69	3614,40
Zidărie BCA	85	400	1350		
Perete interior – PSN – tip 2					
Beton armat	100	1600	1460	7,43	1735,60
Planșeu pe sol – PS					
Gresie	10	2400	920	873,75	72136,80
Adeziv	10	1800	840		
Șapă	30	1800	840		
Planșeu spre spațiu neîncălzit – PN					
Covor PVC	4	1400	1460	38,73	4486,20
Adeziv	6	1400	1460		
Șapă	60	1800	840		
Folie polietilenă	2	1600	1460		
Planșeu inferior – PI					
Gresie	10	2400	920	35,40	4158,50
Adeziv	10	1800	840		
Șapă	50	1800	840		
Folie polietilenă	2	1600	1460		
Planșeu spre pod – PP					
Tencuială interioară	15	1700	840	946,90	189304,20
Beton armat	85	2500	840		
Pereți interiori – BCA – 200 mm					
Tencuială interioară	15	1700	840	1647,21	110890,30
Zidărie BCA	85	400	1350		
Pereți interiori – BCA – 150 mm					
Tencuială interioară	15	1700	840	307,45	19037,60
Zidărie BCA	75	400	1350		
Pereți interiori – BCA – 100 mm					
Tencuială interioară	15	1700	840	385,59	18670,10
Zidărie BCA	50	400	1350		
Pereți interiori – beton – stâlpi					
Tencuială interioară	15	1700	840	242,65	48510,40
Beton armat	85	2500	840		
Pereți interiori – beton – grinzi					
Tencuială interioară	15	1700	840	238,60	46565,50
Beton armat	85	1400	1460		
Planșeu intermediar - PVC					
Covor PVC	4	1400	1460	1153,96	133665,50
Adeziv	6	1400	1460		
Șapă	60	1800	840		
Folie polietilenă	2	1600	1460		
Planșeu intermediar – gresie					
Gresie	10	2400	920	1330,21	156262,40
Adeziv	10	1800	840		
Șapă	50	1800	840		
Folie polietilenă	2	1600	1460		

228 ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Planșeu intermediar – parchet					
Parchet laminat	14	550	2510	362,26	41158,20
Adeziv	6	1600	1460		
Șapă	50	1800	840		
Folie polietilenă	2	1600	1460		
				ΣM [MJ/K]	975,32

$$G1 = \frac{1}{V} \cdot \left[\sum \frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_{mj}} \right] [W/m^3K] [51] \quad \text{Ec. 92}$$

- V - volum încălzit [m³]
 A_j - arie element construcție [m²]
 τ_j - factor corecție diferență temperatură între medii separate de elementul anvelopă [-]
 R' _{mj} - rezistență termică specifică corectată medie element anvelopă [m²K/W]

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e} [-] [51] \quad \text{Ec. 93}$$

- θ_i - temperatură interioară convențională de calcul [°C]
 θ_a - temperatură mediu ambient [°C]
 θ_e - temperatură exterioară de calcul [°C]

Tabelul A5.17 - Coeficient global de izolare termică pentru întreaga clădire

G1 – Școală P+3E							
Element	Suprafață [m ²]	R' _m [m ² K/W]	θ _a [°C]	θ _i [°C]	τ [-]	L x τ [W/K]	
PE	1423,96	5,226	-15	18,02	1,00	272,48	
PSN	61,12	5,966	12,64		0,163	1,67	
PS	873,75	7,845	10		0,243	27,05	
PN	38,73	6,180	12,64		0,163	1,02	
PI	35,40	5,247	-15		1,00	6,75	
PP	946,90	6,085	11,08		0,210	32,70	
PC	12,96	0,714	-15		1,00	18,14	
CH	0,94	1,667	11,08		0,210	0,12	
TPVC	621,32	1,099	-15		1,00	565,60	
TL	19,90	0,699	-15		1,00	15,60	
TM	5,61	0,622	12,64		0,163	1,47	
Σ(L x τ) [W/K]						942,60	
Volum [m ³]						12402	
G1 [W/m ³ K]						0,076	

$$G1_{ref} = \frac{1}{V} \cdot \left[\frac{A_1}{a} + \frac{A_2}{b} + \frac{A_3}{c} + d \cdot P + \frac{A_4}{e} \right] [W/m^3K] [51] \quad \text{Ec. 94}$$

- A₁ - arie componente verticale opace [m²]
 A₂, A₃ - arie planșeu ultimul nivel / planșeu inferior [m²]
 P - perimetru exterior în contact cu solul [m]
 A₄ - arie componente transparente sau translucide [m²]
 a,b,c,d,e - coeficienți de control elemente construcție [m²K/W] / [W/mK]

Tabelul A5.18 - Coeficient global de referință pentru întreaga clădire

G_{1,ref} – Școală P+3E			
Tip element	Denumire	Dimensiune [m ²] / [m]	Coeficient de control [m ² K/W] / [W/mK]
a	Elemente verticale opace	1485,08	1,60
b	Planșeu peste ultimul nivel	947,84	4,50
c	Planșee inferioare	947,88	2,30
d	Perimetru - planșeu pe sol	158,96	1,40
e	Elemente transparente	650,78	0,50
Volum [m ³]			12402
G _{1,ref} [W/m ³ K]			0,248

Tabelul A5.19 - Coeficient global de izolare termică pentru primele trei niveluri

G₁ – Școală P+2E						
Element	Suprafață [m ²]	R' _m [m ² K/W]	θ _a [°C]	θ _i [°C]	τ [-]	L x τ [W/K]
PE	1156,61	5,226	-15	18,02	1,00	221,32
PSN	61,12	5,966	12,64		0,163	1,67
PS	873,75	7,845	10		0,243	27,05
PN	38,73	6,180	12,64		0,163	1,02
PI	35,40	5,247	-15		1,00	6,75
PC	8,64	0,714	-15		1,00	12,10
TPVC	499,27	1,099	-15		1,00	454,29
TL	19,90	0,699	-15		1,00	15,60
TM	5,61	0,622	12,64		0,163	1,47
Σ(L x τ) [W/K]						741,27
Volum [m ³]						9914
G ₁ [W/m ³ K]						0,075

Tabelul A5.20 - Coeficient global de referință pentru primele trei niveluri

G_{1,ref} – Școală P+2E			
Tip element	Denumire	Dimensiune [m ²] / [m]	Coeficient de control [m ² K/W] / [W/mK]
a	Elemente verticale opace	1217,73	1,60
b	Planșeu peste ultimul nivel	0	4,50
c	Planșee inferioare	947,88	2,30
d	Perimetru - planșeu pe sol	158,96	1,40
e	Elemente transparente	524,41	0,50
Volum [m ³]			9914
G _{1,ref} [W/m ³ K]			0,247

$$G = \frac{\sum(L_j \cdot \tau_j)}{V} + 0,34 \cdot n_a \text{ [W/m}^3\text{K]} \quad [128] \quad \text{Ec. 95}$$

L_j - coeficient de cuplaj termic [W/K]
n_a - numărul de schimburi de aer pe oră [h⁻¹]

Tabelul A5.21 - Coeficient global de izolare termică pentru etajul 3 al clădirii

G – Cămin E3						
Element	Suprafață [m ²]	R' _m [m ² K/W]	θ _a [°C]	θ _i [°C]	τ [-]	L x τ [W/K]
PE	267,35	5,226	-15	18,02	1,00	51,16
PC	4,32	0,714	-15		1,00	6,05
TPVC	122,04	1,099	-15		1,00	111,05
PP	946,90	6,085	11,08		0,210	32,70
CH	0,94	1,667	11,08		0,210	0,12
Σ(L x τ) [W/K]						201,07
Volum [m ³]						2488
G [W/m ³ K]						0,251

Tabelul A5.22 - Coeficient global normat de izolare termică pentru etajul 3 al clădirii

GN – Cămin E3		
Număr niveluri	Raport A/V [m ² /m ³]	GN [W/m ³ K]
4	0,50	0,46
	0,539	0,4678
	0,55	0,47
Aria anvelopei [m ²]		1341,55
Volum [m ³]		2488

$$\frac{\sum m_j \cdot A_j}{A} \text{ [kg/m}^2\text{] [51]} \quad \text{Ec. 96}$$

- m_j - masă unitară elemente construcție [kg/m²]
 A_j - arie utilă elemente construcție [m²]
 A - arie desfășurată parte clădire analizată [m²]

Tabelul A5.23 - Calcul inerție termică pentru o sală de clasă

Sală de clasă – etaj 1				
Elemente	Grosime [mm]	ρ [kg/m ³]	m [kg/m ²]	Suprafață [m ²]
Perete exterior				
Tencuială interioară	15	1700	147,98	16,41
Zidărie BCA	250	418		
Adeziv termoizolație	10	1800		
Perete interior				
Tencuială interioară	15	1700	67,29	66,61
Zidărie BCA	200	418		
Tencuială interioară	15	1700		
Plașeu inferior				
Gresie	10	2400	132,00	51,83
Adeziv	10	1800		
Șapă	50	1800		
Planșeu superior				
Placă beton armat	130	2500	150,00	51,83
Tencuială interioară	15	1700		
Raport clasă inerție [kg/m ²]				382,22
Clasă inerție				medie

Tabelul A5.24 - Calcul inerție termică pentru o unitate de apartament al căminului

Unitate apartament cămin – etaj 3				
Elemente	Grosime [mm]	ρ [kg/m ³]	m [kg/m ²]	Suprafață [m ²]
Perete exterior				
Tencuială interioară	15	1700	147,98	12,22
Zidărie BCA	250	418		
Adeziv termoizolație	10	1800		
Perete interior 1				
Tencuială interioară	15 +15	1700	67,29	51,74
Zidărie BCA	200	418		
Perete interior 2				
Tencuială interioară	15 + 15	1700	46,40	35,53
Zidărie BCA	100	418		
Plașeu inferior				
Parchet	13	550	108,35	50,82
Folie polietilenă	7	1600		
Șapă	50	1800		
Planșeu sub pod				
Folie polietilenă	2	1600	150,00	50,82
Placă beton armat	130	2500		
Tencuială interioară	15	1700		
Raport clasă inerție [kg/m ²]				344,21
Clasă inerție				medie

Tabelul A5.25 - Caracteristici și scenariu utilizare aparate electrice – aporturi interne

Nivel	Aparat electric	Nr. [buc]	Utilizare [ore/zi]	Utilizare [zile/an]	Putere [W]	Coefficient flux termic emis
Etaj 3	TV	23	4	250	45	0,89
	PC+Monitor	31	4		150	0,83
	Laptop	31	4		50	0,80
	Încărcător telefon	62	4		5	0,60
	Sistem audio	10	2		150	0,83
	Frigider tip 1	10	24	365	25	0,80
	Fier călcat	2	1	250	2000	1,00
	Aspirator	1	1		1900	0,79
	Frigider tip 2	2	24	365	45	0,89
	Plită	1	2	250	2500	0,46
	Cuptor	1	2		3000	0,47
	Microunde	1	2		1200	0,67
	Aparat cafea	2	1		800	1,00
	Grill	1	1		750	1,00
	Prăjitor	1	1	1000	1,00	
	UPS	1	24	365	250	0,50
NVR	1	24	20		0,50	
Etaj 2	PC+Monitor	4	2	175	150	0,83
	Proiector	9	2		210	0,83
	Laptop	9	2		50	0,80
	Copiator	1	1		500	0,60
	Încărcător telefon	45	1		5	0,60
Etaj 1	PC+Monitor	70	4	175	150	0,83
	Proiector	6	2		210	0,83
	Laptop	4	2		50	0,80
	Copiator	5	1		500	0,60
	Aparat cafea	2	1		800	1,00

232 ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Parter	Încărcător telefon	70	1		5	0,60
	PC+Monitor	2	8		150	0,83
	Laptop	2	2		50	0,80
	Copiator	1	1		500	0,60
	Încărcător telefon	50	1		5	0,60

Tabelul A5.26 - Caracteristici și scenariu utilizare echipamente tehnologice bucătărie – aporturi interne

Echipament	Nr. [buc]	Utilizare [ore/zi]	Utilizare [zile/an]	Putere [W]	Coefficient flux termic emis	Tip	
Congelator 1	1	24	280	616	0,40	Electric	
Frigider	4			249	0,40		
Congelator 2	1			500	0,40		
Sterilizator	1	2	205	36	0,80		
Tocat carne	1	1		1100	0,00		
Mixer	1	1		750	0,00		
Masă frig	1	24	280	185	0,40		Gaz
Marmită	1	2	205	24000	0,20		
Friteusă	1			25000	0,05		
Cuptor	1			24000	0,10		
Cărucior	1			2000	0,15		
Dulap cald	1	4	280	2570	0,05	Electric	
Mașină spălat	1	2	6000	0,15			
Dulap frig	1	24	280	50	0,40	Gaz	
Mașină gătit	1	1	30000	0,20			
Bain Marie 3	1	2	205	2400	0,30	Electric	
Bain Marie 4	1			3000	0,30		
Bazin refriger.	1			500	0,30		
Vitrină refriger.	1			400	0,40		
Casă central	1			1000	0,75		

Tabelul A5.27 - Valori lunare de calcul intensitate radiație solară

Intensitatea radiației solare lunare [W/m ²]						
Oradea – județ Bihor						
Nord						
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mar.	Iun.	
11,9	18,8	28,2	38,6	65,0	75,5	
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.	
76,8	66,6	48,0	23,4	14,0	10,1	
Est						
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mar.	Iun.	
27,9	49,9	60,9	74,9	73,7	78,0	
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.	
79,5	70,1	78,4	64,6	31,5	23,6	
Sud						
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mar.	Iun.	
69,9	99,6	95,2	93,5	90,1	94,5	
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.	
108,4	119,9	125,9	124,9	71,3	59,8	
Vest						
Ian.	Feb.	Mar.	Apr.	Mar.	Iun.	
27,9	49,9	60,9	74,9	73,7	78,0	
Iul.	Aug.	Sep.	Oct.	Noi.	Dec.	
79,5	70,1	78,4	64,6	31,5	23,6	

Tabelul A5.28 - Intensitate radiație solară perioada de încălzire

Luna	D _z	I _{sj} [W/m ²]							
		Nord		Est		Sud		Vest	
Ian.	31	11,9		27,9		69,9		27,9	
Feb.	29	18,8		49,9		99,6		49,9	
Mar.	31	28,2		60,9		95,2		60,9	
Apr.	17	38,6		74,9		93,5		74,9	
Mai.	0	65		73,7		90,1		73,7	
Iun.	0	75,5	120,0	78	277,9	94,5	529,4	78	277,9
Iul.	0	76,8		79,5		108,4		79,5	
Aug.	0	66,6		70,1		119,9		70,1	
Sep.	0	48		78,4		125,9		78,4	
Oct.	20	23,4		64,6		124,9		64,6	
Noi.	30	14		31,5		71,3		31,5	
Dec.	31	10,1		23,6		59,8		23,6	

Tabelul A5.29 - Factori umbrire tâmplărie exterioară

Orientare	Element	F _h	F ₀	F _f	F _{f'}	g _l	K
Nord	F1	1,000	0,974	1,000	0,612	0,54	0,815
	F1'		0,974		0,466		
	F2		0,943		0,573		
	F3		0,981		0,626		1,000
	F5		0,969		0,567		
	F6		0,933		0,540		
	F6'		0,933		0,201		1,000
	F7		0,978		0,680		
	F8		0,978		0,685		
	F11		0,688		0,665		0,815
	F12		0,688		0,637		
	F13		0,678		0,624		
	U1		0,968		0,578		1,000
	U1		0,900		0,578		
	U2		0,981		0,565		
U2'	1,000	0,981	0,455	0,815			
PCS	0,958	1,000	0,31		1,000		
Vest	F1	0,898	0,976	0,961	0,612	0,54	0,815
	F3	1,000	0,712	0,961	0,626		
	F4		0,975	0,980	0,681		
	F10		0,960	0,961	0,560		
	F14		0,628	0,983	0,651		
	U5		0,010	0,920	0,206		1,000
F1	0,862		0,971	0,971	0,612	0,815	
F2	0,874	0,936	0,971	0,573			
F3	0,827	0,979	0,971	0,626			
Sud	F5	1,000	0,965	0,971	0,567	0,815	
	F9		0,965	0,971	0,574		
	F11		0,548	0,987	0,665		

234 ANEXA 5 – TABELE DE CALCUL

Est	F1'	1,000	0,969	0,660	0,466		
	F2		0,931	0,010	0,573		1,000
	F5		0,962	0,750	0,567		0,815
	F6		0,919	0,010	0,540		1,000
	F11		0,942	0,921	0,665		0,815
	PCS		0,796	0,934	0,974		1,000
	PCS		1,000	0,948	0,974		1,000

Tabelul A5.30 - Valori parametrii de calcul coeficient specific de pierderi de căldură conducte încălzire

Conductă	Poziție	d_i [m]	$d_{a,i}$ [m]	λ [W/mK]	$\alpha_{a,i}$ [W/m ² K]	U' [W/mK]	
1	Interior clădire	0,020	0,046	0,036	3,91	0,183	
2		0,032	0,070		3,81	0,215	
3		0,040	0,078		3,76	0,247	
4		0,050	0,088		3,71	0,288	
5		0,040	0,078		3,99		0,251
6		0,050	0,088				0,293
7		0,063	0,101				0,347
8		0,075	0,113				0,397
9		0,016	0,034		3,91		0,175
10		0,020	0,046				0,183
11		0,016	0,034		3,99		0,176
12		0,025	0,051				0,212
13	Pod	0,040	0,078		3,76	0,247	
14	Teren natural	0,025	0,145		4,57	0,123	
15		0,075	0,200		4,78		0,215
16	Centrală termică	0,025	0,051				0,224
17		0,075	0,113				0,416
18		0,089	0,127				0,477
19		0,089	0,127		0,477		

Tabelul A5.31 - Valori parametrii de calcul coeficient de transfer de căldură conducte încălzire

Conductă	Poziție	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]	s_R [mm]	Material	λ_R [W/mK]	α_A [W/m ² K]					
1	Interior clădire	0,125	0,125	2,0	PeXa	0,35	3,91					
2				4,4			3,81					
3				5,5			3,76					
4				6,9			3,71					
5				5,5	0,45	Oțel	45	3,99				
6				6,9								
7				8,7								
8				10,3	0,084				4,78			
9				2,0						PeXa	0,35	3,91
10				2,3								
11				2,3						PeXa	0,35	3,76
12				2,3	Oțel	45	4,57					
13	Pod	5,5	0,35	3,76								
14	Teren natural	2,0	Oțel	45	4,78							
15		6,8										
16	Centrală termică	2,3	Oțel	45	4,78							
17		6,8										
18		8,7										
19												

ACM

Tabelul B5.1 - Valori parametrii de calcul coeficient specific de pierderi de căldură conducte ACM

Conductă	Poziție	d_R [m]	d_A [m]	λ [W/mK]	α_A [W/m ² K]	U_R [W/mK]	
1	Interior clădire	0,016	0,034	0,036	3,83	0,173	
2		0,020	0,046		0,185		
3		0,025	0,051		0,212		
4		0,032	0,070		0,217		
5		0,040	0,078		0,252		
6		0,050	0,088		0,294		
7	Teren natural	0,045	0,045		4,27	0,180	
8		0,071	0,071		3,99	0,225	
9	Centrală termică	0,025	0,063		4,76		0,194
10		0,032	0,070				0,226
11		0,050	0,088				0,307
12		0,030	0,068				0,217
13		0,089	0,127				0,476
14		0,048	0,086				0,298

Tabelul B5.2 - Valori parametrii de calcul coeficient de transfer de căldură conducte ACM

Conductă	Poziție	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]	S_R [mm]	Material	λ_R [W/mK]	α_A [W/m ² K]	
1	Interior clădire	0,125	0,125	2	PeXa	0,35	3,91	
2				Oțel	2,3	45	3,99	
3					2,9			
4					5,5			
5					6,9			
6				Teren natural	0,084	3	PPR	0,24
7	5		4,35					
8	Centrală termică		0,084	0,084	3	Oțel	45	4,78
9								
10								
11								
12								
13								
14								

Răcire

Tabelul C5.1 - Valori aporturi interne totale - perioadă răcire

$Q_{i,om,r}$	$Q_{i,aparate,r}$	$Q_{i,echip,r}$	$Q_{i,ilum,r}$	$Q_{ac,rec,r}$	$Q_{s,r}$	$Q_{i,r}$	Q_i [W/m ²]
[kWh/an]							
19316	6231	1569	606	7704	41528	76954	7,838

Ventilare

Tabelul D5.1 - Valori lunare de calcul parametrii ventilare perioadă încălzire

Etaj 3								
Element	U.M.	Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
θ_{em}	[°C]	11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20
θ_{rec}	[°C]	5,42	9,16	12,70	13,17	12,22	9,43	5,35
θ_{bat}	[°C]	16,52	14,76	13,10	12,87	13,32	14,63	16,55
h_{preinc}	ore	336	336	336	336	320	336	336
P_{preinc}	kW	2,67	4,52	6,26	6,50	6,03	4,65	2,64
Q_{preinc}	kWh	898	1518	2104	2183	1929	1563	887
h_{rest}	ore	408	384	408	408	376	408	384
Etaj 2								
Element	U.M.	Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
θ_{em}	[°C]	11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20
θ_{rec}	[°C]	4,58	8,32	11,85	12,33	11,38	8,59	4,51
θ_{bat}	[°C]	15,68	13,92	12,25	12,03	12,48	13,79	15,71
h_{preinc}	ore	176	168	120	112	168	176	168
P_{preinc}	kW	3,20	5,82	8,30	8,63	7,97	6,01	3,16
Q_{preinc}	kWh	564	978	996	967	1338	1058	530
h_{rest}	ore	568	552	624	632	528	568	552
Etaj 1								
Element	U.M.	Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
θ_{em}	[°C]	11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20
θ_{rec}	[°C]	4,77	8,51	12,04	12,52	11,57	8,78	4,70
θ_{bat}	[°C]	15,87	14,11	12,44	12,22	12,67	13,98	15,90
h_{preinc}	ore	176	168	120	112	168	176	168
P_{preinc}	kW	2,62	4,68	6,62	6,89	6,36	4,83	2,58
Q_{preinc}	kWh	462	786	795	771	1069	850	434
h_{rest}	ore	568	552	624	632	528	568	552
Sală mese								
Element	U.M.	Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
θ_{em}	[°C]	11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20
θ_{rec}	[°C]	4,69	8,43	11,97	12,44	11,49	8,70	4,62
θ_{bat}	[°C]	15,79	14,03	12,37	12,14	12,59	13,90	15,82
h_{preinc}	ore	44	42	30	28	42	44	42
P_{preinc}	kW	3,00	5,40	7,66	7,97	7,36	5,57	2,96
Q_{preinc}	kWh	132	227	230	223	309	245	124
h_{rest}	ore	700	678	714	716	654	700	678
Biblioteca								
Element	U.M.	Oct.	Noi.	Dec.	Ian.	Feb.	Mar.	Apr.
θ_{em}	[°C]	11,10	5,60	0,40	-0,30	1,10	5,20	11,20
θ_{rec}	[°C]	4,69	8,43	11,96	12,44	11,49	8,70	4,62
θ_{bat}	[°C]	15,79	14,03	12,36	12,14	12,59	13,90	15,82
h_{preinc}	ore	176	168	120	112	168	176	168
P_{preinc}	kW	0,35	0,63	0,90	0,93	0,86	0,65	0,35
Q_{preinc}	kWh	62	106	108	105	145	115	58
h_{rest}	ore	568	552	624	632	528	568	552

Tabelul D5.2 - Valori lunare de calcul parametrii ventilare perioadă răcire

Etaj 3						
Element	U.M.	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
θ_{em}	[°C]	28,70	31,31	33,96	33,03	30,43
θ_{rec}	[°C]	1,81	3,09	4,39	3,93	2,66

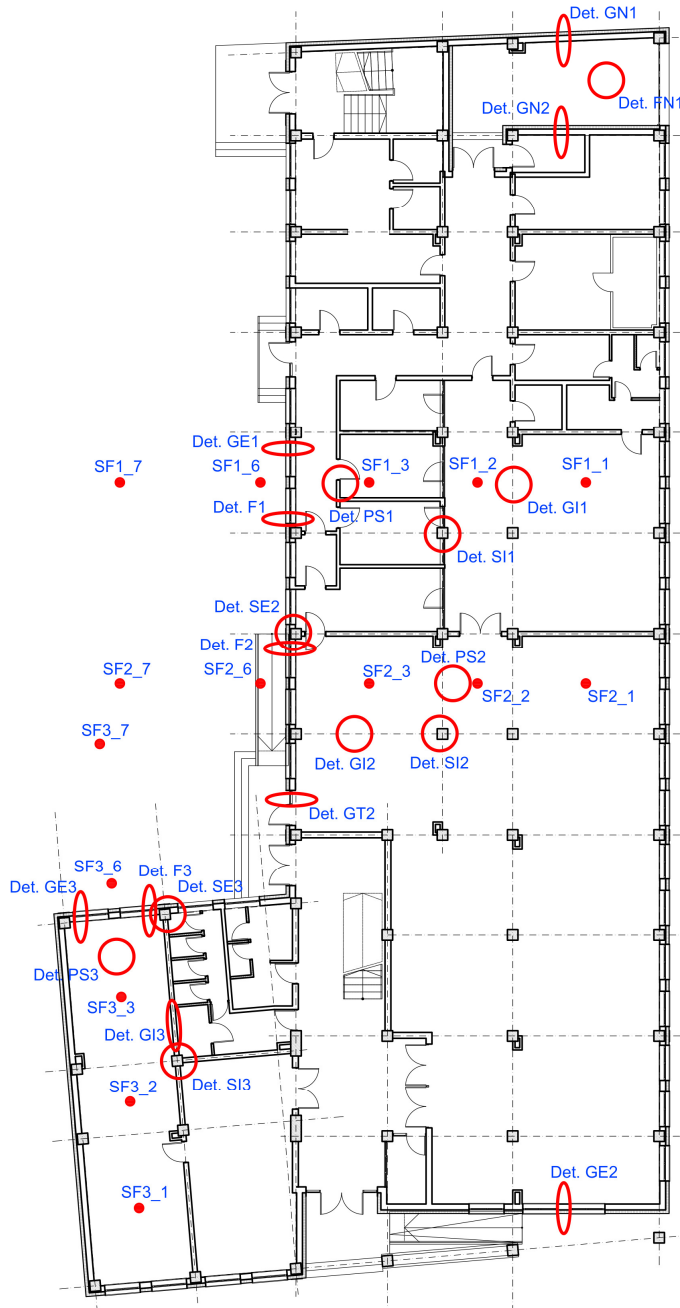
θ_{bat}	[°C]	26,89	28,22	29,57	29,10	27,77
$h_{prer\acute{a}c}$	ore	160	336	336	336	112
$P_{prer\acute{a}c}$	kW	2,49	4,58	6,08	5,58	3,48
$Q_{prer\acute{a}c}$	kWh	398	1539	2043	1873	390
$h_{rest,1}$	ore	408	384	408	408	400
$h_{rest,2}$	ore	176	0	0	0	208
Etaj 2						
Element	U.M.	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
θ_{em}	[°C]	28,70	31,31	33,96	33,03	30,43
θ_{rec}	[°C]	1,81	3,09	4,39	3,93	2,66
θ_{bat}	[°C]	26,89	28,22	29,57	29,10	27,77
$h_{prer\acute{a}c}$	ore	80	64	0	0	56
$P_{prer\acute{a}c}$	kW	3,53	6,50	0	0	4,94
$Q_{prer\acute{a}c}$	kWh	283	416	0	0	277
$h_{rest,1}$	ore	576	656	744	744	640
$h_{rest,2}$	ore	88	0	0	0	24
Etaj 1						
Element	U.M.	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
θ_{em}	[°C]	28,70	31,31	33,96	33,03	30,43
θ_{rec}	[°C]	1,81	3,09	4,39	3,93	2,66
θ_{bat}	[°C]	26,89	28,22	29,57	29,10	27,77
$h_{prer\acute{a}c}$	ore	80	64	0	0	56
$P_{prer\acute{a}c}$	kW	2,77	5,11	0	0	3,88
$Q_{prer\acute{a}c}$	kWh	222	327	0	0	217
$h_{rest,1}$	ore	576	656	744	744	640
$h_{rest,2}$	ore	88	0	0	0	24
Sală mese						
Element	U.M.	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
θ_{em}	[°C]	28,70	31,31	33,96	33,03	30,43
θ_{rec}	[°C]	1,81	3,09	4,39	3,93	2,66
θ_{bat}	[°C]	26,89	28,22	29,57	29,10	27,77
$h_{prer\acute{a}c}$	ore	40	32	0	0	16
$P_{prer\acute{a}c}$	kW	3,23	5,94	0	0	4,52
$Q_{prer\acute{a}c}$	kWh	129	190	0	0	72
$h_{rest,1}$	ore	660	688	744	744	698
$h_{rest,2}$	ore	44	0	0	0	6
Biblioteca						
Element	U.M.	Mai.	Iun.	Iul.	Aug.	Sep.
θ_{em}	[°C]	28,70	31,31	33,96	33,03	30,43
θ_{rec}	[°C]	1,81	3,09	4,39	3,93	2,66
θ_{bat}	[°C]	26,89	28,22	29,57	29,10	27,77
$h_{prer\acute{a}c}$	ore	80	64	0	0	56
$P_{prer\acute{a}c}$	kW	0,12	0,22	0	0	0,17
$Q_{prer\acute{a}c}$	kWh	10	14	0	0	10
$h_{rest,1}$	ore	576	656	744	744	640
$h_{rest,2}$	ore	88	0	0	0	24

Tabelul D5.3 - Valori parametrilor de calcul coeficient specific de pierderi de căldură conducte ventilare

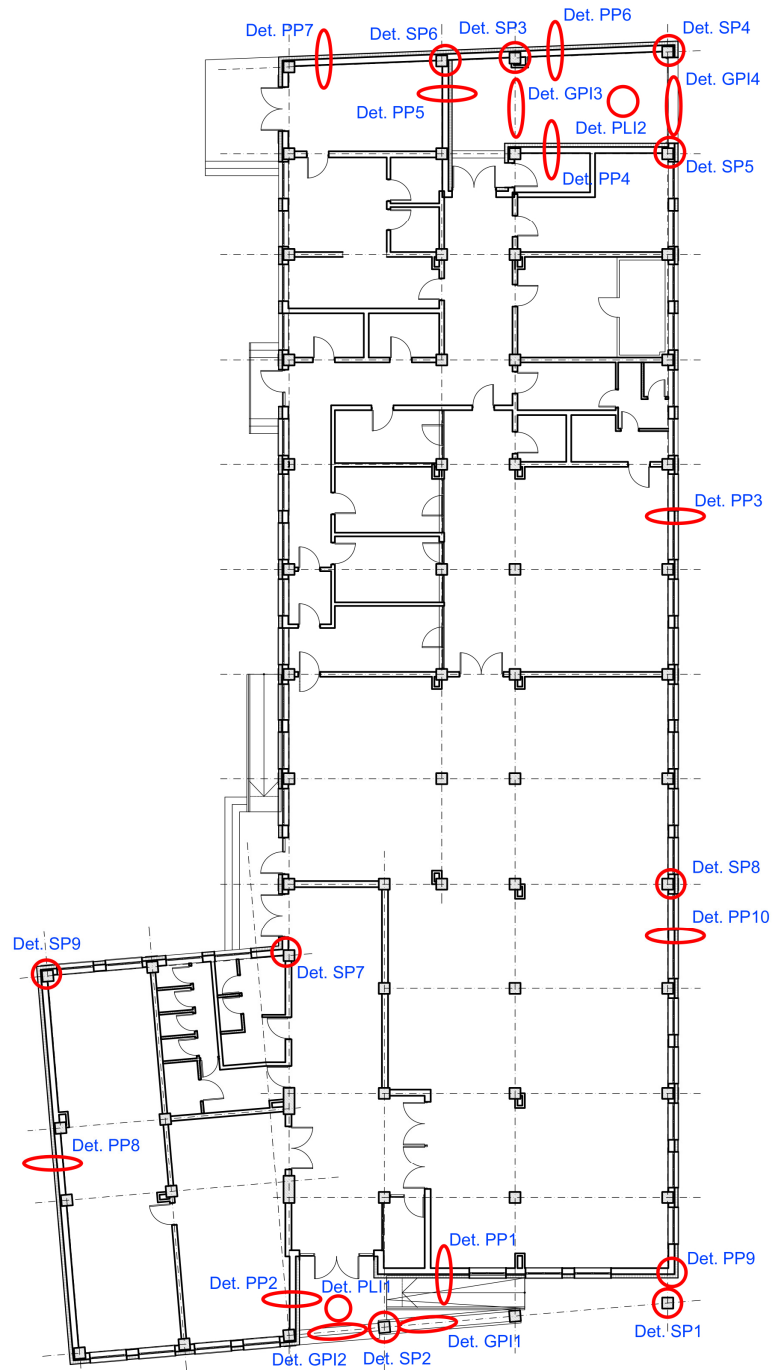
Conductă	Poziție	d_R [m]	d_A [m]	λ [W/mK]	α_A [W/m ² K]	$U_{R,v}$ [W/mK]
1	Pod	0,500	0,638	0,038	3,76	0,866
2		0,350	0,488			0,638
3		0,150	0,288			0,330
4		0,125	0,185	0,040		0,495

ANEXA 6 – SISTEMUL DE MONITORIZARE

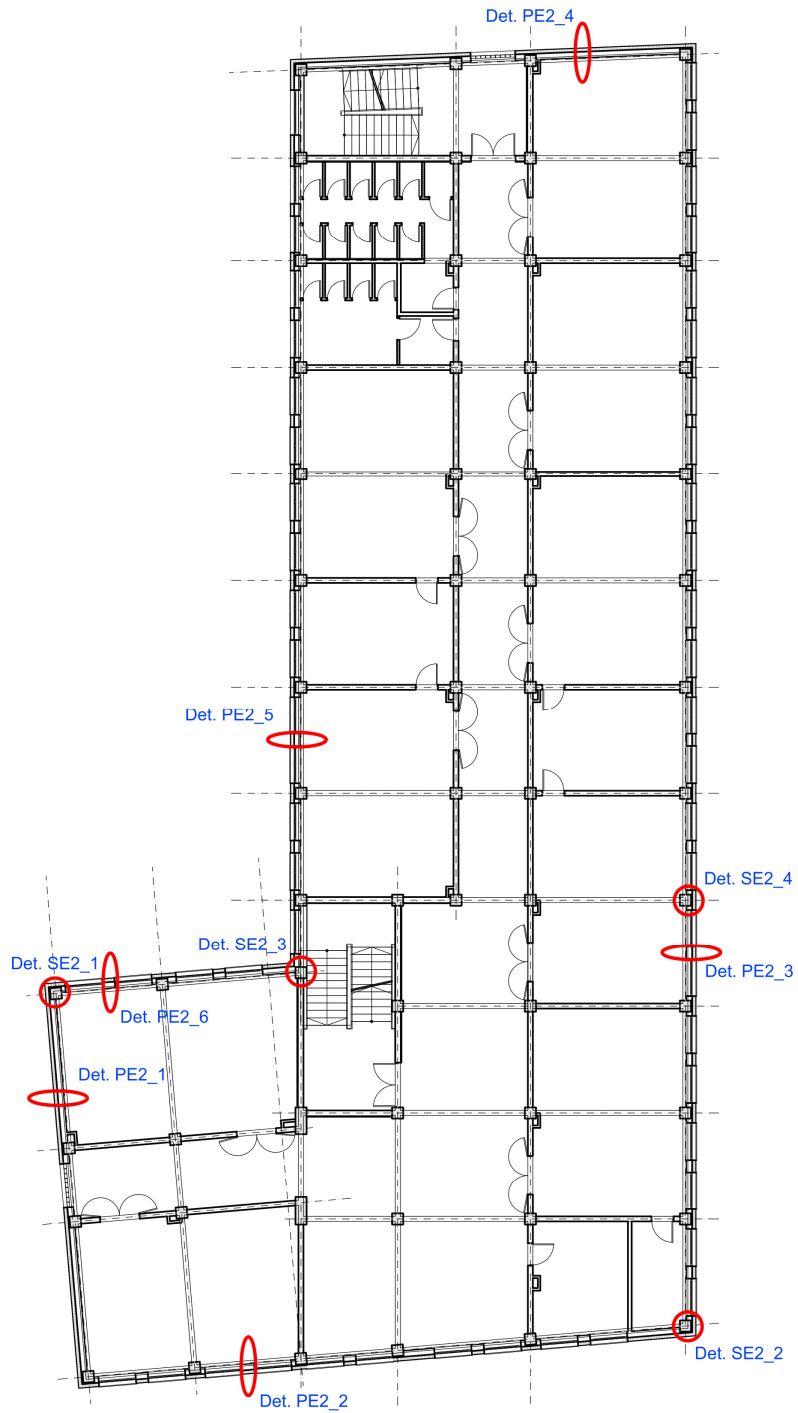
Dispunere senzori de temperatură - Infrastructură



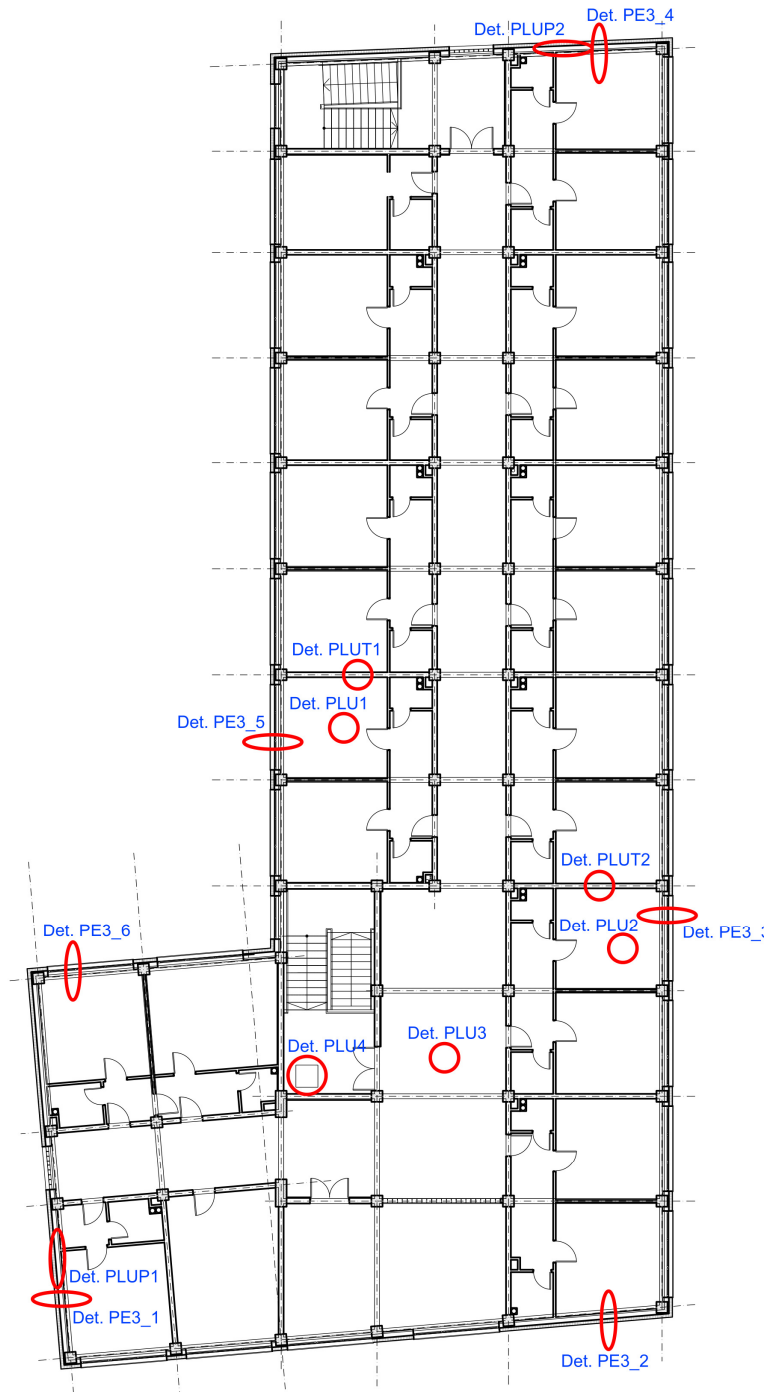
Dispunere senzori de temperatură - Parter



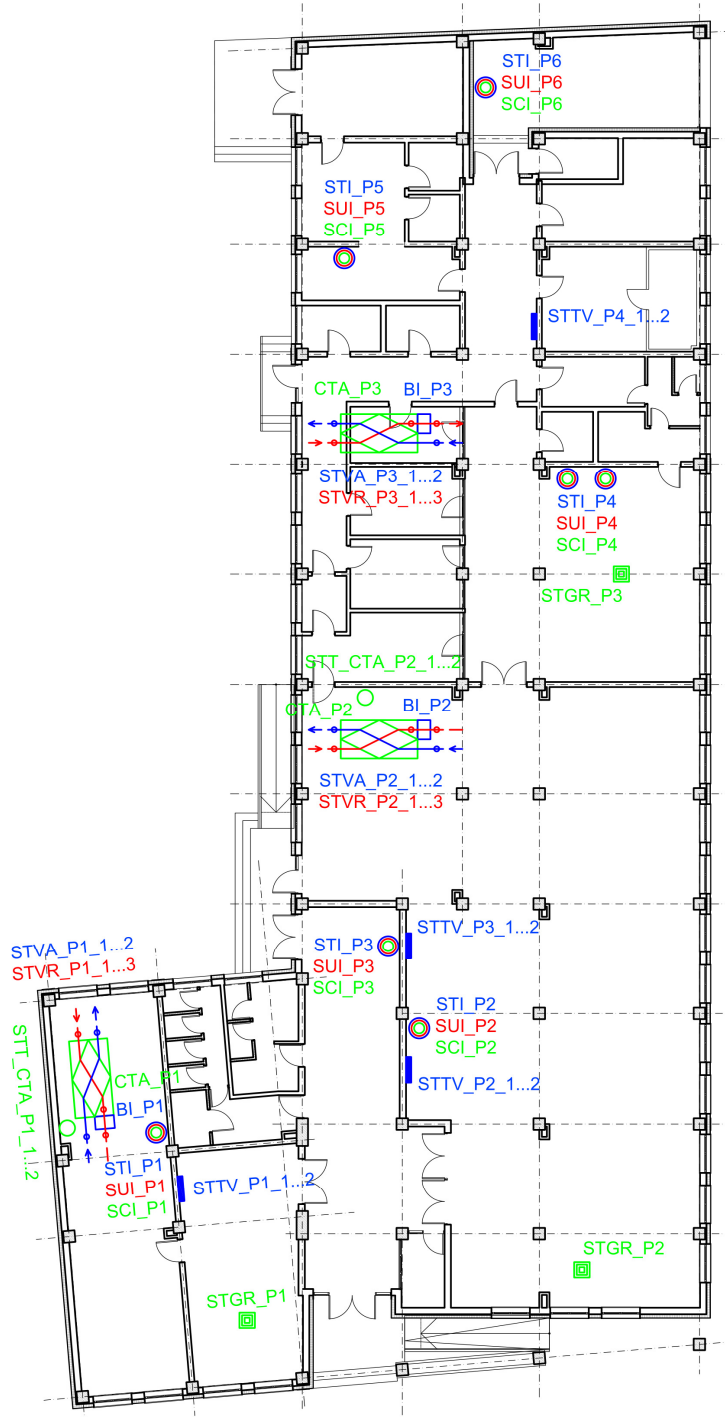
Dispunere senzori de temperatură – Etaj 2



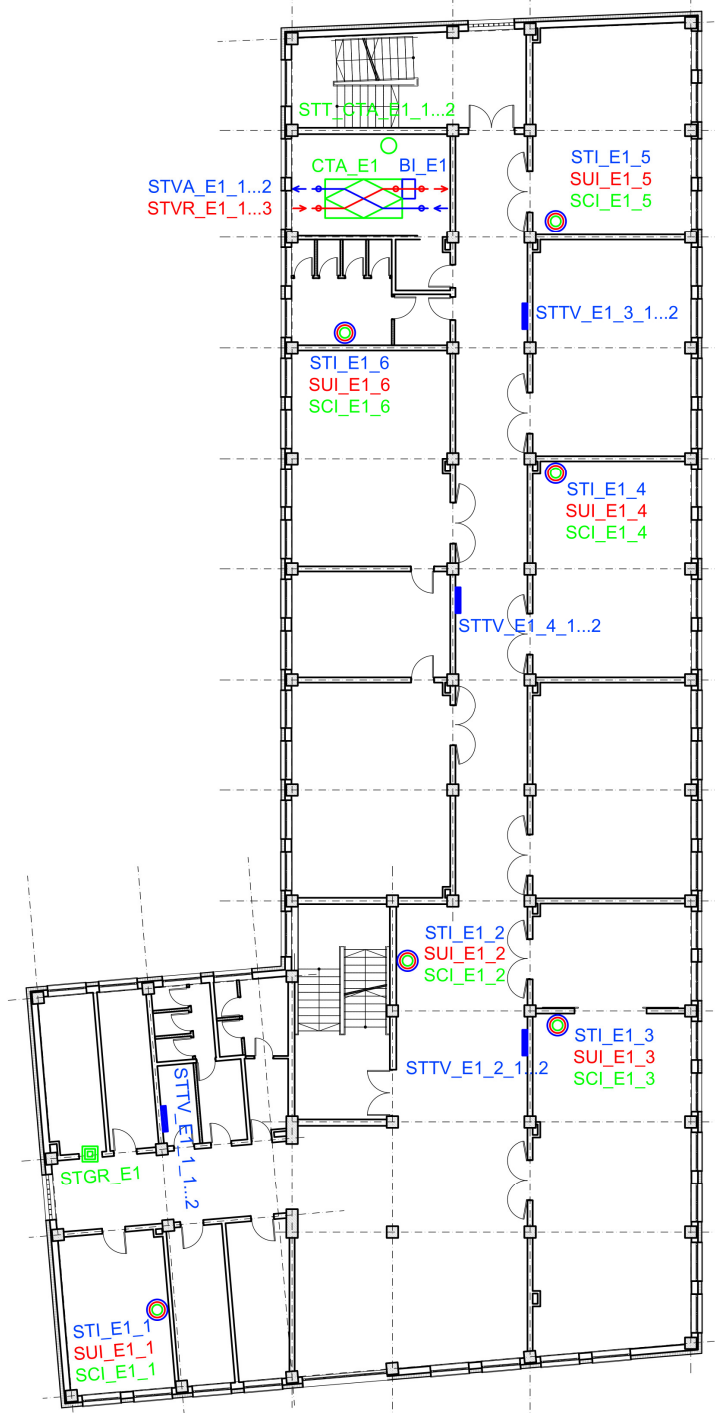
Dispunere senzori de temperatură - Etaj 3



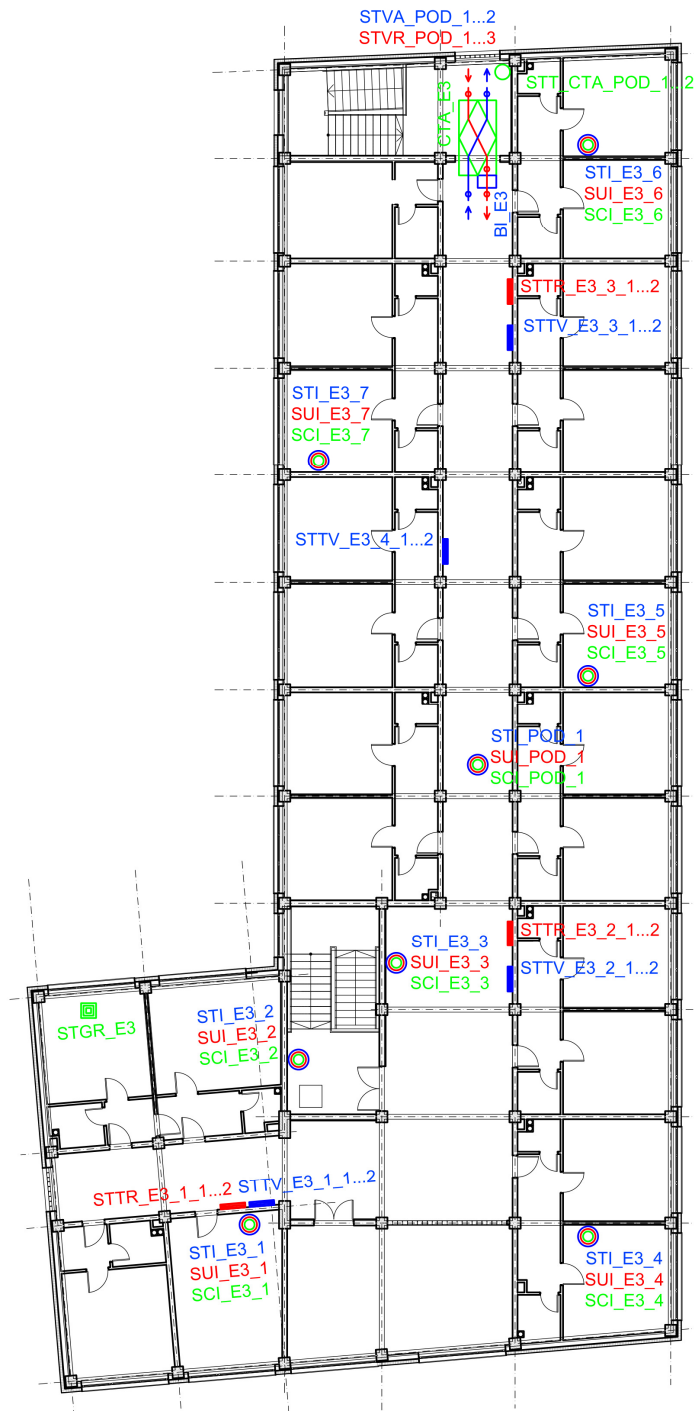
Instrumente de măsurare climat interior - Parter



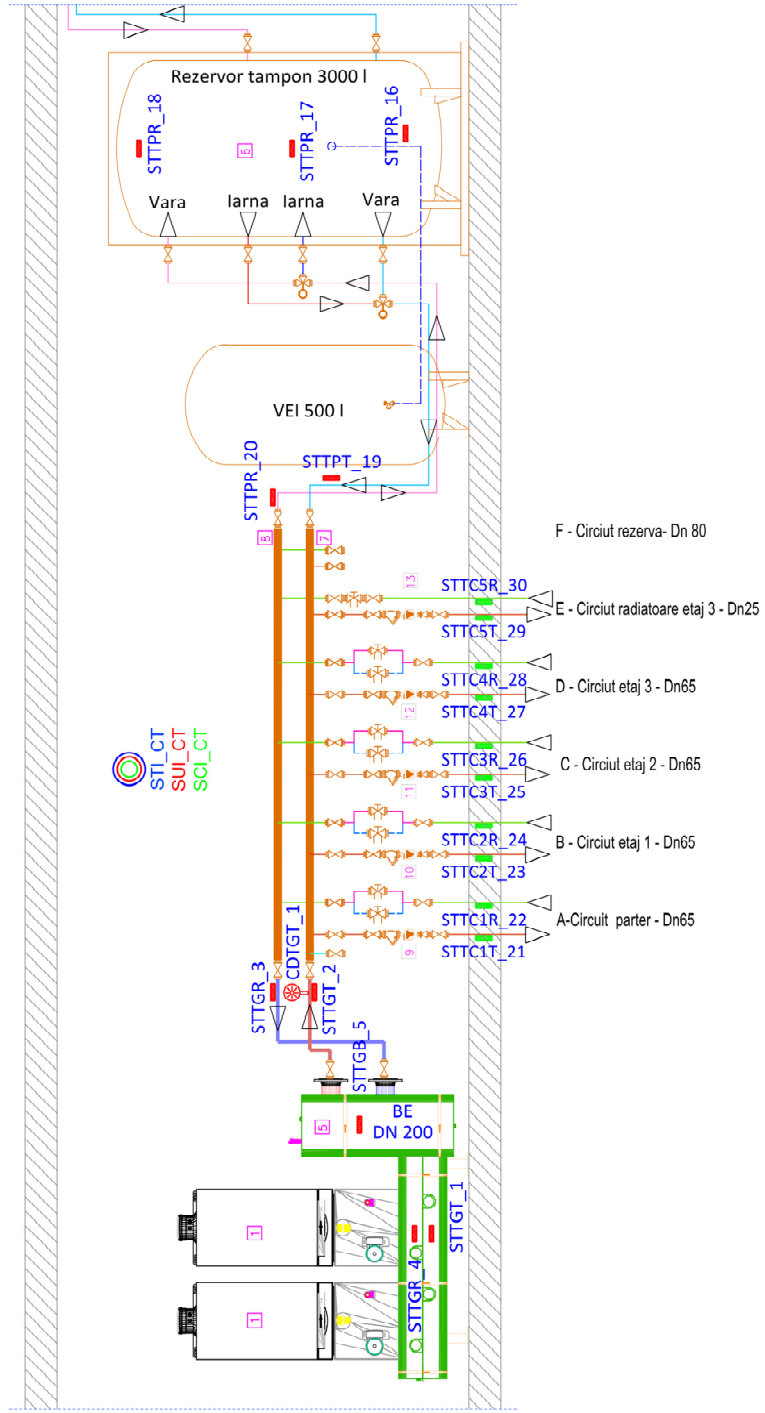
Instrumente de măsurare climat interior – Etaj 1



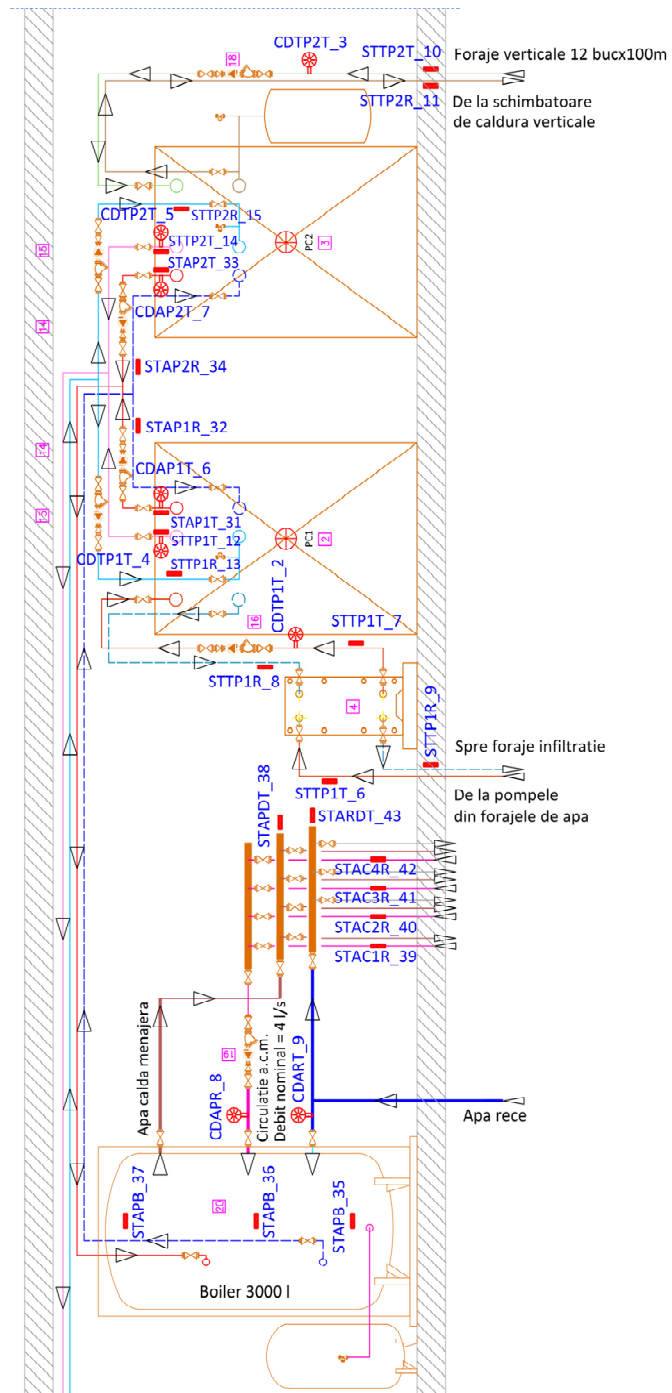
Instrumente de măsurare climat interior – Etaj 3



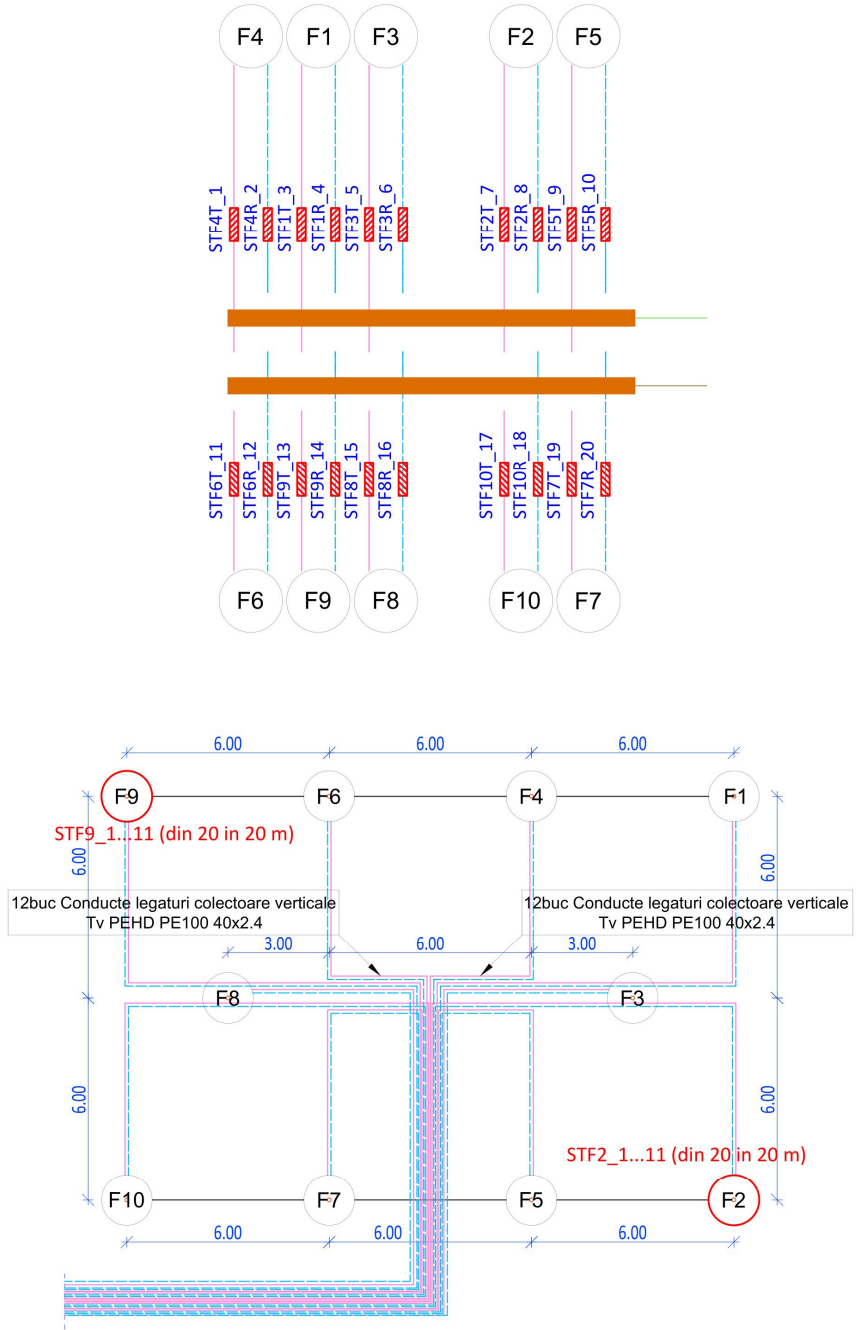
Instrumente de măsurare climat interior – Schemă funcțională instalații 1



Instrumente de măsurare climat interior – Schemă funcțională instalații 2



Instrumente de măsurare climat interior – Plan foraje și detaliu distribuitor



Legendă – instrumente de măsurare - Anvelopă				
Denumire Set / Senzori	Număr			Poziție
	set	senzori	total	
SF1...3 _ 1...9	3	9	350	Fundații și teren natural
SPS1...3 _ 1...5	3	5		Planșeu pe sol
SSI1...3 _ 1...3	3	3		Planșeu pe sol – stâlp interior
SGI1...3 _ 1...3	3	3		Planșeu pe sol – grindă soclu interior
SGE2...3 _ 1...6	2	6		Planșeu pe sol – grindă soclu exterior
SGT2 _ 1...6	1	6		Planșeu pe sol – grindă soclu exterior
SGN1...2 _ 1...4	2	4		Planșeu pe sol – grindă soclu exterior
SFN1 _ 1...2	1	2		Planșeu pe sol
SSP1...9 _ 1...6	9	6		Stâlp exterior – parter
SPLI1...2 _ 1...5	2	5		Planșeu inferior
SPP1...10 _ 1...5	10	5		Perete exterior - parter
SGPI1...4 _ 1...6	4	6		Planșeu inferior – grindă
SSE2 1...4 _ 1...5	4	5		Stâlp exterior – etaj 2
SPE2 1...6 _ 1...5	6	5		Perete exterior – etaj 2
SPE3 1...6 _ 1...5	6	5		Perete exterior – etaj 3
SPLU1...4 _ 1...5	4	5		Planșeu spre pod
SPLUT1...2 _ 1...5	2	5		Planșeu spre pod – talpă lemn
SPLUP1...2 _ 1...7	2	7		Planșeu spre pod – perete calcan

Climat interior și instalații				
STUC P1...6 _ 1...3	6	3	256	Climat interior - Parter
STTV P1...6 _ 1...2	6	2		Ventiloconvectoare - Parter
CTA P1...3 _ 1...8	3	8		CTA – Parter
STUC E1 1...6 _ 1...3	6	3		Climat interior – Etaj 1
STTV E1 1...4 _ 1...2	4	2		Ventiloconvectoare – Etaj 1
CTA E1...E2 _ 1...8	2	8		CTA – Etaj 1/Etaj 2
STUC E2 1...5 _ 1...3	5	3		Climat interior – Etaj 2
STTV E2 1...4 _ 1...2	4	2		Ventiloconvectoare – Etaj 2
STUC E3 1...7 _ 1...3	7	3		Climat interior – Etaj 3
STTV E3 1...4 _ 1...2	4	2		Ventiloconvectoare – Etaj 3
STTR E3 1...3 _ 1...2	4	2		Radiatoare – Etaj 3
CTA POD _ 1...8	1	8		CTA – Pod
STTG 1...5	1	5		Termice - gaz
STTP1...2 _ 1...8	2	8		Termice - pompă de căldură 1-2
STTC1...5 _ 1...2	5	2		Termice - circuite
STAP1...4 _ 1...3	4	3		Sanitare – ACM
STUC CT _ 1...3	1	3		Climat interior – Camera tehnică
STF1...10 _ 1...2	10	2		Termice – foraje apă-sol
STF11...12 _ 1...2	2	2		Termice – foraje apă-apă
STFAL1...2 _ 1...11	2	11		Termice – adâncime foraje

Contorizare debit și consum				
CDTGT _ 1	1	1	19	Debit termic – gaz
CDTP1...2 _ 1...4	2	4		Debit termic – pompe de căldură
CGT...B _ 1	2	1		Consum gaz
CC _ 1...7	1	7		Consum curent

ANEXA 7 – TABELE DE CALCUL LCA

Tabelul C7.1 – Amprentă carbon etapă construire – Clădire analizată

Categorie material	Denumire material	Factor emisie	Cantitate de materie primă consumată	Transport rutier	Emisie
		[tone CO ₂ / tonă]	[tone]	[km]	[tone CO ₂]
Materiale din carieră	Tiglă ceramică	0,48	35,24	36	295,30
	Plăci ceramice	0,78	51,4	470	
	Nisip	0,005	929		
	Balast	0,024	1065		
	Pietriș - sort	0,079	2634		
Material lemnos	Lemn	0,31	27,5	36	18,03
	Placă HPL	0,58	10,84		
	Placă OSB	0,45	7,15		
Betoane mortare și ciment	Cărămidă BCA	0,31	320	36	847,79
	Mortar ciment	0,18	785		
	Mortar de var	0,22	493		
	Ciment	0,82	608		
Metale	Armătură	1,46	150,85	36	220,86
	Tablă zincată	1,54	0,4		
Materiale plastice	Polietilenă	2,54	0,625	36	48,71
	PVC	3,10	15,2		
Sticlă	Sticlă	0,91	11	36	21,07
	Vată minerală semirigidă	1,54	7,18		
Diverse	Vată minerală bazaltică	1,35	15	36	85,01
	Polistiren	3,43	15,1		
	Glet	0,13	26,6		
	Gips carton	0,39	24,37		
Finisaje	Vopsea	2,91	8,34	36	129,95
	Rășină epoxidică	5,70	18,54		
Transport material [tone CO ₂]					23,10
Emisii totale [tone CO ₂]					1689,80

Tabelul C7.2 – Amprentă carbon etapă construire – Clădire V3 și V5

Categorie material	Denumire material	Factor emisie	Cantitate de materie primă consumată	Transport rutier	Emisie
		[tone CO ₂ / tonă]	[tone]	[km]	[tone CO ₂]
Materiale din carieră	Tiglă ceramică	0,48	35,24	36	295,30
	Plăci ceramice	0,78	51,4	470	
	Nisip	0,005	929		
	Balast	0,024	1065		
	Pietriș - sort	0,079	2634		
Material lemnos	Lemn	0,31	27,5	36	18,03
	Placă HPL	0,58	10,84		
	Placă OSB	0,45	7,15		
Betoane mortare și ciment	Cărămidă BCA	0,31	320	36	847,79
	Mortar ciment	0,18	785		
	Mortar de var	0,22	493		
	Ciment	0,82	608		
Metale	Armătură	1,46	150,85	36	220,86
	Tablă zincată	1,54	0,4		
Materiale plastice	Polietilenă	2,54	0,625	36	48,71
	PVC	3,10	15,2		
Sticlă	Sticlă	0,91	11	36	18,85
	Vată minerală semirigidă	1,54	5,74		
Diverse	Vată minerală bazaltică	1,35	0	36	26,00
	Polistiren	3,43	3,8		
	Glet	0,13	26,6		
	Gipscarton	0,39	24,37		
Finisaje	Vopsea	2,91	8,34	36	129,95
	Rășină epoxidică	5,70	18,54		
Transport material [tone CO ₂]					23
Emisii totale [tone CO ₂]					1628,48

Tabelul C7.3 – Evoluția în timp a consumurilor de energie finală – Clădire analizată

An	Încălzire	ACM	Răcire	Ventilare mecanică	Iluminat	Consum en. electrică
[kWh/m ² an]						
1	17,86	13,13	4,35	9,07	3,61	48,02
2	17,80	13,13	4,36	9,08	3,61	47,98
3	17,77	13,13	4,36	9,09	3,61	47,96
4	17,74	13,13	4,37	9,10	3,61	47,95
5	17,71	13,13	4,38	9,10	3,61	47,93
6	17,68	13,13	4,38	9,11	3,61	47,92
7	17,66	13,13	4,39	9,12	3,61	47,91
8	17,63	13,13	4,40	9,12	3,61	47,89
9	17,60	13,13	4,41	9,13	3,61	47,88
10	17,57	13,13	4,41	9,14	3,61	47,86
11	18,08	12,99	4,33	9,51	3,61	48,53
12	18,05	12,99	4,34	9,52	3,61	48,51
13	18,02	12,99	4,35	9,52	3,61	48,50
14	17,99	12,99	4,35	9,53	3,61	48,48
15	17,96	12,99	4,36	9,54	3,61	48,47
16	18,11	13,13	4,41	8,73	3,61	47,99
17	18,08	13,13	4,42	8,74	3,61	47,98
18	18,05	13,13	4,42	8,74	3,61	47,96
19	18,03	13,13	4,43	8,75	3,61	47,95
20	18,00	13,13	4,44	8,76	3,61	47,94
21	17,08	12,34	4,05	8,40	3,43	45,31
22	17,05	12,34	4,06	8,41	3,43	45,29
23	17,02	12,34	4,07	8,42	3,43	45,28
24	16,99	12,34	4,08	8,42	3,43	45,26
25	16,96	12,34	4,08	8,43	3,43	45,25
26	16,76	12,21	4,05	8,44	3,25	44,70
27	16,73	12,21	4,05	8,45	3,25	44,69
28	16,70	12,21	4,06	8,45	3,25	44,67
29	16,67	12,21	4,07	8,46	3,25	44,66
30	16,64	12,21	4,07	8,47	3,25	44,64
31	16,43	11,81	4,04	7,84	3,25	43,38
32	16,41	11,81	4,04	7,85	3,25	43,36
33	16,38	11,81	4,05	7,85	3,25	43,35
34	16,35	11,81	4,06	7,86	3,25	43,33
35	16,32	11,81	4,06	7,87	3,25	43,32
36	16,47	11,94	4,12	7,97	3,25	43,75
37	16,44	11,94	4,12	7,97	3,25	43,74
38	16,41	11,94	4,13	7,98	3,25	43,72
39	16,38	11,94	4,14	7,99	3,25	43,71
40	16,36	11,94	4,14	8,00	3,25	43,69
41	15,26	11,03	3,80	7,55	3,25	40,89
42	15,23	11,03	3,81	7,56	3,25	40,87
43	15,20	11,03	3,82	7,56	3,25	40,86
44	15,17	11,03	3,82	7,57	3,25	40,84
45	15,14	11,03	3,83	7,58	3,25	40,83
46	15,11	11,03	3,84	7,13	3,07	40,18
47	15,08	11,03	3,84	7,14	3,07	40,17
48	15,06	11,03	3,85	7,15	3,07	40,15
49	15,03	11,03	3,86	7,15	3,07	40,14
50	15,00	11,03	3,86	7,16	3,07	40,12

Tabelul C7.4 - Evoluția în timp a consumurilor de energie finală - Clădire V3

An	Încălzire	ACM	Răcire	Ventilare mecanică	Iluminat	Consum gaze nat.	Consum en.electrică
[kWh/m ² an]							
1	112,00	40,40	7,50	34,00	12,00	152,40	53,50
2	111,64	40,40	7,51	34,03	12,00	152,04	53,54
3	111,46	40,40	7,52	34,05	12,00	151,86	53,58
4	111,28	40,40	7,54	34,08	12,00	151,68	53,62
5	111,10	40,40	7,55	34,11	12,00	151,50	53,66
6	110,92	40,40	7,56	34,14	11,40	151,32	53,10
7	110,75	40,40	7,57	34,16	11,40	151,15	53,14
8	110,57	40,40	7,58	34,19	11,40	150,97	53,17
9	108,15	39,59	7,45	33,54	11,40	147,74	52,38
10	107,97	39,59	7,46	35,26	11,40	147,56	54,12
11	114,51	40,40	7,47	35,63	11,40	154,91	54,50
12	114,33	40,40	7,48	35,66	11,40	154,73	54,54
13	114,15	40,40	7,49	32,29	11,40	154,55	51,18
14	113,97	40,40	7,51	32,31	11,40	154,37	51,22
15	113,79	40,40	7,52	32,34	11,40	154,19	51,26
16	109,13	38,78	7,61	31,01	11,40	147,92	50,01
17	108,95	38,78	7,62	31,04	11,40	147,74	50,05
18	108,77	38,78	7,63	31,06	11,40	147,56	50,09
19	108,60	38,78	7,64	31,09	11,40	147,38	50,13
20	108,42	38,78	7,65	31,12	11,40	147,20	50,17
21	112,72	40,00	6,99	31,48	10,80	152,71	49,27
22	112,54	40,00	7,00	32,19	10,80	152,53	49,99
23	112,36	40,00	7,01	32,22	10,80	152,35	50,03
24	112,18	40,00	7,03	32,25	10,80	152,18	50,07
25	112,00	40,00	6,96	29,89	10,80	152,00	47,66
26	110,70	39,59	6,90	29,92	10,80	150,29	47,62
27	110,52	39,59	6,91	29,95	10,80	150,11	47,66
28	110,34	39,59	6,92	29,97	10,80	149,93	47,70
29	110,16	39,59	6,94	30,00	10,80	149,76	47,74
30	109,98	39,59	6,95	30,03	10,80	149,58	47,78
31	106,44	37,57	6,96	28,36	10,80	144,02	46,12
32	106,27	37,57	6,97	28,38	10,80	143,84	46,16
33	106,09	37,57	6,98	28,41	10,80	143,66	46,19
34	105,91	37,57	7,00	29,12	10,80	143,48	46,91
35	105,73	37,57	7,01	29,14	10,80	143,30	46,95
36	105,55	37,57	7,10	29,17	9,60	143,12	45,87
37	105,37	37,57	7,11	26,82	9,60	142,94	43,53
38	105,19	37,57	7,12	26,85	9,60	142,76	43,57
39	105,01	37,57	7,13	26,87	9,60	142,58	43,60
40	104,83	37,57	7,14	26,90	9,60	142,40	43,64
41	108,01	38,38	6,78	27,27	9,60	146,39	43,65
42	107,83	38,38	6,79	27,30	9,60	146,21	43,69
43	107,65	38,38	6,80	27,32	9,60	146,03	43,73
44	107,48	38,38	6,82	27,35	9,60	145,86	43,77
45	107,30	38,38	6,83	27,38	9,60	145,68	43,80
46	102,64	36,76	6,84	27,06	9,60	139,40	43,50
47	102,46	36,76	6,85	27,09	9,60	139,22	43,54
48	102,28	36,76	6,86	27,12	9,60	139,04	43,58
49	102,10	36,76	6,88	25,11	9,60	138,86	41,58
50	101,92	36,76	6,89	25,13	9,60	138,68	41,62

Tabelul C7.5 - Evoluția în timp a consumurilor de energie finală – Clădire V5

An	Încălzire	ACM	Răcire	Iluminat	Consum gaze nat.	Consum en. electrică
[kWh/m ² an]						
1	112,00	40,40	10,00	15,00	152,40	25,00
2	111,64	40,40	10,02	15,00	152,04	25,02
3	111,46	40,40	10,03	15,00	151,86	25,03
4	111,28	40,40	10,05	15,00	151,68	25,05
5	111,10	40,40	10,06	15,00	151,50	25,06
6	110,92	40,40	10,08	14,25	151,32	24,33
7	110,75	40,40	10,10	14,25	151,15	24,35
8	110,57	40,40	10,11	14,25	150,97	24,36
9	108,15	39,59	9,93	14,25	147,74	24,18
10	107,97	39,59	9,94	14,25	147,56	24,19
11	114,51	40,40	9,96	14,25	154,91	24,21
12	114,33	40,40	9,98	14,25	154,73	24,23
13	114,15	40,40	9,99	14,25	154,55	24,24
14	113,97	40,40	10,01	14,25	154,37	24,26
15	113,79	40,40	10,02	14,25	154,19	24,27
16	109,13	38,78	10,14	14,25	147,92	24,39
17	108,95	38,78	10,16	14,25	147,74	24,41
18	108,77	38,78	10,17	14,25	147,56	24,42
19	108,60	38,78	10,19	14,25	147,38	24,44
20	108,42	38,78	10,20	14,25	147,20	24,45
21	112,72	40,00	9,32	13,50	152,71	22,82
22	112,54	40,00	9,34	13,50	152,53	22,84
23	112,36	40,00	9,35	13,50	152,35	22,85
24	112,18	40,00	9,37	13,50	152,18	22,87
25	112,00	40,00	9,28	13,50	152,00	22,78
26	110,70	39,59	9,20	13,50	150,29	22,70
27	110,52	39,59	9,22	13,50	150,11	22,72
28	110,34	39,59	9,23	13,50	149,93	22,73
29	110,16	39,59	9,25	13,50	149,76	22,75
30	109,98	39,59	9,26	13,50	149,58	22,76
31	106,44	37,57	9,28	13,50	144,02	22,78
32	106,27	37,57	9,30	13,50	143,84	22,80
33	106,09	37,57	9,31	13,50	143,66	22,81
34	105,91	37,57	9,33	13,50	143,48	22,83
35	105,73	37,57	9,34	13,50	143,30	22,84
36	105,55	37,57	9,46	12,00	143,12	21,46
37	105,37	37,57	9,48	12,00	142,94	21,48
38	105,19	37,57	9,49	12,00	142,76	21,49
39	105,01	37,57	9,51	12,00	142,58	21,51
40	104,83	37,57	9,52	12,00	142,40	21,52
41	108,01	38,38	9,04	12,00	146,39	21,04
42	107,83	38,38	9,06	12,00	146,21	21,06
43	107,65	38,38	9,07	12,00	146,03	21,07
44	107,48	38,38	9,09	12,00	145,86	21,09
45	107,30	38,38	9,10	12,00	145,68	21,10
46	102,64	36,76	9,12	12,00	139,40	21,12
47	102,46	36,76	9,14	12,00	139,22	21,14
48	102,28	36,76	9,15	12,00	139,04	21,15
49	102,10	36,76	9,17	12,00	138,86	21,17
50	101,92	36,76	9,18	12,00	138,68	21,18

Tabelul C7.6 - Evoluția în timp a E_p , E_{CO_2} și a costurilor anuale de întreținere – Clădire analizată

An	Consum en.electrică [kWh/m ² an]	$F_{p,el}$ [-]	E_p [kWh/m ² an]	$F_{CO_2,el}$ [-]	E_{CO_2} [kgCO ₂ /m ² an]	Preț unitar en.electrică [RON/kWh]	Cost anual [RON/an]
1	48,02	2,62	125,81	0,299	37,62	0,6494	109036
2	47,98	2,60	124,55		37,24	0,6549	109865
3	47,96	2,57	123,37		36,89	0,6605	110766
4	47,95	2,55	122,20		36,54	0,6661	111674
5	47,93	2,53	121,04		36,19	0,6718	112589
6	47,92	2,50	119,90		35,85	0,6775	113512
7	47,91	2,48	118,76		35,51	0,6832	114443
8	47,89	2,46	117,64		35,17	0,6891	115381
9	47,88	2,43	116,53		34,84	0,6949	116327
10	47,86	2,41	115,42		34,51	0,7008	117281
11	48,53	2,39	115,96		34,67	0,7068	119923
12	48,51	2,37	114,86		34,34	0,7128	120907
13	48,50	2,35	113,77		34,02	0,7188	121899
14	48,48	2,32	112,70		33,70	0,7250	122898
15	48,47	2,30	111,63		33,38	0,7311	123906
16	47,99	2,28	109,52		32,75	0,7373	123728
17	47,98	2,26	108,48		32,44	0,7436	124742
18	47,96	2,24	107,46		32,13	0,7499	125765
19	47,95	2,22	106,44		31,83	0,7563	126796
20	47,94	2,20	105,43		31,52	0,7627	127836
21	45,31	2,18	98,73		29,52	0,7692	121849
22	45,29	2,16	97,80		29,24	0,7757	122846
23	45,28	2,14	96,87		28,96	0,7823	123851
24	45,26	2,12	95,95		28,69	0,7890	124864
25	45,25	2,10	95,04		28,42	0,7957	125885
26	44,70	2,08	93,03		27,82	0,8025	125417
27	44,69	2,06	92,15		27,55	0,8093	126442
28	44,67	2,04	91,27		27,29	0,8162	127476
29	44,66	2,02	90,41		27,03	0,8231	128518
30	44,64	2,01	89,55		26,78	0,8301	129569
31	43,38	1,99	86,21		25,78	0,8371	126967
32	43,36	1,97	85,40		25,53	0,8443	128004
33	43,35	1,95	84,58		25,29	0,8514	129049
34	43,33	1,93	83,78		25,05	0,8587	130103
35	43,32	1,92	82,99		24,81	0,8660	131165
36	43,75	1,90	83,04		24,83	0,8733	133592
37	43,74	1,88	82,25		24,59	0,8808	134683
38	43,72	1,86	81,47		24,36	0,8882	135784
39	43,71	1,85	80,70		24,13	0,8958	136893
40	43,69	1,83	79,93		23,90	0,9034	138011
41	40,89	1,81	74,11		22,16	0,9111	130245
42	40,87	1,80	73,41		21,95	0,9188	131306
43	40,86	1,78	72,71		21,74	0,9266	132376
44	40,84	1,76	72,02		21,53	0,9345	133454
45	40,83	1,75	71,33		21,33	0,9425	134541
46	40,18	1,73	69,56		20,80	0,9505	133529
47	40,17	1,72	68,89		20,60	0,9585	134615
48	40,15	1,70	68,24		20,40	0,9667	135711
49	40,14	1,68	67,59		20,21	0,9749	136816
50	40,12	1,67	66,94		20,02	0,9832	137929

Tabelul C7.7 - Evoluția în timp a E_p – Clădire V3

An	Consum gaze nat.	Consum en.electrică	$F_{p,gn}$	$F_{p,el}$	$E_{p,gn}$	$E_{p,el}$	E_p
	[kWh/m ² an]			[-]		[kWh/m ² an]	
1	152,40	53,50	1,17	2,62	178,31	140,17	318,48
2	152,04	53,54	1,17	2,60	178,33	138,99	317,32
3	151,86	53,58	1,18	2,57	178,57	137,81	316,38
4	151,68	53,62	1,18	2,55	178,80	136,65	315,45
5	151,50	53,66	1,18	2,53	179,04	135,50	314,54
6	151,32	53,10	1,18	2,50	179,27	132,85	312,13
7	151,15	53,14	1,19	2,48	179,51	131,73	311,24
8	150,97	53,17	1,19	2,46	179,75	130,62	310,36
9	147,74	52,38	1,19	2,43	176,34	127,50	303,84
10	147,56	54,12	1,20	2,41	176,57	130,52	307,09
11	154,91	54,50	1,20	2,39	185,83	130,23	316,06
12	154,73	54,54	1,20	2,37	186,07	129,13	315,21
13	154,55	51,18	1,21	2,35	186,32	120,06	306,39
14	154,37	51,22	1,21	2,32	186,57	119,05	305,63
15	154,19	51,26	1,21	2,30	186,82	118,05	304,88
16	147,92	50,01	1,21	2,28	179,67	114,13	293,80
17	147,74	50,05	1,22	2,26	179,90	113,17	293,07
18	147,56	50,09	1,22	2,24	180,13	112,22	292,35
19	147,38	50,13	1,22	2,22	180,36	111,28	291,64
20	147,20	50,17	1,23	2,20	180,59	110,35	290,94
21	152,71	49,27	1,23	2,18	187,82	107,38	295,20
22	152,53	49,99	1,23	2,16	188,07	107,95	296,02
23	152,35	50,03	1,24	2,14	188,32	107,04	295,37
24	152,18	50,07	1,24	2,12	188,57	106,15	294,72
25	152,00	47,66	1,24	2,10	188,82	100,10	288,92
26	150,29	47,62	1,25	2,08	187,17	99,11	286,28
27	150,11	47,66	1,25	2,06	187,41	98,28	285,69
28	149,93	47,70	1,25	2,04	187,66	97,46	285,12
29	149,76	47,74	1,25	2,02	187,90	96,64	284,55
30	149,58	47,78	1,26	2,01	188,15	95,84	283,98
31	144,02	46,12	1,26	1,99	181,61	91,66	273,26
32	143,84	46,16	1,26	1,97	181,83	90,90	272,73
33	143,66	46,19	1,27	1,95	182,06	90,14	272,20
34	143,48	46,91	1,27	1,93	182,29	90,70	272,99
35	143,30	46,95	1,27	1,92	182,52	89,95	272,46
36	143,12	45,87	1,28	1,90	182,74	87,06	269,80
37	142,94	43,53	1,28	1,88	182,97	81,86	264,83
38	142,76	43,57	1,28	1,86	183,20	81,18	264,38
39	142,58	43,60	1,29	1,85	183,43	80,51	263,94
40	142,40	43,64	1,29	1,83	183,65	79,84	263,50
41	146,39	43,65	1,29	1,81	189,27	79,12	268,39
42	146,21	43,69	1,30	1,80	189,51	78,47	267,98
43	146,03	43,73	1,30	1,78	189,75	77,82	267,57
44	145,86	43,77	1,30	1,76	189,99	77,17	267,16
45	145,68	43,80	1,31	1,75	190,23	76,53	266,77
46	139,40	43,50	1,31	1,73	182,49	75,31	257,80
47	139,22	43,54	1,31	1,72	182,71	74,69	257,40
48	139,04	43,58	1,32	1,70	182,94	74,07	257,01
49	138,86	41,58	1,32	1,68	183,16	70,02	253,18
50	138,68	41,62	1,32	1,67	183,38	69,44	252,82

Tabelul C7.8 - Evoluția în timp a E_{CO_2} și a costurilor anuale de întreținere – Clădire V3

An	$F_{CO_2,gn}$	$F_{CO_2,el}$	E_{CO_2}	Preț unitar gaze nat.	Preț unitar en.electrică	Cost anual
			[kgCO ₂ /m ² an]	[RON/kWh]		[RON/an]
1			78,46	0,1610	0,6494	207282
2			78,12	0,1642	0,6549	209914
3			77,81	0,1675	0,6605	212688
4			77,51	0,1709	0,6661	215503
5			77,22	0,1743	0,6718	218360
6			76,47	0,1778	0,6775	219838
7			76,19	0,1813	0,6832	222769
8			75,90	0,1850	0,6891	225743
9			74,27	0,1887	0,6949	224734
10			75,22	0,1924	0,7008	231906
11			77,03	0,1963	0,7068	241000
12			76,76	0,2002	0,7128	244243
13			74,10	0,2042	0,7188	238990
14			73,84	0,2083	0,7250	242259
15			73,60	0,2125	0,7311	245578
16			70,96	0,2167	0,7373	241016
17			70,72	0,2210	0,7436	244317
18			70,48	0,2255	0,7499	247669
19			70,25	0,2300	0,7563	251071
20			70,01	0,2346	0,7627	254526
21			70,61	0,2393	0,7692	260280
22			70,83	0,2441	0,7757	265760
23			70,61	0,2489	0,7823	269467
24			70,39	0,2539	0,7890	273231
25			68,64	0,2590	0,7957	270224
26	0,205	0,299	68,00	0,2642	0,8025	272430
27			67,81	0,2695	0,8093	276284
28			67,61	0,2748	0,8162	280199
29			67,42	0,2803	0,8231	284175
30			67,23	0,2859	0,8301	288213
31			64,63	0,2917	0,8371	281852
32			64,45	0,2975	0,8443	285866
33			64,27	0,3034	0,8514	289943
34			64,49	0,3095	0,8587	296126
35			64,31	0,3157	0,8660	300349
36			63,49	0,3220	0,8733	301204
37			61,99	0,3285	0,8808	298203
38			61,83	0,3350	0,8882	302537
39			61,68	0,3417	0,8958	306941
40			61,52	0,3486	0,9034	311414
41			62,46	0,3555	0,9111	321029
42			62,31	0,3626	0,9188	325750
43			62,17	0,3699	0,9266	330546
44			62,02	0,3773	0,9345	335419
45			61,88	0,3848	0,9425	340371
46			59,93	0,3925	0,9505	335906
47			59,79	0,4004	0,9585	340842
48			59,65	0,4084	0,9667	345857
49			58,48	0,4166	0,9749	343999
50			58,36	0,4249	0,9832	349118

Tabelul C7.9 - Evoluția în timp a E_p – Clădire V5

An	Consum gaze nat.	Consum en.electrică	$F_{p,gn}$	$F_{p,el}$	$E_{p,gn}$	$E_{p,el}$	E_p
	[kWh/m ² an]			[-]		[kWh/m ² an]	
1	152,40	25,00	1,17	2,62	178,31	65,50	243,81
2	152,04	25,02	1,17	2,60	178,33	64,94	243,27
3	151,86	25,03	1,18	2,57	178,57	64,39	242,96
4	151,68	25,05	1,18	2,55	178,80	63,84	242,64
5	151,50	25,06	1,18	2,53	179,04	63,29	242,33
6	151,32	24,33	1,18	2,50	179,27	60,88	240,15
7	151,15	24,35	1,19	2,48	179,51	60,36	239,87
8	150,97	24,36	1,19	2,46	179,75	59,84	239,59
9	147,74	24,18	1,19	2,43	176,34	58,85	235,19
10	147,56	24,19	1,20	2,41	176,57	58,35	234,92
11	154,91	24,21	1,20	2,39	185,83	57,85	243,68
12	154,73	24,23	1,20	2,37	186,07	57,36	243,43
13	154,55	24,24	1,21	2,35	186,32	56,87	243,19
14	154,37	24,26	1,21	2,32	186,57	56,39	242,96
15	154,19	24,27	1,21	2,30	186,82	55,91	242,73
16	147,92	24,39	1,21	2,28	179,67	55,66	235,32
17	147,74	24,41	1,22	2,26	179,90	55,18	235,08
18	147,56	24,42	1,22	2,24	180,13	54,71	234,84
19	147,38	24,44	1,22	2,22	180,36	54,25	234,61
20	147,20	24,45	1,23	2,20	180,59	53,79	234,38
21	152,71	22,82	1,23	2,18	187,82	49,73	237,55
22	152,53	22,84	1,23	2,16	188,07	49,31	237,38
23	152,35	22,85	1,24	2,14	188,32	48,89	237,21
24	152,18	22,87	1,24	2,12	188,57	48,48	237,05
25	152,00	22,78	1,24	2,10	188,82	47,86	236,67
26	150,29	22,70	1,25	2,08	187,17	47,24	234,41
27	150,11	22,72	1,25	2,06	187,41	46,84	234,26
28	149,93	22,73	1,25	2,04	187,66	46,45	234,10
29	149,76	22,75	1,25	2,02	187,90	46,05	233,95
30	149,58	22,76	1,26	2,01	188,15	45,66	233,81
31	144,02	22,78	1,26	1,99	181,61	45,28	226,88
32	143,84	22,80	1,26	1,97	181,83	44,89	226,73
33	143,66	22,81	1,27	1,95	182,06	44,51	226,57
34	143,48	22,83	1,27	1,93	182,29	44,14	226,42
35	143,30	22,84	1,27	1,92	182,52	43,76	226,28
36	143,12	21,46	1,28	1,90	182,74	40,73	223,48
37	142,94	21,48	1,28	1,88	182,97	40,39	223,36
38	142,76	21,49	1,28	1,86	183,20	40,05	223,25
39	142,58	21,51	1,29	1,85	183,43	39,71	223,14
40	142,40	21,52	1,29	1,83	183,65	39,38	223,03
41	146,39	21,04	1,29	1,81	189,27	38,14	227,41
42	146,21	21,06	1,30	1,80	189,51	37,82	227,33
43	146,03	21,07	1,30	1,78	189,75	37,50	227,25
44	145,86	21,09	1,30	1,76	189,99	37,18	227,18
45	145,68	21,10	1,31	1,75	190,23	36,87	227,10
46	139,40	21,12	1,31	1,73	182,49	36,56	219,06
47	139,22	21,14	1,31	1,72	182,71	36,25	218,97
48	139,04	21,15	1,32	1,70	182,94	35,95	218,88
49	138,86	21,17	1,32	1,68	183,16	35,65	218,80
50	138,68	21,18	1,32	1,67	183,38	35,35	218,72

Tabelul C7.10 - Evoluția în timp a E_{CO_2} și a costurilor anuale de întreținere - Clădire V5

An	$F_{CO_2,gn}$	$F_{CO_2,el}$	E_{CO_2}	Preț unitar gaze nat.	Preț unitar en.electrică	Cost anual
			[kgCO ₂ /m ² an]	[RON/kWh]		[RON/an]
1			56,14	0,1610	0,6494	142568
2			55,98	0,1642	0,6549	144597
3			55,86	0,1675	0,6605	146762
4			55,74	0,1709	0,6661	148963
5			55,63	0,1743	0,6718	151200
6			54,95	0,1778	0,6775	151697
7			54,85	0,1813	0,6832	153992
8			54,74	0,1850	0,6891	156326
9			53,75	0,1887	0,6949	156202
10			53,64	0,1924	0,7008	158569
11			55,39	0,1963	0,7068	166141
12			55,30	0,2002	0,7128	168691
13			55,20	0,2042	0,7188	171282
14			55,11	0,2083	0,7250	173917
15			55,01	0,2125	0,7311	176596
16			53,47	0,2167	0,7373	174959
17			53,38	0,2210	0,7436	177638
18			53,29	0,2255	0,7499	180362
19			53,19	0,2300	0,7563	183131
20			53,10	0,2346	0,7627	185946
21			53,37	0,2393	0,7692	189132
22			53,30	0,2441	0,7757	192100
23			53,22	0,2489	0,7823	195117
24			53,15	0,2539	0,7890	198186
25			53,02	0,2590	0,7957	201028
26	0,205	0,299	52,50	0,2642	0,8025	202511
27			52,43	0,2695	0,8093	205705
28			52,36	0,2748	0,8162	208953
29			52,29	0,2803	0,8231	212257
30			52,22	0,2859	0,8301	215616
31			50,77	0,2917	0,8371	213546
32			50,70	0,2975	0,8443	216911
33			50,63	0,3034	0,8514	220333
34			50,57	0,3095	0,8587	223813
35			50,50	0,3157	0,8660	227352
36			49,64	0,3220	0,8733	226675
37			49,59	0,3285	0,8808	230299
38			49,53	0,3350	0,8882	233984
39			49,48	0,3417	0,8958	237732
40			49,42	0,3486	0,9034	241544
41			50,20	0,3555	0,9111	249010
42			50,16	0,3626	0,9188	253043
43			50,11	0,3699	0,9266	257146
44			50,07	0,3773	0,9345	261320
45			50,02	0,3848	0,9425	265566
46			48,34	0,3925	0,9505	261518
47			48,30	0,4004	0,9585	265744
48			48,25	0,4084	0,9667	270042
49			48,21	0,4166	0,9749	274414
50			48,16	0,4249	0,9832	278861

Tabelul C7.11 – Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire – Clădire analizată

An	Mentenanță pompe căldură	Înlocuire pompe căldură	Denisip. foraje apă-apă	Mentenanță pompe circulație	Înlocuire pompe circulație	Înlocuire termoiz. țevi central
[RON/an]						
1	3500			1700		
2	3570			1734		
3	3641		-	1769		
4	3714			1804		
5	3789		4330	1840	-	
6	3864			1877		
7	3942		-	1914		
8	4020	-		1953		
9	4101			1992		
10	4183		4780	2032	91066	
11	4266			2072		
12	4352		-	2114		
13	4439			2156		
14	4528			2199		
15	4618	87415	5277	2243	-	-
16	4711			2288		
17	4805	-	-	2334		
18	4901			2380		
19	4999			2428		
20	5099	289541	5826	2477	111009	
21	5201			2526		
22	5305		-	2577		
23	5411			2628		
24	5519			2681		
25	5630		6432	2734	-	
26	5742			2789		
27	5857		-	2845		
28	5974	-		2902		
29	6094			2960		
30	6215		7101	3019	135319	18646
31	6340			3079		
32	6467		-	3141		
33	6596			3204		
34	6728			3268		
35	6862	129895	7840	3333	-	
36	7000			3400		
37	7140	-	-	3468		
38	7282			3537		
39	7428			3608		
40	7577	430243	8656	3680	164954	
41	7728			3754		
42	7883		-	3829		
43	8040			3905		
44	8201			3983		
45	8365		9557	4063	-	
46	8532			4144		
47	8703		-	4227		
48	8877			4312		
49	9055			4398		
50	9236		10552	4486	201077	

Tabelul C7.12 - Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire – Clădire analizată

An	Ment. ventilare mecanică	Înloc. ventilare mecanică	Ment. VCV	Înloc. VCV	Ment. corpuri iluminat	Înloc. corpuri iluminat	Cost anual
[RON/an]							
1	3500		2100		5200	1750	17750
2	3570		2142		5304	1785	18105
3	3641		2185		5410	1821	18467
4	3714		2229		5518	1857	18836
5	3789		2273		5629	1894	23543
6	3864		2319		5741	1932	19597
7	3942		2365		5856	1971	19989
8	4020		2412		5973	2010	20389
9	4101		2460		6093	2050	20797
10	4183		2510		6214	2091	117059
11	4266		2560	4571	6339	2133	26208
12	4352		2611	4663	6466	2176	26733
13	4439		2663	4756	6595	2219	27267
14	4528		2717	4851	6727	2264	27813
15	4618	105558	2771	4948	6861	2309	226620
16	4711		2826	5047	6999	4711	31291
17	4805		2883	5148	7138	7207	34320
18	4901		2941	5251	7281	9802	37456
19	4999		2999	5356	7427	14997	43204
20	5099		3059	10926	7575	20395	461007
21	5201		3120	27862	7727	26004	77641
22	5305		3183	28419	7881	31829	84498
23	5411		3247	28987	8039	37877	91599
24	5519		3311	29567	8200	41394	96191
25	5630		3378	30158	8364	45036	107361
26	5742		3445	61523	8531		87772
27	5857		3514	62753	8702		89528
28	5974		3584	64008	8876		91318
29	6094		3656	65288	9053		93145
30	6215	443961	3729	166485	9234		799927
31	6340		3804		9419	3170	32152
32	6467		3880		9607	3233	32795
33	6596		3958		9800	3298	33451
34	6728		4037		9996	3364	34120
35	6862		4117		10196	3431	172537
36	7000		4200		10399	3500	35498
37	7140		4284		10607	3570	36208
38	7282		4369		10820	3641	36932
39	7428		4457		11036	3714	37671
40	7577		4546		11257	3788	642277
41	7728		4637	8280	11482	7728	51337
42	7883		4730	8446	11711	11824	56305
43	8040		4824	8615	11946	16081	61451
44	8201		4921	8787	12185	24603	70881
45	8365	191204	5019	8963	12428	33461	281426
46	8532		5119	9142	12677	42662	90810
47	8703		5222	9325	12930	52219	101329
48	8877		5326	9511	13189	66579	116672
49	9055		5433	9702	13453	76965	128060
50	9236		5542	19791	13722	83123	356764

262 ANEXA 7 – TABELE DE CALCUL LCA

Tabelul C7.13 - Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire – Clădire V3

An	Ment. cazan gaze nat.	Înloc. cazan gaze nat.	Ment. răcire multisplit	Înloc. răcire multisplit	Ment. pompe circulație	Înloc. pompe circulație	Înloc. termoiz. țevi
[RON/an]							
1	1000		2100		1870		
2	1020		2142		1907		
3	1040		2185		1946		
4	1061		2229		1984	-	
5	1082		23922		2024		
6	1104		2319		2065		
7	1126		2365		2106		
8	1149	-	2412		2148	74400	
9	1172		2460		2191		
10	1195		26412	-	2235		
11	1219		2560		2280		
12	1243		2611		2325	-	
13	1268		2663		2372		
14	1294		2717		2419		
15	1319	226950	29160		2467		-
16	1346		2826		2517	87172	
17	1373		2883		2567		
18	1400		2941		2618		
19	1428		2999		2671		
20	1457		32196	174817	2724	-	
21	1486		3120		2779		
22	1516		3183		2834		
23	1546		3247		2891		
24	1577		3311		2949	102136	
25	1608		35546		3008		
26	1641		3445		3068		
27	1673		3514		3129		
28	1707		3584		3192	-	
29	1741		3656		3256		
30	1776	305445	39246	-	3321		18646
31	1811		3804		3387		
32	1848		3880		3455	119668	
33	1885		3958		3524		
34	1922		4037		3595		
35	1961		43331		3666		
36	2000		4200		3740	-	
37	2040		4284		3815		
38	2081		4369		3891		
39	2122		4457		3969		
40	2165		47841	259769	4048	140211	
41	2208		4637		4129		
42	2252		4730		4212		
43	2297		4824		4296		
44	2343		4921		4382	-	
45	2390	411089	52820		4469		
46	2438		5119		4559		
47	2487		5222		4650		
48	2536	-	5326		4743	164279	
49	2587		5433		4838		
50	2639		58318		4935	-	

Tabelul C7.14 - Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire - Clădire V3

An	Ment. ventilare mecanică	Înloc. ventilare mecanică	Ment. VCV	Înloc. VCV	Ment. corpuri iluminat	Înloc. corpuri iluminat	Cost anual
[RON/an]							
1	3850		1890		6240	625	17575
2	3927		1928		6365	1275	18564
3	4006		1966		6492	2601	20236
4	4086		2006		6622	3980	21967
5	4167		2046		6754	5412	45408
6	4251	-	2087	-	6889	690	19404
7	4336		2128		7027	1408	20496
8	4422		2171		7168	2872	96742
9	4511		2214		7311	4394	24253
10	4601		2259		7457	5975	50134
11	4693		2304	4571	7607	762	25995
12	4787	85544	2350	4663	7759	1554	112836
13	4883		2397	4756	7914	3171	29423
14	4980		2445	4851	8072	4851	31629
15	5080		2494	4948	8234	6597	287251
16	5182		2544	5047	8398	841	115873
17	5285		2595	5148	8566	1716	30133
18	5391	-	2646	5251	8738	3501	32486
19	5499		2699	5356	8912	5356	34921
20	5609		2753	10926	9091	72909	312482
21	5721		2808	11145	9272	929	37260
22	5835		2865	11367	9458	1895	38953
23	5952		2922	11595	9647	3865	41664
24	6071	339033	2980	11827	9840	5913	485638
25	6192		3040	12063	10037	8042	79537
26	6316		3101	30761	10237	1025	59595
27	6443		3163	31377	10442	2092	61833
28	6572		3226	32004	10651	4267	65203
29	6703		3291	32644	10864	6529	68683
30	6837	-	3356	33297	11081	8879	431885
31	6974		3423	33963	11303	1132	65798
32	7113		3492	34642	11529	2309	187937
33	7255		3562	70670	11760	4711	107325
34	7401		3633	108126	11995	7208	147916
35	7549		3706	147051	12235	9803	229301
36	7700	137592	3780		12479	1250	172740
37	7854		3855		12729	2550	37126
38	8011		3932		12983	5202	40469
39	8171		4011		13243	7959	43932
40	8334		4091		13508	107949	587916
41	8501		4173		13778	1380	38806
42	8671	-	4257		14054	2815	40990
43	8844		4342		14335	5743	44681
44	9021		4429		14622	8787	48504
45	9202		4517		14914	11950	511352
46	9386		4608	9142	15212	1524	51987
47	9573		4700	9325	15516	3108	54581
48	9765	174500	4794	9511	15827	6341	397623
49	9960		4890	9702	16143	9702	63254
50	10159	-	4987	9896	16466	13194	120594

Tabelul C7.15 - Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire – Clădire V5

An	Mentenanță cazan gaze nat.	Înlocuire cazan gaze nat.	Mentenanță răcire multisplit	Înlocuire răcire multisplit	Mentenanță pompe circulație	Înlocuire pompe circulație
[RON/an]						
1	1000		1575		1870	
2	1020		1607		1907	
3	1040		1639		1946	
4	1061		1671		1984	-
5	1082		12529		2024	
6	1104		1739		2065	
7	1126		1774		2106	
8	1149	-	1809		2148	74400
9	1172		1845		2191	
10	1195		13833	-	2235	
11	1219		1920		2280	
12	1243		1958		2325	-
13	1268		1997		2372	
14	1294		2037		2419	
15	1319	226950	15273		2467	
16	1346		2120		2517	87172
17	1373		2162		2567	
18	1400		2205		2618	
19	1428		2249		2671	
20	1457		16863	122372	2724	-
21	1486		2340		2779	
22	1516		2387		2834	
23	1546		2435		2891	
24	1577		2484		2949	102136
25	1608		18618		3008	
26	1641		2584		3068	
27	1673		2636		3129	
28	1707		2688		3192	-
29	1741		2742		3256	
30	1776	305445	20555	-	3321	
31	1811		2853		3387	
32	1848		2910		3455	119668
33	1885		2968		3524	
34	1922		3028		3595	
35	1961		22695		3666	
36	2000		3150		3740	-
37	2040		3213		3815	
38	2081		3277		3891	
39	2122		3343		3969	
40	2165		25057	181839	4048	140211
41	2208		3478		4129	
42	2252		3547		4212	
43	2297		3618		4296	
44	2343		3691		4382	-
45	2390	411089	27665		4469	
46	2438		3840		4559	
47	2487		3916		4650	
48	2536	-	3995		4743	164279
49	2587		4075		4838	
50	2639		30544		4935	-

Tabelul C7.16 - Evoluția în timp a costurilor de mentenanță și înlocuire - Clădire V5

An	Înlocuire termoizolare țevi centrală	Mentenanță VCV	Înlocuire VCV	Mentenanță corpuri iluminat	Înlocuire corpuri iluminat	Cost anual
[RON/an]						
1		1890		6240	625	13200
2		1928		6365	1275	14102
3		1966		6492	2601	15684
4		2006		6622	3980	17324
5		2046		6754	5412	29848
6		2087	-	6889	690	14574
7		2128		7027	1408	15569
8		2171		7168	2872	91717
9		2214		7311	4394	19127
10		2259		7457	5975	32955
11		2304	4571	7607	762	20662
12		2350	4663	7759	1554	21852
13		2397	4756	7914	3171	23875
14		2445	4851	8072	4851	25969
15	-	2494	4948	8234	6597	268283
16		2544	5047	8398	841	109984
17		2595	5148	8566	1716	24127
18		2646	5251	8738	3501	26360
19		2699	5356	8912	5356	28672
20		2753	10926	9091	72909	239095
21		2808	11145	9272	929	30759
22		2865	11367	9458	1895	32322
23		2922	11595	9647	3865	34900
24		2980	11827	9840	5913	139705
25		3040	12063	10037	8042	56416
26		3101	30761	10237	1025	52417
27		3163	31377	10442	2092	54512
28		3226	32004	10651	4267	57735
29		3291	32644	10864	6529	61066
30	18646	3356	33297	11081	8879	406358
31		3423		11303	1132	23910
32		3492		11529	2309	145211
33		3562		11760	4711	28409
34		3633		11995	7208	31380
35		3706		12235	9803	54066
36		3780		12479	1250	26399
37		3855		12729	2550	28201
38		3932	-	12983	5202	31366
39		4011		13243	7959	34647
40		4091		13508	107949	478867
41		4173		13778	1380	29146
42		4257		14054	2815	31137
43		4342		14335	5743	34631
44		4429		14622	8787	38253
45		4517		14914	11950	476995
46		4608	9142	15212	1524	41322
47		4700	9325	15516	3108	43702
48		4794	9511	15827	6341	212026
49		4890	9702	16143	9702	51935
50		4987	9896	16466	13194	82661