



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI

OIPOSDRU



Investește în oameni!

FONDUL SOCIAL EUROPEAN

Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Axa prioritară: 1 „Educația și formarea profesională în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”

Domeniul major de intervenție: 1.5 „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”

Titlul proiectului: Proiect de dezvoltare a studiilor de doctorat în tehnologii avansate- ”PRODOC”

Numarul de identificare al contractului: POSDRU 6/1.5/S/5

Beneficiar: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

FACULTATEA DE CONSTRUCȚII

fiz. Bogdan Gabriel BRUMĂ

TEZĂ DE DOCTORAT

STUDII NUMERICE COMPARATIVE PRIVIND PERFORMANȚA TERMICĂ A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII

**Conducător Științific,
Prof.dr.ing. Pavel ALEXA**

2015

INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND ABORDAREA HIGROTERMICĂ A CLĂDIRILOR	4
1.1. CONSIDERAȚII GENERALE.....	4
1.2. CADRU LEGISLATIV ATÂT PE PLAN EUROPEAN CÂT ȘI PE PLAN NAȚIONAL.....	11
1.2.1. Pe plan european	11
1.2.2. Pe plan național	15
1.3. ACTE NORMATIVE CONEXE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE.....	17
1.4. DEZVOLTAREA DURABILĂ ȘI CONSTRUCȚIILE SUSTENABILE.....	26
1.4.1. Standardul BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	32
1.4.2. Standardul LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	33
1.4.3. CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)	34
1.4.4. GREEN STAR	35
1.4.5. DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)	37
CAPITOLUL 2. FENOMENELE DE TRANSFER TERMIC	39
2.1. GENERALITĂȚI.....	39
2.2. MĂRIMI HIGROTERMICE	40
2.2.1. Termeni, simboluri și unități de măsură.....	40
2.3. TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ PRIN ELEMENTELE ANVELOPEI.....	42
2.3.1. Transferul căldurii prin conducție	42
2.3.2. Transferul căldurii prin convecție	48
2.3.3. Transferul căldurii prin radiație	51
2.3.4. Transferul global de căldură la suprafețele elementelor de construcții.....	54
2.4. REZOLVAREA NUMERICĂ A TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ ÎN REGIM TERMIC STAȚIONAR.....	56

2.4.1. Elemente de închidere cu alcătuire omogenă.....	56
2.4.2. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi omogene paralele perpendiculare pe fluxul termic	61
2.4.3. Elemente de închidere cu alcătuire neomogenă.....	64
2.5. TRANSMISIA CĂLDURII ÎN REGIM TERMIC NESTAȚIONAR.....	65
2.5.1. Ecuația diferențială a conducției termice în regim termic nestaționar.....	65
2.5.2. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcții în regim nestaționar	67
2.5.3. Alți coeficienți care se calculează în stabilirea comportării higrotermice a unei clădiri	71

CAPITOLUL 3. CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC 80

3.1. EFICIENȚA ENERGETICĂ A UNEI CONSTRUCȚII.....	80
3.2. CASA PASIVĂ	86
3.3. CLĂDIRI CU CONSUM DE ENERGIE APROAPE EGAL CU ZERO	99
3.3.1. Generalități.....	99
3.3.2. Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel internațional ...	100
3.3.3. Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel național.....	105
3.4. CLĂDIRILE VERZI.....	108
3.5. ALTE TIPURI DE CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC	113

CAPITOLUL 4. EVALUAREA PERFORMANȚELOR TERMICE A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII ÎN REGIM DINAMIC 115

4.1. INTRODUCERE	115
4.2. ELEMENTE DE TEORIE ALE CALCULULUI DINAMIC ÎN LITERATURA INTERNAȚIONALĂ.....	116
4.3. REȚELE TERMICE ECHIVALENTE LA CLĂDIRI.....	128
4.4. FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A ALGORITMULUI DE CALCUL ÎN REGIM TERMIC NESTAȚIONAR	131
4.4.1. Transferul undirecțional în regim termic nestaționar.....	131

4.4.2. Transferul plan în regim termic nestaționar	135
4.5. METODOLOGIE DE CALCUL A TEMPERATURII INTERIOARE A UNEI INCĂPERI	138
4.6. CONSIDERAREA IN CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE A PUNȚILOR TERMICE	145
CAPITOLUL 5. CALCULE TERMOTEHNICE UTILIZÂND CARACTERISTICI DINAMICE	149
5.1. CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE PENTRU DIFERITE ALCĂTUIRI CONSTRUCTIVE.....	149
5.2. EXEMPLU DE APLICARE A REȚELELOR TERMICE ECHIVALENTE	159
5.3. PROGRAMUL DE CALCUL A TEMPERATURII OPERATIVE A UNUI SPAȚIU ÎN TIMPUL VERII.....	162
5.4. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL PENTRU LUAREA ÎN CONSIDERAREA A PUNȚILOR TERMICE LA EVALUAREA CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE	172
5.4.1. Determinarea coeficientului liniar de transfer termic ψ și a rezistenței termice corectate R'	173
5.4.2. Analiza considerării efectului prezenței punților termice în stabilirea caracteristicilor termice dinamice	181
5.5. CALCULUL NECESARULUI DE ENERGIE PENTRU ÎNCĂLZIRE PE BAZA COMPORTĂRII DINAMICE A CLĂDIRII	212
5.5.1. Descrierea clădirii	212
5.5.2. Condiții climatice specifice amplasamentului clădirii	214
5.5.3. Evaluarea necesarului de energie pentru încălzirea clădirii și primenirea aerului	221
CAPITOLUL 6. CONCLUZII	224
6.1. CONCLUZII GENERALE	224
6.2. SINTEZA CONTRIBUȚIILOR AUTORULUI	226
BIBLIOGRAFIE	228

INTRODUCERE

Consumul de energie a devenit în ultimii ani o problemă globală. Din consumul total de energie al statelor membre ale Uniunii Europene, aproximativ 40% este utilizat în clădirile rezidențiale și comerciale, ceea ce înseamnă că sectorul clădirilor este responsabil pentru circa 36% din emisiile totale de dioxid de carbon.

Protocolul de la Kyoto pune accent pe îmbunătățirea eficienței energetice și de asemenea pe rezolvarea unor probleme majore care pot afecta mediul înconjurător în principal prin gestionarea eficientă a resurselor și a costurilor și reducerea emisiilor de dioxid de carbon (CO₂).

Fondul de clădiri existent în Europa reprezintă aproximativ 35000000 de metri pătrați de suprafață construită, respectiv o mare parte din această suprafață (mai multe de 80%) a fost realizată înainte de 1975. În plus, 18% a fondului de clădiri existent a fost realizat după anii 1990. Acest fapt explică consumurile foarte ridicate ale clădirilor europene, în jura de 60% dintre aceste clădiri fiind rezidențiale caracterizate de un consum energetic de energie primară în jur de 190 kWh/(m²an).

Având în vedere contextul actual al dezvoltării sustenabile și utilizării cât mai eficiente a energiei la nivel mondial s-a propus realizarea unor clădiri în care consumul de energie să fie cât mai redus sau aproape egal cu zero, cerință în curs de implementare obligatoriu începând cu 31 Decembrie 2018 pentru clădirile publice și 31 decembrie 2020 pentru toate tipurile de clădiri.

Astfel, prin reducerea consumurilor în clădiri, o națiune poate să-și reducă dependența de energie importată și să-și întărească poziția strategică la nivel internațional. Criteriul de „eficiență energetică” este înțeles de Uniunea Europeană ca fiind o bună modalitate de stabilire a securității energetice pe termen lung. Prin reducerea consumurilor energetice se va obține și o reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, și implicit și o reducere a nivelului de poluare la nivelul țințelor propuse pe plan național.

Proiectarea clădirilor cu consum de energie zero sau aproape egale cu zero impune necesitatea efectuării calculelor pentru stabilirea performanței energetice a clădirii în regim termic nestaționar (dinamic). Evaluarea comportării în regim dinamic a clădirilor oferă posibilitatea efectuării unei proiectări corecte a zonelor problematice din punct de vedere termic (punți termice) a elementelor anvelopei clădirii, ducând pe ansamblu la o comportare energetică optimizată a clădirii.

Teza de față se înscrie în preocuparea specialiștilor pentru implementarea în proiectarea curentă a directivelor europene privind eficiența energetică a clădirilor. În acest sens, prezenta

lucrare analizează comparativ performanța termică a elementelor anvelopei clădirii în regim static și dinamic, fiind structurată în cinci capitole, după cum urmează:

Primul capitol prezintă cadrul legislativ atât pe plan european cât și pe plan național a stardardelor în vigoare cu privire la proiectare termotehnică și higrotermică a clădirilor existente și a clădirilor noi. Tot în capitolul 1 sunt prezentate date privitoare la consumul de energie atât la nivel național cât și la nivel internațional în diferite diferite sectoare. Capitolul 1 se încheie cu prezentarea conceptului dezvoltării durabile, a tipurilor de clădiri sustenabile și a standardelor internaționale care reglementează aceste tipuri de clădiri „verzi”.

Capitolul doi prezintă fenomenele de transfer termic: convecția, conducția și radiația. Tot în capitolul 2 este prezentată rezolvarea numerică a transferului de căldură atât în regim termic staționar cât și nestaționar pentru elementele cu închidere omogenă și neomogenă. Capitolul 2 constituie suportul teoretic pentru realizarea obiectivelor tezei de doctorat.

În **Capitolul trei** sunt prezentate tipurile de clădirile eficiente energetic existente pe piața mondială a clădirilor: Se realizează o punere în temă a principalelor caracteristici ale acestor tipuri de clădiri eficiente energetic, respectiv: casa pasivă, casa cu consum de energie aproape zero, casa verde, casa triplu zero și casa cu energie pozitivă.

În **Capitolul patru** se prezintă succint aspecte de teorie legate de elementele de calcul termic dinamic definite de standardul internațional EN ISO 13786 și modul de aplicare a „metodei admitanțelor” în vederea rezolvării problemelor de transfer termic complex. Problematika stabilirii temperaturii operative pe timp de vară într-un spațiu fără climatizare abordat în standardul EN ISO 13791 și EN ISO 13792 a fost analizată și însușită de autor, fapt ce i-a permis elaborarea unui program de calcul specific prezentat în capitolul 5. În acest capitol se mai prezintă și definirea algoritmul de calcul în regim termic nestaționar pentru calculul unidirecțional și calculul plan, precum și modul de evaluarea a prezenței punților termice în alcătuirea elementelor anvelopei clădirii și în calculul caracteristicilor termice dinamice.

Capitolul cinci prezintă aplicații cu rezultate numerice obținute în urma calculelor efectuate pe baza principiilor teoretice amintite la capitolele anterioare. Se prezintă rezultatele numerice și grafice obținute pentru răspunsul termic dinamic al elementelor exterioare și interioare ale clădirii. De asemenea, se prezintă modul de aplicare a rețelelor termice echivalente la clădiri și un program de calcul pentru stabilirea temperaturii operative a unui spațiu în timpul verii, validat conform standardului EN ISO 13791. Problematika luării în considerare a prezenței punților termice în alcătuirea constructivă a elementelor clădirii sub aspectul rezultatelor obținute în urma unor calcule dinamice, a reprezentat o preocupare importantă a autorului în lucrarea de față. În acest sens a propus o metodă de echivalare a elementelor reale neomogene cu un element

cu straturi omogene a cărui comportare este similară cu a elementului inițial cu punți termice, obținându-se rezultate apropiate de fenomenele reale ale transferului de căldură întâlnite în exploatarea clădirii. În încheierea capitolului 5 se prezintă analiza consumurilor energetice a unei clădirii de locuințe nereabilitată termic și în 4 variante de reabilitare termică, consumuri energetice obținute pe baza analizei comportării dinamice a clădirii.

Capitolul șase conține concluziile generale ale lucrării de față și contribuțiile originale ale autorului.

CAPITOLUL 1. STADIUL ACTUAL PRIVIND ABORDAREA HIGROTERMICĂ A CLĂDIRILOR

1.1. CONSIDERAȚII GENERALE

La momentul actual, atât pe plan național cât și la nivelul țărilor membre ale Uniunii Europene, se pune tot mai mult accent pe utilizarea cât mai eficientă a energiei la nivelul clădirilor.

Se cunoaște faptul că, prin destinația lor, clădirile de locuit și socio-culturale trebuie să satisfacă cerințele de viață ale omului și în special protecția contra agenților climatici: vânt, ploaie, zăpadă, radiație solară (Negoiță, și alții, 1976). Cele mai importante condiții fiziologice ale clădirilor sunt legate de dualismul zilnic al vieții omenesci: catabolismul – anabolism. Catabolismul are loc în perioada de activitate a omului, care se caracterizează prin consumarea rezervelor de energie, iar pentru aceasta este necesar ca să existe un mediul corespunzător de lucru pentru organismul omenesc. În contrast cu catabolismul, anabolismul are loc în perioada de repaus – odihnă a omului și care se caracterizează prin aceea că organismul omenesc elimină substanțele nefolositoare acumulând energie potențială. Aceste două procese sunt influențate și determinate de caracteristicile higrotermice ale elementelor de construcție și de condițiile de climat interior și exterior.

Confortul termic definește armonia dintre om și mediul înconjurător, din punct de vedere al schimbului de căldură și umiditate, fiind influențat de mai mulți parametri: temperatura aerului, temperatura radiantă a corpului, viteza aerului, umiditatea aerului și tipul activității depuse (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992).

O altă definiție cu privire la confortul termic poate fi starea generală de satisfacție a ocupanților unei clădiri față de mediul înconjurător, iar menținerea confortului termic va fi o cerință obligatorie luată în considerare încă de la faza de proiectare. Această definiție este menționată în Standardul 55 realizat de către ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers).

Atenția deosebită acordată problemelor de confort termic se datorează nu numai implicațiilor de ordin fizio – psiho – sociologic, dar și faptului că realizarea acestuia este legată de consumurile de energie ce apar în procesul de utilizare a construcțiilor. Dorința de confort ne duce la consumuri exagerate de energie.

Clădirile, indiferent de destinația lor, sunt mari consumatoare de energie și în același timp oferă oportunități mari pentru ridicarea eficienței energetice, problemă de mare actualitate în

actualul context mondial. Îmbunătățirea eficienței energetice atrage după sine și reducerea facturii energetice, o cerință foarte importantă din punct de vedere economic.

Din cele enunțate mai sus rezultă că microclimatul interior al unei clădiri trebuie să fie rezultatul unei optimizări multicriteriale, având în vedere atât confortul termic cât și economia de energie.

Având în vedere cele menționate este important de abordat de asemenea și conceptul de performanță în construcții. Conceptul de performanță în construcții a fost formulat pentru prima dată în 1962 la congresul al II-lea al C.I.B. (Conseil International du Bâtiment) și are ca principal obiectiv stabilirea indicatorilor de performanță ai construcțiilor și ai părților lor componente în vederea satisfacerii exigențelor utilizatorilor, pe întreaga lor durată de viață, în concordanță cu cerințele sociale, economice și de mediu (Cobârzan, 2007).

Importantă este de asemenea și performanța energetică a unei clădiri care reprezintă cantitatea de energie consumată sau estimată a satisface diversele nevoi, asociate cu o utilizare standardizată a clădirii, ceea ce ar include, printre altele încălzirea, răcirea, încălzirea apei calde, ventilarea și iluminatul. Sectoarele clădirilor rezidențiale și terțiare (birouri, spații comerciale, hoteluri, restaurante, școli, spitale, săli de sport etc. dar nu clădirile industriale) sunt cele mai mari consumatoare finale de energie, atât în ceea ce privește energia folosită pentru controlul climatului în clădire cât și energia folosită pentru aparatură electrocasnică, iluminat și alte echipamente instalate (Moga L. , Contribuții privind optimizarea termoenergetică a clădirilor noi și existente, 2009).



Figura 1. Performanța energetică a clădirilor (Buildup, 2013)

O clădire cu un grad ridicat de eficiență energetică este ușor de administrat, asigură sănătatea și confortul locatarilor și are un impact minim asupra mediului înconjurător.

Este știut faptul că sectorul clădirilor este responsabil cu 40% din consumul de energie finală. Având în vedere acest aspect, cheltuielile cu eficientizarea energetică ar trebui privite mai degrabă ca o investiție care poate duce la revitalizarea sectorului construcțiilor și, pe termen lung, la o scădere a consumului și, implicit, a costurilor la energie (Paraschiv, 2012).

Țările din Europa Centrală și de Est se confruntă cu probleme economice și de mediu severe generate de sistemele lor energetice ineficiente și poluante. La polul opus, toate țările din Europa de Vest au derulat programe naționale de protecție termică, realizate în etape progresive, demarate după criza energetică din 1973 și cea din 1979. În cadrul acestor programe, în care s-au aplicat diferite soluții de îmbunătățire a gradului de protecție termică, au fost acordate o serie de facilități fiscale, facilități care au impulsionat punerea acestora în aplicare. Rezultatul a fost o scădere continuă a consumului de energie.

Europa 2020 este o strategie pe 10 ani a Uniunii Europene, al cărei scop trece dincolo de depășirea crizei care continuă să afecteze multe dintre economiile europene. Strategia își propune să elimine deficiențele modelului nostru de dezvoltare și să creeze condiții favorabile pentru o creștere economică mai inteligentă, mai durabilă și mai favorabilă incluziunii.

Creșterea rapidă a utilizării energiei la nivel global a dus la expunerea unor probleme majore cum ar fi: epuizarea resurselor de energie și impactul puternic asupra mediului înconjurător (distrugerea stratului de ozon, încălzirea globală, schimbare climatică, etc.). Creșterea consumului de energie se datorează de asemenea creșterii numărului populației ceea ce conduce la creșterea numărului de locuințe și creșterea nivelului de confort.

Conform Agenției Internaționale pentru Energie în ultimele două decenii a crescut consumul de energie primară cu 49% și de asemenea emisiile de dioxid de carbon cu aproximativ 43%.

Comisia europeană propune în setul de documente care reprezintă noua Politică Energetică a Uniunii Europene următoarele obiective:

- Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu 20% până în anul 2020, în comparație cu cele din anul 1990;
- Creșterea ponderii surselor de regenerabile de energie în totalul mixtului energetic de la mai puțin de 7% în anul 2006, la 20% din totalul consumului de energie al UE până în 2020;
- Reducerea consumului global de energie primară cu 20% până în anul 2020.

În urma aderării României la Uniunea Europeană, s-au impus respectarea Parteneriatului Internațional pentru Cooperare în domeniul Eficienței Energetice și de asemenea alinierea la standardele impuse de Uniunea Europeană.

Dintre problemele energetice cu care se confruntă România putem aminti (Mone, 2013):

- Consum ridicat de energie pentru exploatarea clădirilor; conform datelor statistice, de cca. 1.5 ori mai mare față de ansamblul UE și de cca. 2 ori mai mare față de Germania, țară cu climat asemănător României;
- Epuizarea resurselor energetice, bazate pe combustibil fosil (petrol, gaze naturale), în perspectiva a 25-50 de ani;
- Importuri însemnate de resurse energetice de bază (petrol și gaze), la prețuri ridicate, dictate de interese strategice, care grevează asupra deficitului balanței de plăți a României;
- Creșterea costului întreținerii locuințelor care pentru un apartament mediu ajunge la circa 70-80% din pensia lunară, transformând o mare parte din persoane asistate.

Conform datelor prelevate de către Institutul Național de Statistică a României, în figura de mai jos (Figura 1.) este prezentat consumul final de energie pe sectoare începând din anul 2000 până în anul 2011 pe diferite sectoare: Construcții și Industrie, Transporturi, Consumul populației, Agricultură și silvicultură și alte ramuri ale economiei.

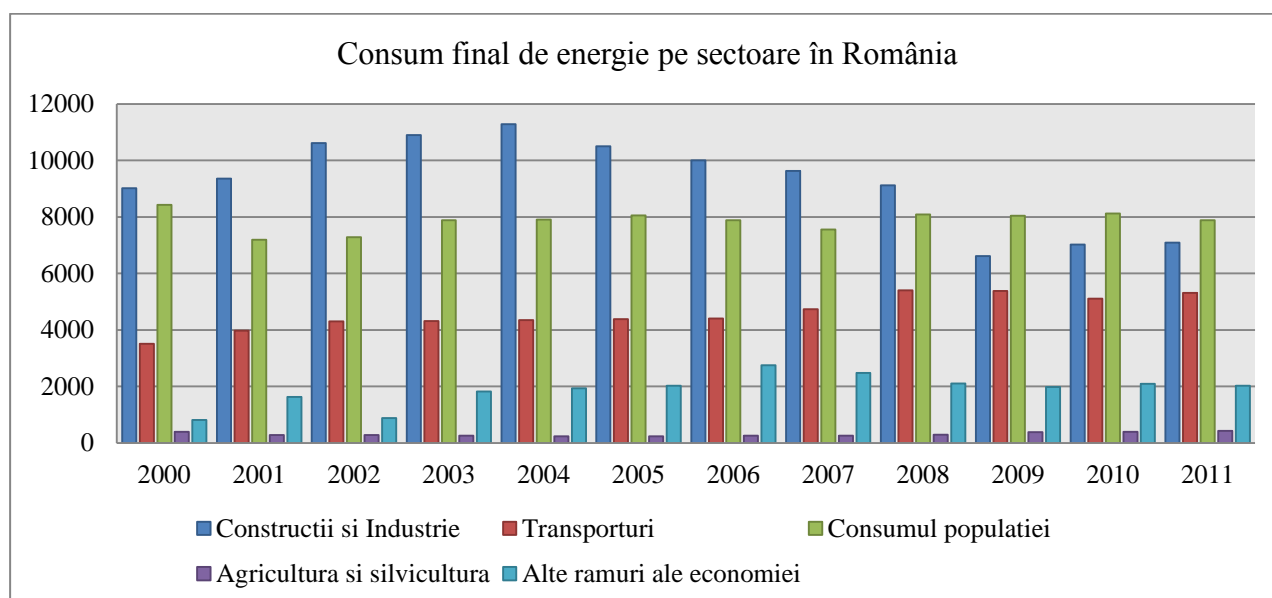


Figura 2. Consumul final de energie pe sectoare în România (Institutul Național de Statistică, 2013)

Se poate observa că consumul cel mai mare îl are sectorul Construcțiilor și a Industriei până în anul 2008 după care se poate observa o descreștere importantă fiind depășit de consumul populației între anii 2009-2011.

Un alt aspect important de luat în considerare sunt problemele majore care sunt cauzate de activitatea umană începând încă din perioada industrializării și care au dus la producerea și degajarea de:

- ✚ *emisia de dioxid de carbon* ca urmare a arderii combustibililor fosili pentru transporturi, încălzire, climatizare, producerea curentului electric în termocentrale și în industrie; (creșterea emisiilor de CO₂ este agravată de defrișări, care se datorează tot activității omului, defrișări care reduc cantitatea de CO₂ absorbită de plante);
- ✚ *emisia de metan*, ca urmare a activităților agricole, cum ar fi creșterea vacilor și cultivarea orezului, datorită scăpărilor prin neetanșeitățile conductelor de transport și distribuție a gazului metan precum și datorită utilizării solului;
- ✚ *emisia de N₂O* ca urmare a folosirii îngrășămintelor chimice și a arderii combustibililor fosili;
- ✚ *emisia de compuși halogenați* datorită utilizării freonilor în instalațiile frigorifice, în instalațiile pentru stingerea incendiilor și ca agent de propulsie în sprayuri, precum și datorită utilizării hexafluorurii de sulf ca protecție împotriva arcurilor electrice;
- ✚ *creșterea concentrației aerosolilor*, ca urmare a activităților industriale, de exemplu mineritul la suprafață. (Incalzirea globala, 2013)

De la începutul revoluției industriale concentrația de dioxid de carbon a crescut cu 32 %. Aceste niveluri sunt mult mai mari decât cele măsurate în cadrul programului Ice Core, și sunt comparabile cu cele atinse acum 20 de milioane de ani.

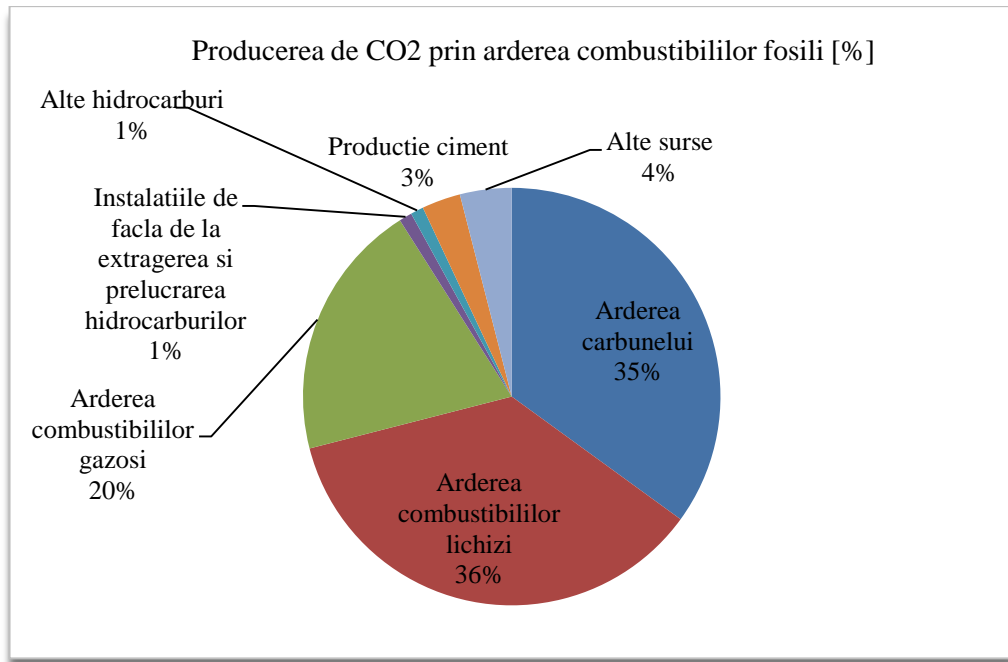


Figura 3. Producerea CO₂ prin arderea combustibililor fosili

Producerea de CO₂ prin arderea combustibililor fosili, a căror ponderi în perioada 2000 - 2004 au fost:

- arderea cărbunelui: 35%;
- arderea combustibililor lichizi: 36%;
- arderea combustibililor gazoși: 20%;
- instalațiile de faclă la extragerea și prelucrarea hidrocarburilor: 1%;
- alte hidrocarburi: 1%;
- producția de ciment: 3%;
- alte surse (transport maritim și aerian necuprins în statisticile naționale): 4%.

Dintre țările cu cele mai mari emisii de CO₂ le putem aminti pe Statele Unite ale Americii, urmate de China, Indonezia, Rusia, India și Brazilia. Emisiile de CO₂ ale SUA se datorează economiei sale, mare consumatoare de petrol, iar ale Chinei și Rusiei datorită industriilor lor energetice bazate pe arderea cărbunilor.

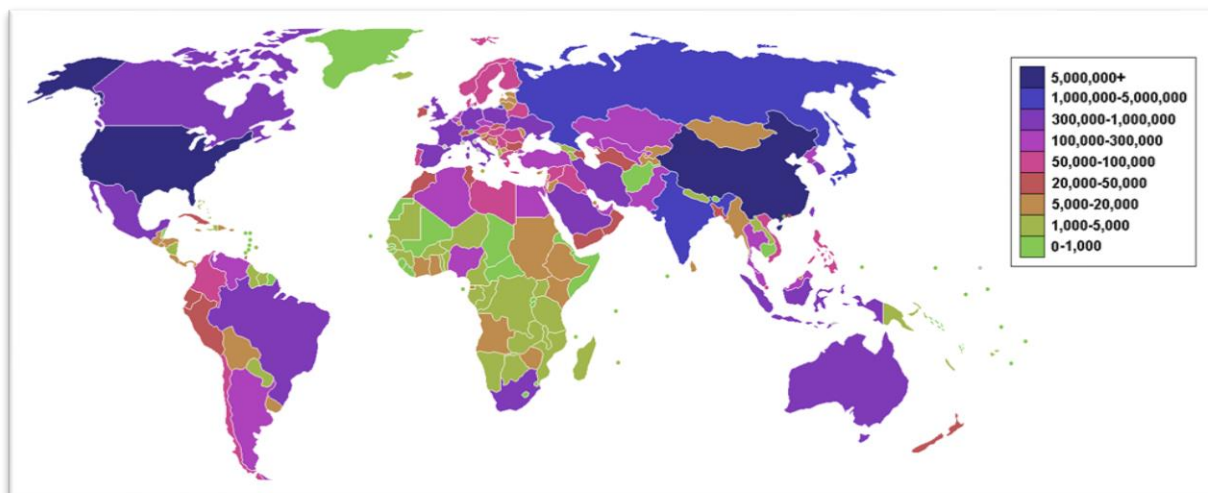


Figura 4.Harta emisiilor de CO₂ datorită arderilor combustibililor fosile pentru toate țările [mii de tone pe an] (List of countries by carbon dioxide emissions, 2013)

Conform datelor prelevate de către Institutul Național de Statistică a României, în figura de mai jos este prezentată intensitatea în CO₂ a consumului energetic.

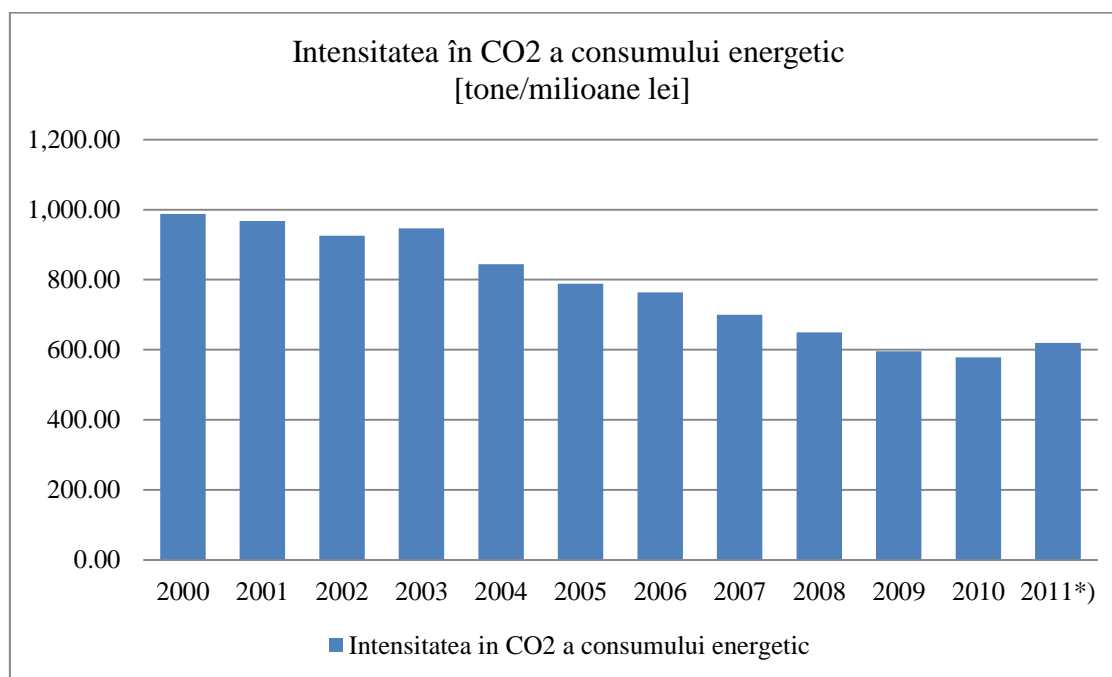


Figura 5.Intensitatea în CO₂ a consumului energetic (Insitutul National de Statistica, 2013)

În figura de mai sus este reprezentată intensitatea în CO₂ a consumului energetic începând din anul 2000 până în anul 2011. Se poate observa faptul că această intensitate are o ușoară creștere în anul 2011 față de anul 2010 (Insitutul National de Statistica, 2013).

1.2. CADRU LEGISLATIV ATÂT PE PLAN EUROPEAN CÂT ȘI PE PLAN NAȚIONAL

La momentul actual se pune accent pe utilizarea cât mai eficientă a energiei nu numai în sectorul construcțiilor dar și în alte sectoare precum industrie, transporturi, agricultură, silvicultură clădiri. Sectorul construcțiilor este unul dintre sectoarele cu consum de energie mare și în continuă creștere, de aceea se dorește reducerea consumului de energie și utilizarea energiei din surse regenerabile. Protocolul de la Kyoto pune accent pe îmbunătățirea eficienței energetice și de asemenea pe rezolvarea unor probleme majore care pot afecta mediul înconjurător în principal prin gestionarea eficientă a resurselor și a costurilor și reducerea emisiilor de dioxid de carbon (CO₂). Tot în cadrul Protocolului de la Kyoto s-a stabilit menținerea creșterii temperaturii globale sub 2°C și de asemenea reducerea de emisii globale cu efect de seră cu cel puțin 20% sub nivelurile din 1990 și cu 30% în eventualitatea încheierii unui acord internațional.

Pentru îndeplinirea acestor obiective s-au elaborat o serie de măsuri legislative care au ca țintă limitarea consumului de energie.

1.2.1. *Pe plan european*

Cuantificarea consumului de energie are o importanță majoră deoarece, până în 31 decembrie 2020, toate clădirile noi construite în țările din UE vor trebui să producă aceeași cantitate de energie pe care o consumă, adică, clădirile vor fi cu consum de energie aproape egal cu zero, conform legislației adoptate de Parlamentul European (Ionescu, 2011).

În Carta Verde din 29 noiembrie 2000, "Pentru o strategie Europeană în Aprovizionare cu Energie", Comisia UE a stabilit trei aspecte legate de necesitatea promovării economisirii de energie:

- Securitatea aprovizionării cu energie, dacă nu se iau măsuri, dependența de import va atinge 70% în 2030, față de 50% în prezent;
- Problemele de mediu sunt din ce în ce mai accentuate, iar 94% din producția de emisii de gaze are loc în procesele de producere și utilizare a energiei;
- UE are o influență limitată asupra condițiilor de aprovizionare cu energie

Directivile europene includ aspecte legate de economia de energie în sectorul clădirilor și posibile măsuri care să conducă la exploatarea potențialului important existent aici (Moga L., Contribuții privind optimizarea termoenergetică a clădirilor noi și existente, 2009).

Din cadrul inițiativelor legislative ale Comunității Europene privind modificările

climatice și securitatea alimentării cu energie, se enumeră următoarele:

- ✚ Directiva 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică a clădirilor;
- ✚ Directiva europeană 2002/91/EC privind performanța energetică a clădirilor care creează un cadru comun pentru promovarea îmbunătățirii performanței energetice a clădirilor;
- ✚ Directiva 93/76/EEC privind limitarea emisiilor de bioxid de carbon;
- ✚ Directiva 92/42/EEC privind cerințele de eficiență pentru cazanele noi de apă caldă;
- ✚ COM (2000) 247 planul de acțiuni pentru îmbunătățirea eficienței în Comunitatea Europeană;
- ✚ Directiva 2006/32/EC privind eficiența utilizării finale a energiei și serviciilor energetice;
- ✚ Raportul 2008/0223 (COD) adoptat în ședința Parlamentului European (PE) în 22.04.2009, privind modificarea Directivei 2002/911 CE referitoare la eficiența energetică a clădirilor.

La momentul actual Consiliul European a elaborat o strategie Europa 2020, care este o strategie pe 10 ani a Uniunii Europene, al cărei scop trece dincolo de depășirea crizei care continuă să afecteze multe dintre economiile europene.

Printre cele cinci obiective esențiale pe care și le-a propus Uniunea Europeană se amintește utilizarea eficientă a energiei și obiectivul reducerii impactului schimbărilor climatice prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. Strategia Europa 2020 cuprinde 7 inițiative majore prin care țările membre susțin această strategie în domenii prioritare cum ar fi: ocuparea forței de muncă, inovare, economia digitală, tineret, politica industrială, combaterea sărăciei și eficiență energetică.

Strategiei Europa 2020 se bazează, în mare măsură, pe proceduri și structuri de guvernare noi, pe care UE le-a pus în aplicare începând cu 2010. În centrul lor se află ciclul anual de coordonare a politicilor economice, cunoscut sub denumirea de „semestrul european”. În cadrul acestuia, Comisia Europeană și Consiliul UE oferă orientări politice, statele membre se angajează să realizeze reforme, iar Comisia furnizează recomandări specifice fiecărei țări, aprobate la cel mai înalt nivel de către liderii naționali reuniți în cadrul Consiliului European. Statele membre trebuie să țină cont de aceste recomandări în elaborarea politicilor și a bugetelor naționale (Strategia Europa 20-20-20, 2013).

Una dintre principalele directive ce s-a elaborat este **Directiva 2010/31/UE** a Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică a

clădirilor.

Prezenta directivă are următoarele obiective (Directiva 2010/31/EU , 2010):

- Să stabilească un cadru general comun pentru o metodologie de calcul al performanței energetice integrate a clădirilor și a unităților acestora;
- Aplicarea cerințelor minimale în cazul performanței energetice a clădirilor noi și a noilor unități ale acestora;
- Aplicarea cerințelor minime în cazul performanței energetice a: clădirilor existente, unităților de clădire și elementelor de clădire care sunt supuse unor lucrări importante de renovare (de exemplu, mai mari de 1000 mp); a elementelor care alcătuiesc anvelopa clădirii și care au un impact semnificativ asupra performanței energetice a anvelopei clădirii atunci când sunt modernizate sau înlocuite și nu în ultimul rând a sistemelor tehnice ale clădirilor;
- Certificarea energetică a clădirilor și a unităților acestora, etc.

Directiva 31/2010 introduce nou conceptul de ”nivel optim din punct de vedere al costurilor”. Acesta reprezintă nivelul de performanță energetică care determină cel mai redus cost pe durata normată de funcționare rămasă a unei clădiri sau a unor elemente de clădire. Pentru a determina nivelul optim din punct de vedere al costurilor, se face o analiză cost-beneficiu calculată pe durata normată de funcționare, care trebuie să fie pozitivă (Ionescu, 2011).

Statele membre trebuie să adopte, la nivel național sau regional, o metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor, care trebuie să țină seama de anumite elemente, și anume:

- + caracteristicile termice ale clădirii (capacitate termică, izolare etc.);
- + instalațiile de încălzire și de alimentare cu apă caldă;
- + instalațiile de climatizare;
- + instalația de iluminat integrată;
- + condițiile de climat interior.

Se ține seama, de asemenea, de influența pozitivă a altor elemente, cum ar fi condițiile locale de expunere la radiația solară, iluminatul natural, electricitatea produsă prin cogenerare și sistemele de încălzire și de răcire centralizate sau de bloc.

Statele membre trebuie să pună în aplicare, în conformitate cu metodologia de calcul menționată, cerințe minime în materie de performanță energetică, pentru a atinge niveluri optime, din punctul de vedere al costurilor. Nivelul acestor cerințe este revizuit la fiecare cinci ani. La stabilirea acestor cerințe minime, statele membre pot să facă o distincție între clădirile noi și cele deja existente, precum și între diversele categorii de clădiri.

Clădirile noi trebuie să respecte cerințele stabilite și, înainte de începerea lucrărilor de construcție, trebuie să facă obiectul unui studiu de fezabilitate privind instalarea unor sisteme de alimentare cu energie din surse regenerabile, a unor pompe de căldură, a unor sisteme de încălzire sau de răcire centralizate sau de bloc și a unor sisteme de cogenerare.

Clădirile existente, atunci când sunt supuse unor renovări majore, trebuie să beneficieze de o îmbunătățire a performanței energetice, astfel încât să îndeplinească, de asemenea, cerințele minime.

Pot fi excluse de la aplicarea cerințelor minime:

- ✚ clădirile protejate oficial (de exemplu, clădirile cu valoare istorică);
- ✚ clădirile utilizate ca lăcașuri de cult;
- ✚ construcțiile provizorii;
- ✚ clădirile rezidențiale destinate utilizării pentru o perioadă limitată în cursul unui an;
- ✚ clădirile independente cu o suprafață utilă totală mai mică de 50 m².

Atunci când sunt nou instalate, înlocuite sau modernizate, sistemele tehnice ale clădirilor, cum sunt sistemele de încălzire, sistemele de apă caldă, sistemele de climatizare și sistemele de ventilare de mari dimensiuni, trebuie să îndeplinească, de asemenea, cerințele în materie de performanță energetică.

Elementele clădirii au un impact semnificativ asupra performanței energetice a clădirii (de exemplu, ramele ferestrelor). Din acest considerent elementele anvelopei clădirii trebuie să respecte cerințele minime în materie de performanță energetică atunci când sunt înlocuite sau modernizate, pentru a se atinge niveluri optime, din punctul de vedere al costurilor (Moga L. , 2009).

Ori de câte ori se construiește sau se renovează o clădire, directiva încurajează ferm introducerea unor sisteme inteligente de contorizare, în conformitate cu Directiva privind normele comune pentru piața internă a energiei electrice.

Începând cu data de 31 decembrie 2020, toate clădirile noi vor fi clădiri cu consum de energie aproape egal cu zero. Clădirile noi ocupate și deținute de autoritățile publice trebuie să îndeplinească aceleași criterii după 31 decembrie 2018.

Comisia încurajează creșterea numărului de clădiri de acest tip prin elaborarea unor planuri naționale, care să conțină (Directiva 2010/31/EU , 2010):

- ✚ aplicarea practică de către statul membru a definiției clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero;
- ✚ obiective intermediare privind îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor noi, până în 2015;

- ✚ informații privind politicile și măsurile financiare adoptate pentru a încuraja îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor.

Statele membre sunt responsabile cu întocmirea unei liste a instrumentelor existente și a celor propuse, cu scopul de a promova îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor.

Statele membre trebuie să instituie un sistem de certificare a performanței energetice a clădirilor. Acesta include, în special, informații privind consumul de energie al clădirilor și recomandări pentru îmbunătățirea performanței în materie de costuri (Directiva 2010/31/EU , 2010).

Atunci când o clădire sau o unitate de clădire este oferită spre vânzare sau închiriere, indicatorul performanței energetice din certificatul de performanță energetică trebuie să figureze în toate anunțurile din mijloacele de comunicare în masă comerciale.

În momentul construcției, vânzării sau închirierii unei clădiri sau a unei unități de clădire, acest certificat este arătat potențialului nou locatar sau cumpărător și este înmănat cumpărătorului sau noului locatar.

În ceea ce privește clădirile cu o suprafață utilă totală de peste de 500 m² ocupate de o autoritate publică și clădirile cu o suprafață utilă totală de peste de 500 m² vizitate în mod frecvent de public, certificatul de performanță energetică trebuie să fie afișat într-un loc vizibil publicului (începând cu 9 iulie 2015, acest prag va fi redus la 250 m²).

Statele membre sunt responsabile cu instituirea unui sistem de inspecții periodice ale sistemelor de încălzire și de climatizare ale clădirilor.

1.2.2. Pe plan național

La nivel național, în ceea ce privește economisirea energiei în sectorul rezidențial au fost adoptate o serie de reglementări începând din anul 2000, după cum urmează:

- ✚ Ordonanța de Guvern a României nr. 29/31.01.2000 privind reabilitarea termică a fondului existent și stimularea economisirii energiei termice, aprobată prin Legea nr. 325/27.05.2002. Această ordonanță instituie cadrul legal pentru reabilitarea și modernizarea termică a tuturor clădirilor existente și instalațiilor aferente acestora, cu scopul de a îmbunătăți condițiile de igienă și confort termic și de a reduce pierderile de căldură, consumurile energetice, costurile de întreținere pentru încălzire și alimentare cu apă caldă menajeră și de a reduce emisiile poluante generate de producerea;

- ✚ Ordonanța de Urgență a Guvernului României nr.174/09.12.2002 privind instituirea măsurilor speciale pentru reabilitarea termică a unor clădiri multietajate, aprobată prin Legea nr. 211/16.05.2003;
- ✚ Legea nr.199/13.11.2000 "Legea eficienței energetice", având ca scop crearea cadrului legal necesar pentru elaborarea și aplicarea unei politici naționale de utilizare eficientă a energiei, în conformitate cu prevederea tratatului Cartei Energiei, ale Protocolului Cartei Energiei privind energetica și aspectele legate de mediu și cu principiile care stau la baza dezvoltării durabile, în cadrul căreia se instituie obligații și stimulente pentru producătorii și consumatorii de energie, în vederea utilizării eficiente a acesteia;
- ✚ Normele metodologice de aplicare a OG 174/2002;
- ✚ Ordonanța nr. 187/2005, pentru modificarea OG 174/2002 aprobată de Parlamentul României prin Legea nr.260/23.06.2006;
- ✚ Legea nr. 372/13.12.2005 , privind performanța energetică a clădirilor, lege în temeiul căreia România a preluat în totalitate prevederile Directivei CE 91/2002. (publicat: 22-06-2010)
- ✚ ORDIN pentru aprobarea Procedurii de control al statului cu privire la aplicarea unitară a prevederilor legale privind performanța energetică a clădirilor și inspecția sistemelor de încălzire/climatizare - indicativ PCC 001-2013 - publicat - 21-10-2013
- ✚ LEGE nr. 372/2005 modificată privind performanța energetică a clădirilor (republicat: 18-10-2013)
- ✚ LEGE nr. 159/2013 pentru modificarea și completarea Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor (publicat: 23-05-2013)
- ✚ ORDIN nr. 691/08.10.2007 pentru aprobarea Normelor metodologice privind performanța energetică a clădirilor (publicat: 04-11-2010)
- ✚ ORDIN nr. 1071/16.12.2009 privind modificarea și completarea Ordinului ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007 pentru aprobarea reglementării tehnice Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor
 - Anexa nr. 1- Partea a IV-a - Breviar de calcul al performanței energetice a clădirilor și apartamentelor;
 - Anexa nr. 2- Partea a IV-a - Model certificat de performanță energetică al apartamentului.

- ✚ ORDONANTA DE URGENTA nr. 114/23.12.2009 privind unele măsuri financiar-bugetare (publicat: 04-11-2010)
- ✚ ORDIN nr. 1217/31.03.2010 privind completarea anexei nr. 4 Partea a IV-a - Breviar de calcul al performantei energetice a clădirilor și apartamentelor, indicativ Mc 001/4-2009 la Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 157/2007 pentru aprobarea reglementării tehnice Metodologie de calcul al performantei energetice a clădirilor (publicat: 13-08-2010)
- ✚ ORDIN nr. 2210/2013 privind modificarea și completarea ordinului ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr.157/2007 pentru aprobarea reglementării tehnice „Metodologie de calcul al performanței energetice a clădirilor”

1.3. ACTE NORMATIVE CONEXE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE

Dintre normativele conexe amintim:

1. Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții.
2. Legea nr. 325/2002 pentru aprobarea OG 29/2000 privind reabilitarea termică a fondului construit existent și stimularea economisirii energiei termice.
3. C107/0 - Normativ pentru proiectarea și executarea lucrărilor de izolație termică la clădiri.
4. C107/1 - Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile de locuit.
5. C107/3 - Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor.
6. C107/4 - Ghid pentru calculul performanțelor termotehnice ale clădirilor de locuit.
7. C107/5 - Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul.
8. C107/6 - Normativ general privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcție (înlocuiește STAS 6472/4).
9. C 107/7 - Normativ pentru proiectarea la stabilitate termică a elementelor de închidere ale clădirilor (înlocuiește NP 200-89).
10. C107 modificat, publicat în Monitorul Oficial, partea I, nr. 820 din 8 decembrie 2010.
11. GP 058 - Ghid privind optimizarea nivelului de protecție termică la clădirile de locuit.
12. SC 007 Soluții cadru pentru reabilitarea termo – higro - energetică a anvelopei clădirilor de locuit existente.

13. NP 048 - Normativ pentru expertizarea termică și energetică a clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora.
14. NP 049 - Normativ pentru elaborarea și acordarea certificatului energetic al clădirilor existente.
15. NP 047 - Normativ pentru realizarea auditului energetic al clădirilor existente și al instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora.
16. GP 015 - Ghid pentru expertizarea și adoptarea soluțiilor de îmbunătățire a protecției termice și acustice la clădiri existente unifamiliale sau cu număr redus de apartamente.
17. NP-064-02 - Normativ pentru proiectarea mansardelor la clădirile de locuit.
18. SR ISO 7730 - Ambianțe termice moderate. Determinarea indicilor PMV și PPD și specificarea condițiilor de confort termic.

Pentru realizarea condițiilor de implementare a prevederilor din actele legislative prezentate mai sus, pe parcursul mai multor ani au fost elaborate o serie de reglementări noi sau au fost revizuite cele existente. Această activitate s-a desfășurat pe două direcții:

- activitate coordonată de MDLPL (în prezent MDRAP), în cadrul căreia au fost elaborate reglementări tehnice de tip: normativ, ghid, metodologie, specificație tehnică, soluții cadru,
- activitate coordonată de ASRO, în cadrul căreia au fost adoptate standarde europene ca standarde românești.

Printre aceste reglementări tehnice se numără și Metodologia de evaluare a performanței energetice a unei clădiri MC001, reglementată prin OM 157/2007; aceasta transpune în România prevederile Directivei 2002/91/CE conform Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor. Normativul menționat este compus din șase părți: metodologia de determinare a caracteristicilor hidro-termo-energetice ale elementelor care alcătuiesc anvelopa clădirii, metodologia de analiză a instalațiilor și echipamentelor clădirii, metodologia de întocmire a auditului energetic al clădirii și a certificatului de performanță energetică a clădirii.

Ulterior, Ordinul 1071/16.12.2009 modifică și completează OM 157/2007, adăugând încă două părți Metodologiei de calcul, și anume: partea IV – Breviar de calcul al performanței energetice a clădirilor și apartamentelor, indicativ MC001/4-2009, și partea V – Model certificat de performanță energetică al apartamentului, indicativ MC001/5-2009. În anul 2013 prin Ordinul 2210/2013 se aduce o completare la metodologie, respectiv partea VI- Parametrii climatici necesari determinării performanței energetice a clădirilor noi și existente.

În tabelul următor sunt amintite valorile normate și valorile limită apreciate, ale rezistențelor termice la clădirile de locuit noi amintite în MC001/1-2006.

Tabel 1. Valori normate și valorile limită apreciate, ale rezistențelor termice la clădirile de locuit noi (Mc 001/1, 2006)

Simbolul	Elementul de construcție	R'_{nec}				R'_{min}		Valori limită apreciate		
		Zona climatică				Clădiri noi	Clădiri exist. (**)	Min R'	Max R'	
		I	II	III	IV					
		m^2K/W				m^2K/W		m^2K/W		
E	Pereți exteriori	1,00	1,09	1,19	1,28	1,50	1,40	0,50	4,00	
T	Planșee	de terasă	1,33	1,46	1,58	1,71	3,50	3,00	0,50	5,00
		de pod	1,20*	1,31*	1,42*	1,54*	3,50	3,00	0,50	5,00
S	Peste subsolul neîncălzit	1,33*	1,46*	1,58*	1,71*	1,65	1,65	0,30	3,00	
P	Plăci pe sol	2,13	2,33	2,53	2,73	4,50	3,00	1,00	5,00	
F	Tâmplărie exterioară	0,39				0,55	0,40	0,30	1,50	

*Valori orientative; valorile exacte se determină pe baza unor factori de corecție determinați printr-un calcul de bilanț termic.

** Valori orientative pentru clădirile existente care se reabilitează (clădire de referință).

Tot în cadrul Metodologiei de calcul a performanței energetice a clădirilor Mc 001/1, 2, 3, 4, 5 -2006 și ordinul MDRT nr. 2513/22.11.2010 în care sunt redată valorile normate ale rezistențelor R'_{min} și U'_{max} pe tip de element al anvelopei, uniforme pe țară, pentru cele patru zone climatice.

Tabel 2. Rezistențe termice minime R'_{min} ale elementelor de construcție, pe ansamblul clădirii - la clădiri de locuit (Mc 001/1, 2006)

Nr. Crt.	Elementul de construcție	$R'_{min}[m^2K/W]$		$U'_{max}[W/(m^2K)]$	
		Clădiri de locuit		Clădiri de locuit	
		Noi	Existente care se reabilitează*)	Noi	Existente care se reabilitează*)
1.	Pereți exteriori (exclusiv suprafețele vitrate, inclusiv pereții adiacenți rosturilor deschise)	1,50	1,40	0,67	0,71

2.	Tâmplărie exterioară	0,55	0,40	1,80	2,50
3.	Planșee peste ultimul nivel, sub terase sau poduri	3,50	3,00	0,29	0,33
4.	Planșee peste subsoluri neîncălzite și pivnițe	1,65	1,65	0,60	0,60
5.	Pereți adiacenți rosturilor închise	1,10	1,10	0,90	0,90
6.	Planșee care delimitează clădirea inferioară, de exterior (la bowlinguri, ganguri de trecere, ș.a.)	4,50	3,00	0,22	0,33
7.	Plăci pe sol (peste CTS)	4,50	3,00	0,22	0,33
8.	Plăci la partea inferioară a demisolurilor sau a subsolurilor încălzite (sub CTS)	4,80	4,20	0,20	0,24
9.	Pereți exteriori, sub CTS, la demisolurilor sau la subsolurilor încălzite	2,40	2,00	0,42	0,50

*) valori pentru clădirea de referință

În cazul clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit se dau, pentru clădirea de referință următoarele valori:

Unde:

a – rezistența termică minimă, R'_{min} , a componentelor opacă ale pereților verticali care fac cu planul orizontal un unghi mai mare de 60° , aflați în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, exprimată în m^2K/W ;

b – rezistența termică minimă, R'_{min} , a planșeelor de la ultimul nivel (orizontale sau care fac cu planul orizontal un unghi mai mic de 60° , aflate în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, exprimată în m^2K/W ;

c – rezistența termică minimă, R'_{min} , a planșeelor inferioare aflate în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, exprimată în m^2K/W ;

d – transmitanța termică liniară maximă pe perimetrul clădirii, la nivelul soclului, exprimată în m^2K/W ;

e – rezistența termică minimă, R'_{min} , a pereților transparenți sau translucizi aflați în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, calculată luând în considerare dimensiunile nominale ale golului din perete, exprimată în m^2K/W ;

Tabel 3. Pentru clădiri de categoria 1

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m^2K/W]	b [m^2K/W]	c [m^2K/W]	d [m^2K/W]	e [m^2K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,30	2,80	1,50	1,10	0,43
	II	1,40	2,90	1,60	1,10	0,43
	III	1,50	3,00	1,70	1,10	0,43
	IV	1,60	3,10	1,80	1,10	0,43
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,20	2,80	1,00	1,10	0,39
	II	1,25	2,90	1,05	1,10	0,39
	III	1,30	3,00	1,10	1,10	0,43
	IV	1,35	3,10	1,15	1,10	0,43
Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,20	3,00	1,00	1,10	0,43
	II	1,25	3,20	1,05	1,10	0,43
	III	1,35	3,30	1,10	1,10	0,43
	IV	1,30	3,50	1,15	1,10	0,43
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	0,65	1,80	1,00	1,10	0,32
	II	0,70	2,00	1,05	1,10	0,32
	III	0,75	2,20	1,10	1,10	0,39
	IV	0,80	2,40	1,15	1,10	0,39

Tabel 4. Pentru clădiri de categoria 2

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m^2K/W]	b [m^2K/W]	c [m^2K/W]	d [m^2K/W]	e [m^2K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,20	2,70	1,30	1,20	0,43
	II	1,30	2,80	1,40	1,20	0,43
	III	1,40	2,90	1,50	1,20	0,43
	IV	1,50	3,00	1,60	1,20	0,43
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,10	2,70	1,30	1,20	0,39
	II	1,15	2,80	1,40	1,20	0,39
	III	1,20	2,90	1,50	1,20	0,43

	IV	1,25	3,00	1,60	1,20	0,43
Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,10	2,90	1,00	1,20	0,43
	II	1,15	3,10	1,05	1,20	0,43
	III	1,20	3,20	1,10	1,20	0,43
	IV	1,25	3,40	1,15	1,20	0,43
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	0,55	1,70	0,85	1,20	0,29
	II	0,60	1,90	0,90	1,20	0,29
	III	0,65	2,10	0,95	1,20	0,32
	IV	0,70	2,30	1,00	1,20	0,32

^{x)} pentru partea de cazare se aplică prevederile pentru locuințe

Clădirile de categoria 1 includ clădirile cu ”ocupare continuă” și clădirile cu ”ocupare discontinuă” de clasă de inerție mare; clădiri a căror funcționalitate impune ca temperatura mediului interior să nu scadă (în intervalul ”ora 0 – ora 7”) cu mai mult de 7°C sub valoarea normală de exploatare. Din această categorie fac parte: creșele, internatele, spitalele.

Clădirile de categoria 2 includ clădirile cu ”ocupare discontinuă”, cu excepția celor din clasa de inerție mare; clădiri a căror funcționalitate permite ca abaterea de la temperatura normală de exploatare să fie mai mare de 7°C pe o perioadă de 10 ore/zi, din care cel puțin 5 ore în intervalul ”ora 0 – ora 7”. Din această categorie fac parte: școlile, amfiteatrele, săli de spectacole, clădiri administrative, clădiri industriale etc.

În cadrul normativului C107-2005 modificat ”Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor,, aprobată prin Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor și turismului nr. 2.055/2005 sunt menționate rezistențele termice minime R'_{min} și transmitanțele termice U'_{max} ale elementelor de construcție, pe ansamblul clădirii proiectate în baza contractelor de proiectare încheiate după 1 ianuarie 2011, pentru clădirile de locuit.

Tabel 5. Rezistențe termice minime R'_{min} ale elementelor de construcție al clădirilor (Consortiu Universitar, 2005)

Nr. Crt.	Elementul de construcție	Clădiri de locuit	
		R'_{min} [m ² K/W]	U'_{max} [W/(m ² K)]
1.	Pereți exteriori (exclusiv suprafețele vitrate, inclusiv pereții adiacenți rosturilor deschise)	1,80	0,56
2.	Tâmplărie exterioară	0,77	1,30
3.	Planșee peste ultimul nivel, sub terase sau	5,00	0,20

	poduri		
4.	Planșee peste subsoluri neîncălzite și pivnițe	2,90	0,35
5.	Pereți adiacenți rosturilor închise	1,10	0,90
6.	Planșee care delimitează clădirea inferioară, de exterior (la bowlinguri, ganguri de trecere, ș.a.)	4,50	0,22
7.	Plăci pe sol (peste CTS)	4,50	0,22
8.	Plăci la partea a inferioară a demisolurilor sau a subsolurilor încălzite (sub CTS)	4,80	0,21
9.	Pereți exteriori, sub CTS, la demisolurilor sau la subsolurilor încălzite	2,90	0,35

În cadrul tezei de doctorat intitulată ”Contribuții la studiul privind economia de energie în construcții și factorii de influență, autoarea propune valori ale rezistențelor minime ale elementelor de construcții (Tabel 6.).

Tabel 6. Valorile normate pe țară și valori diferențiate pe cele patru zone climatice (Mone, 2013)

Nr. crt.	Elementul de construcție	R'_{min} [m ² K/W]			
		Zona climatică			
		I	II	III	IV
1.	Pereți exteriori (exclusiv suprafețe vitrate, inclusiv pereți adiacenți rosturilor deschise)	1,70	1,80	1,95	2,10
2.	Tâmplărie exterioară*	0,72	0,77	0,82	0,87
3.	Planșee peste ultimul nivel, sub terase/ poduri	4,70	5,00	5,35	5,70
4.	Planșee peste subsoluri neîncălzite și pivnițe	2,70	2,90	3,10	3,30
5.	Pereți adiacenți rosturilor închise	1,05	1,10	1,15	1,20
6.	Planșee care delimitează clădirea la partea inferioară, de exterior (la bowindowuri, ganguri de trecere, ș.a.)	4,20	4,50	4,80	5,15
7.	Plăci peste sol**	4,20	4,50	4,80	5,50

8.	Pereți exteriori, sub CTS, la demisolurile sau la subsolurile încălzite	2,70	2,90	3,10	3,30
----	---	------	------	------	------

* Pentru tâmplăria exterioară valorile $R'_{min} > 0,77 [m^2K/W]$ rămân opționale.

**Pentru elementele în contact cu solul valorile τ_{mj} sunt orientative. Valorile τ_{mj} sunt preluate după Normativul C107/1-2005. Numărul de schimburi orare de aer normat, recomandat în C107/1-2005 este $n = 0,5h^{-1}$.

Conform Normativului C 107/2010 modificat, rezistențele termice minime ale elementelor de construcții, pentru clădirile cu altă destinație decât cea de locuit, pe ansamblul clădirii se modifică conform tabelelor de mai jos (Tabelul 7, Tabelul 8):

Tabel 7. Valorile coeficienților a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 1

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m^2K/W]	b [m^2K/W]	c [m^2K/W]	d [m^2K/W]	e [m^2K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,70	4,00	2,10	1,40	0,69
	II	1,75	4,50	2,50	1,40	0,69
	III, IV	1,80	5,00	2,90	1,40	0,69
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,70	4,00	2,10	1,40	0,50
	II	1,75	4,50	2,50	1,40	0,50
	III, IV	1,80	5,00	2,90	1,40	0,50
Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,60	3,50	2,10	1,40	0,50
	II	1,70	4,00	2,50	1,40	0,50
	III, IV	1,80	4,50	2,90	1,40	0,50
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	1,10	3,00	1,10	1,40	0,40
	II	1,10	3,00	1,20	1,40	0,40
	III, IV	1,10	3,00	1,30	1,40	0,40

Tabel 8. Pentru clădiri de categoria 2

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m^2K/W]	b [m^2K/W]	c [m^2K/W]	d [m^2K/W]	e [m^2K/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, 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, IV	1,70	5,00	2,60	1,40	0,50
Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,50	3,50	2,00	1,40	0,50
	II	1,60	4,00	2,30	1,40	0,50
	III, IV	1,70	4,50	2,60	1,40	0,50
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	1,00	2,90	1,00	1,40	0,40
	II	1,00	2,90	1,10	1,40	0,40
	III, IV	1,00	2,90	1,20	1,40	0,40

^{x)} pentru partea de cazare se aplică prevederile pentru locuințe

Obiectivele propuse de statele membre UE vor contribui la crearea de condiții uniforme pentru eforturile de economisire a energiei făcute în sectorul construcțiilor și vor oferi eventualilor proprietari sau utilizatori transparență în ceea ce privește performanța energetică pe piața de proprietăți imobiliare a Comunității Europene.

În lucrarea "Eficiența energiei în clădiri – situația în România și Acquisul Comunitar,, autorii menționează valori ale coeficienților de transfer termic la pereți, acoperiș și pardoseli fiind prezentate în tabelul de mai jos.

Tabel 9. Izolații termice standardizate în Europa (Mladin, Georgescu, & Dutianu, 2011)

Țara	Pereți		Acoperiș		Pardoseli	
	U [W/(m ² ·K)]	Grosimea izolației [mm]	U [W/(m ² ·K)]	Grosimea izolației [mm]	U [W/(m ² ·K)]	Grosimea izolației [mm]
Belgia	-	75 – 100	-	80 – 120	-	40
Danemarca	0,35	125 – 150	0,20	200	0,30	150
Finlanda	0,28	150	0,22	200	0,22	200
Franța	0,54	70	0,35	120	1,00	40 – 50
Germania	1,2 – 1,5	60	0,30	140	0,55	60
Irlanda	0,60	40	0,40	100	0,60	-
Italia	-	-	-	-	-	-

Olanda	0,374	70	0,374	85 – 100	0,68	40
Norvegia	0,30	125	0,20	200	0,30	150
Spania	1,4 – 1,8	-	0,70 – 1,4	-	0,70 – 1,00	-
Suedia	0,30	125	0,20	200	0,30	150
Marea Britanie	0,45	500	0,25	150	0,45	25
Estonia	0,45		0,25		0,50	
Lituania	0,50		0,25		0,30	
Polonia	0,55		0,30		0,60	
România	0,55		0,33		0,60	

Valorile mari ale coeficienților de transfer termic U pentru pereți și acoperiș corespunzând Germaniei și Spaniei se datorează includerii în calcul a suprafețelor vitrate și nu numai a celor opace.

România a atins un nivel performant în reglementările aflate în vigoare, la nivelul UE.

1.4. DEZVOLTAREA DURABILĂ ȘI CONSTRUCȚIILE SUSTENABILE

Comunitatea europeană se confruntă în prezent cu probleme legate de creșterea sărăciei, a foametei iar degradarea mediului ambiant amenință tot mai mult omenirea cu o catastrofă ecologică dacă nu se intervine în vederea stopării acestui eveniment.

Dezvoltarea durabilă este un concept apărut ca un rezultat firesc, odată cu escaladarea cursei în vederea economisirii resurselor primare și reducerii poluării mediului, încă de la începutul anilor 1970, odată cu ”criza petrolului”. Conceptul de dezvoltare durabilă s-a dezvoltat, ca urmare a procesului de globalizare a evoluțiilor, în dorința de a asigura un echilibru între dezvoltarea economică, rezolvarea problemelor sociale și înglobarea în cadrul acestora a problematicii mediului.

Conceptul de dezvoltare durabilă a fost adoptat în 1987 de către Comisia Mondială pentru Mediu și Dezvoltare (WCED) ca urmare a Raportului Brundtland. Conform definiției dezvoltării durabile enunțate în Raportul Brundtland din 1987: " Dezvoltarea durabilă este aceea care

satisface necesitățile generației prezente, fără a compromite capacitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile necesități".

O a doua definiție: "Conceptul de dezvoltare durabilă desemnează totalitatea formelor și metodelor de dezvoltare socio-economică, al căror fundament îl reprezintă în primul rând asigurarea unui echilibru între sistemele socio-economice și elementele capitalului natural.", aduce noutatea alăturării aspectelor socio-economice de problematica utilizării resurselor naturale.

Dezvoltarea economică (eficiență, creștere, stabilitate), echitatea socială (nivel de trai, dialog social și delegarea responsabilităților, protejarea culturii/patrimoniului), utilizarea eficientă a resurselor naturale și implicit protecția mediului înconjurător (biodiversitate/rezistența sistemelor, resurse naturale, evitarea poluării) stau la baza unei dezvoltări durabile.

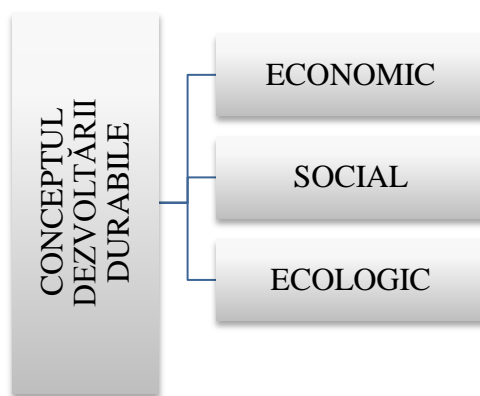


Figura 6. Abordarea conceptului Dezvoltării Durabile

Acestea trebuie să fie interdependente și indivizibile în același timp, având ca principal obiectiv creșterea calității vieții.

Evenimentele dezvoltării durabile importante de la nivel mondial care au marcat acest domeniu sunt Conferința Mondială pentru Mediu și Dezvoltare Durabilă de la Rio de Janeiro, din 1992 și Conferința Mondială pentru Dezvoltare Durabilă de la Johannesburg, din 2002.

Evenimentele importante de la nivelul Uniunii Europene care au marcat acest concept sunt: Rezoluția Consiliului European de la 1 februarie 1993 privind mediul înconjurător și acțiunile care urmează să fie întreprinse pentru dezvoltare durabilă pentru perioada 1992-2000 (Al Cincilea Program de Acțiune pentru Mediu al Uniunii Europene); includerea, în 1997, a dezvoltării durabile, ca obiectiv politic al U.E., în Tratatul de la Maastricht; Elaborarea Strategiei de Dezvoltare Durabilă a Uniunii Europene, în 2001; și Adoptarea în 2006 a „Strategiei Reînnoite de Dezvoltare Durabilă pentru o Europă Extinsă” (Molnar, 2012).

În România, stadiul dezvoltării durabile în construcții este în strânsă legătură cu situația economică, socială și politică.

Tabel 10. Strategia dezvoltării durabile în România

Nr crt.	Strategia Dezvoltării Durabile în România	Anul aplicării
1.	Prima strategie pentru dezvoltare durabilă	1997-1999
2.	Procesul de aderare și însușire a documentelor Uniunii Europene	2007
	Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă (S.N.D.D.), care este însoțită de alte documente, cum ar fi: <ul style="list-style-type: none"> - Planul Național de Reforme (P.N.R.); - Planul Național de Dezvoltare (P.N.D.); - Cadrul Strategic Național de Referință (C.S.N.R.); - Strategia post-aderare a României; - Programul de Convergență. 	2007 2007 - 2013 2007 - 2013

În primul rând, fondul construit existent impune reabilitarea clădirilor pentru a se apropia de nivelul european al performanței energetice, iar ca politică de dezvoltare se impune proiectarea și realizarea unor construcții noi care să se integreze în conceptul de dezvoltare durabilă. În acest sens s-a implementat un standard SR ISO 21931-1:2011: Dezvoltare durabilă în construcții. Cadru de lucru pentru metode de evaluare a performanței de mediu pentru lucrări de construcții. Partea 1: Clădiri, standard ce prevede următoarele: Evaluarea și înțelegerea performanței de mediu a clădirilor care este esențială pentru a face cunoscut impactul posibil pe care clădirile l-ar putea exercita asupra mediului și influența lor asupra dezvoltării durabile. Această parte a standardului ISO 21931 stabilește un cadru de lucru pentru metodele de evaluare a performanței de mediu a clădirilor, care se constituie ca o parte esențială a procesului de construcție.

Metodele de evaluare a performanței de mediu a clădirilor furnizează (Molnar, 2012):

- ✚ un set de criterii de referințe comune și verificabile, astfel încât proprietarii de clădiri, în efortul de a obține standarde de mediu cât mai ridicate, să aibă la dispoziție un mijloc de măsurare, evaluare și demonstrare a acestui efort;

- ✚ bază comună de criterii prin care proprietarii de clădiri, colectivele de proiectare, constructorii și furnizorii pot formula strategii eficiente în proiectarea și exploatarea clădirilor, strategii menite să îmbunătățească performanța de mediu;
- ✚ informații detaliate cu privire la clădire, colectate și organizate astfel încât să poată fi utilizate în vederea scăderii costurilor de exploatare, finanțare, asigurare, scăderii ratei de neocupare, și creșterii atractivității comerciale;
- ✚ descriere clară a factorilor esențiali privind aspectele de mediu și importanța relativă a acestora, ceea ce ajută în procesul de proiectare.

Pentru a atinge obiectivele practice menționate mai sus, metodele de evaluare ale performanței de mediu a clădirilor trebuie să se refere la criterii limitate și să caute un echilibru între rigoare și aspectul practic. De asemenea, contextul de performanță globală a clădirii este important pentru considerarea fiecărui criteriu de mediu.

Având în vedere toate aspectele menționate, scopul acestei părți din ISO 21931 este de a descrie cadrul de lucru și principiile care se aplică la evaluarea performanței de mediu a clădirilor noi și existente și lucrările anexe de pe amplasament, ținând seama de varietatea impacturilor asupra mediului pe care aceste clădiri sunt susceptibile să le aibă.

Această parte a ISO 21931 oferă un cadru general pentru îmbunătățirea calității și comparabilității metodelor de evaluare a performanței de mediu a clădirilor și lucrările externe aferente lor. Aceasta identifică și descrie aspectele de care trebuie să se țină seama în elaborarea și utilizarea unor metode de evaluare a performanței de mediu pentru clădiri noi sau existente, în legătură cu proiectarea, construirea, exploatarea, întreținerea și renovarea lor, precum și în etapele de demolare.

Conform Planului Național de Dezvoltare Durabilă, atingerea scopului proiectării durabile se face prin educarea într-un cadru conceptual care are trei niveluri :

- ✚ principii;
- ✚ strategii;
- ✚ metode.

Fiecare dintre principii înglobează un set unic de strategii, a căror studiere conduce la o înțelegere mai bună a interacțiunii cu mediul. Aceasta creează premiza pentru analizarea metodelor specifice pe care constructorii, împreună cu arhitecții și alți specialiști, o pot aplica pentru a reduce impactul clădirilor pe care le realizează, cu mediul.

Clădirea verde (de asemenea, cunoscută sub numele de construcții sustenabile sau construcții durabile) se referă la o structură care prin procesul de utilizare și realizare va fi responsabilă față de mediu și totodată eficientă din punct de vedere al resurselor pe parcursul

ciclului de viață a clădirii: începând de la amplasarea, la proiectare, la construcția, operarea, întreținerea, renovarea, și implicit demolare.

Clădirile sustenabile sunt realizate cu scopul a fi foarte eficiente energetic și totodată cu scopul de a proteja mediul („eco-friendly,„) și au devenit din ce în ce mai răspândite la nivel mondial.

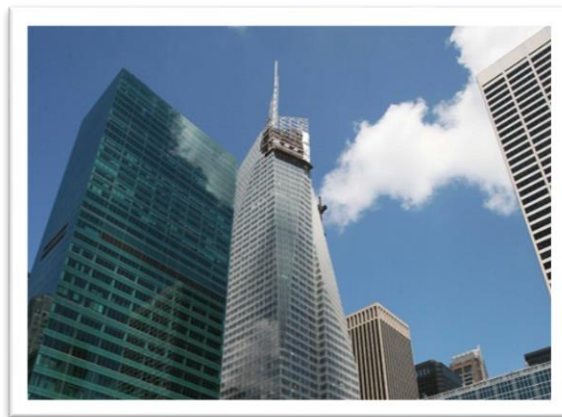


Figura 7. Sediul băncii din Statele Unite ale Americii - America Tower, New York (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012)



Figura 8. 30 The Bond, Sydney, Australia (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012)

În România clădirile comerciale au certificate de sustenabilitate într-un procent de 0,1%. Președintele Consiliului Român pentru Clădiri Verzi, Steven Borncamp, precizează că la nivel național se dorește obținerea de certificate pentru circa 5% din clădirile din România. (Multinvest, 2013)

Multinvest Business Center are ca destinație clădire de birouri și este prima clădire din România realizată pe principiile „clădirilor verzi, astfel sistemul energetic al acesteia este asigurat, în mare parte de panourile solare.



Figura 9. Prima clădire verde din România - Multinvest Business Center, Târgu-Mureș

O altă clădire verde și care a obținut certificatul energetic LEED (Leadership in Energy and Environment Design) de la de US Green Building Council este clădirea AMERA TOWER din Cluj-Napoca care are ca destinație clădirea de birouri fiind printre primele construcții realizate în scopul dezvoltării durabile.



Figura 10. Clădirea eficientă energetic Amara Tower, Cluj-Napoca (Adevărul, 2010)

Clădirea are o eficiență energetică sporită și izolație dublă care contribuie la reducerea costurilor de climatizare.

Toate sistemele adoptate duc la economii cum ar fi reducerea consumurilor de apă menajeră, a poluării luminoase, a consumurilor de energie în scopul climatizării spațiilor, a emisiilor poluante prin alternative viabile legate de transportul utilizatorilor clădirii (Adevărul, 2010).

La nivel internațional s-au realizat programe și standarde pentru realizarea clădirilor sustenabile și eficiente energetic. Aceste standarde sunt realizate având în vedere diverși parametri de concepere și proiectare a clădirilor. În paragrafele următoare sunt menționate cele mai importante și cunoscute standarde care sunt aplicate la momentul actual la nivel mondial.

1.4.1. Standardul BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

BRE Environmental Assessment Method este o metodă de evaluare voluntară pentru clădirile verzi, care a fost stabilită în Marea Britanie de către societatea Building Research Establishment (BRE) (Watford, UK) în 1988 (BREEAM, 2013).

Acest program reprezintă o nouă procedură în a ajuta managerii clădirilor să reducă costurile de folosință și să îmbunătățească performanța de mediu a clădirii existente. Analiza multicriterială promovată de standardul BREEAM permite un proces de certificare clar și credibil pentru îmbunătățirea durabilității.

Domeniile de în care se acordă punctajele pentru certificatele BREEAM sunt următoarele: Management - 12%, Sănătate și bunăstare – 15%, Energie – 19%, Apă – 6%, Materiale – 12,5%, Deșeuri – 7,5, Transport – 8%, Utilizarea terenului și ecologie – 10% și Poluarea – 10% (BREEAM, 2013).

Standardul BREEAM poate fi aplicat aproape pentru orice tip de clădire în orice locație, cu versiuni ce pot fi aplicabile atât pentru clădirilor existente, clădirile noi, proiectelor de reabilitare. Standardul are mai multe versiuni printre care: **BREEAM New Construction** (evaluează sustenabilitatea clădirilor noi, clădiri de birouri sau clădiri cu altă destinație decât cea de locuire în Marea Britanie), **BREEAM International New Construction** (evaluează sustenabilitatea clădirilor noi, clădiri de birouri sau clădiri cu altă destinație decât cea de locuire din întreaga lume cu excepția Marii Britanii), **BREEAM In-Use** (un sistem realizat cu scopul de a ajuta managerii în vederea realizării unor evaluări de costurilor cât mai reduse construcției și de asemenea de ai îmbunătății performanțele de mediu ale clădirilor existente), **BREEAM Refurbishment** (oferă un model și o metodă de evaluare în cazul realizării proiectelor de reabilitare în vederea unei proiectări durabile) și **BREEAM Communities** (are rolul de a ajuta profesioniștii din industria construcțiilor de a realiza construcții cât mai atractive pentru viitorii beneficiari, construcții care să nu afecteze mediul înconjurător și să fie de asemenea performante din punct de vedere economic) (Breeam, 2013).



Figura 11. Centrul de inovatie Eliot Park (Steel Construction, 2012)

BREEAM este în creștere la nivel internațional, inclusiv programul său BREEAM Europa.

Obiectivul este de a adapta evaluarea într-un mod cât mai coerent și în comparație cu alte evaluări BREEAM, luând în considerare practicile și standardele naționale (Mone, 2013).

1.4.2. Standardul LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED promovează construirea durabilă și practici de dezvoltare printr-o suită de sisteme de evaluare care recunosc proiectele care pun în aplicare strategii pentru o mai bună performanță de mediu și sănătate (LEED, 2012).

LEED este un program de certificare cu o metodă de normare acceptată la nivel național pentru proiectarea, construcția și funcționarea clădirilor verzi de înaltă performanță, asigurând proprietarilor clădirilor și operațiilor acestora instrumentele de care au nevoie pentru un impact imediat și măsurabil în ceea ce privește performanța clădirilor (Moga L. , Contribuții privind optimizarea termoenergetică a clădirilor noi si existente, 2009).

În cazul certificatului LEED, clădirea obține, în funcție de punctaj, calificativele: clădire certificată (40-49 puncte), Argint (50-59 puncte), Aur (60-79 puncte) sau Platină (80 puncte si peste 80 de puncte).



Figura 12. Clădiri certificate cu platină după standardul LEED (LEED, 2012)

Punctele sunt distribuite pe diferite categorii cum ar fi: sustenabilitatea, utilizarea eficientă a apei, energie și atmosferă, materiale și resurse și calitatea mediului interior.

Clădirile certificate LEED sunt concepute pentru:

- Reducerea emisiilor nocive de gaze cu efect de seră;
- Economie de energie și de apă;
- Reducerea cantității de deșeuri trimise la depozitele de deșeuri;
- Costuri de exploatare scăzute;
- Beneficierea de reduceri de taxe, cote zonale și alte stimulente în sute de orașe;
- Creșterea siguranței și îmbunătățirea condițiilor pentru ocupanți.

Standardul a fost aplicat în aproximativ 7000 de proiecte în Statele Unite ale Americii și în alte 30 de țări.

1.4.3. CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)

Acest standard este o instrument pentru performanței de mediu a clădirilor și a mediului construit, fiind dezvoltat și aplicat în Japonia (versiunea japoneză a standardului LEED SUA). Corespunzător cu ciclul de viață al clădirii, CASBEE este compus din patru instrumente de evaluare: CASBEE de pre-proiectare, CASBEE pentru construcții noi, CASBEE pentru clădiri existente și CASBEE pentru renovare. CASBEE Family este numele colectiv pentru aceste patru instrumente de bază. Fiecare instrument este destinat pentru un scop specific, cu utilizatori țintă și este proiectat pentru a găzdui o gamă largă de tipuri de construcții (birouri, școli, apartamente etc.) (CASBEE, 2011).

Standardul CASBEE are la bază două categorii de evaluare: ”Q” și ”L”; primul tip de evaluare este Q (care provine de la cuvântul ”Quality,”) și care se referă atât la Calitatea și

performanța mediului interior cât și la îmbunătățirea condițiilor de viață pentru utilizatorii construcției. Evaluare se va face pentru spațiul închis al limitei ipotetice (proprietate privată); iar cel de-al doilea tip de evaluare este "L" (care provine de la cuvântul "Load,") și care se referă la Impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător. Evaluare de tip "L,, se va face pentru spațiul înafara limitei ipotetice (spațiu public).

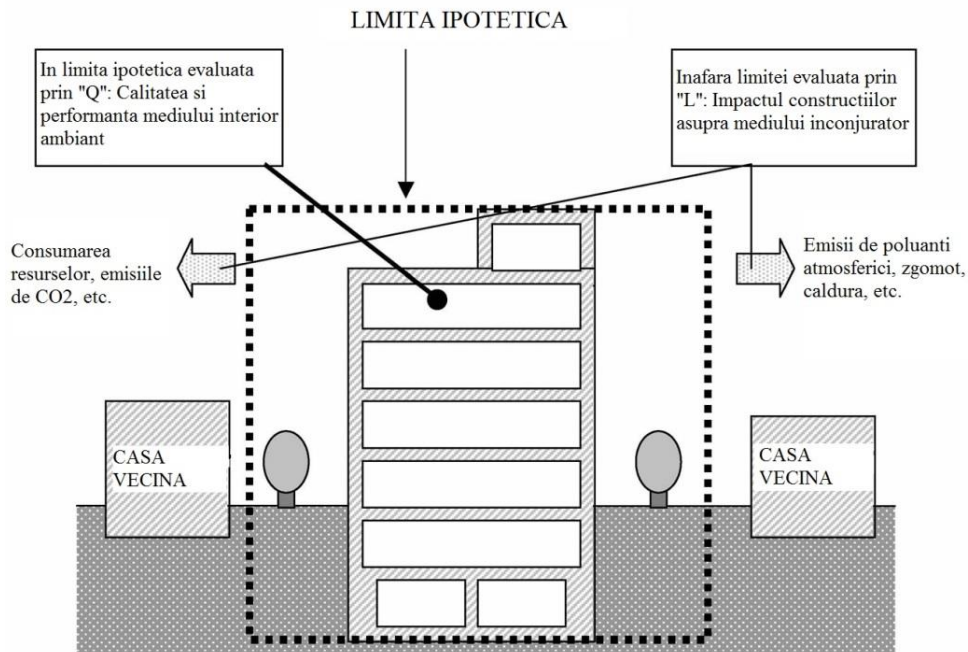


Figura 13. Reprezentarea celor două categorii de evaluare: Q - Calitatea și performanța mediului interior și L: Impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător (CASBEE, 2011)

Calculul eficienței mediului construit (BEE - Building Environment Efficiency) se realizează prin calcularea raportului dintre cele două categorii de evaluări:

$$BEE \text{ (Eficiența mediului construit)} = \frac{Q \text{ (Calitatea mediului construit)}}{L \text{ (Impactul construcțiilor asupra mediului)}}$$

Calitatea mediului construit poate fi caracterizată prin: mediul interior, calitatea serviciilor și mediul exterior al site-ului iar impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător poate fi caracterizat prin: energie, resurse și materiale și mediul aflat înafara limitei ipotetice.

1.4.4. GREEN STAR

GREEN STAR a fost lansat în 2003 de către Consiliul de Clădiri Verzi din Australia. Standardul GREEN STAR evaluează sustenabilitatea proiectelor pentru toate etapele a ciclului de viață ale mediului construit (GREEN STAR, 2012). Evaluările cu ajutorul standardului pot fi

realizate începând de la faza de planificare, în faza de proiectare, în faza de construcție sau amenajare a clădirilor, sau în faza de exploatare a clădirii.



Figura 14. Etichetă standard GREEN STAR (GREEN STAR, 2012)

Acest standard se bazează pe standardele BREEAM și LEED. Clasificarea unei clădiri este determinată comparând punctajul obținut cu următoarea grilă de evaluare:

Tabel 11. Clasificare Green Star Australia (Mone, 2013)

Punctaj	Clasificare GREEN STAR	Rezultat
45 – 59	4 Stele	Cele mai bune practici
60 – 74	5 Stele	Excelență australiană
75 +	6 Stele	Lider mondial

În figuri de mai jos sunt prezentate două dintre clădirile evaluate cu ajutorul standardului GREEN STAR și care au obținut 5 și respectiv 6 stele în clasificarea GREEN STAR.



Figura 15. Aeroportul Internațional Canberra și Council House 2 Melbourne din Australia (Council House 2, 2012), (Canberra Airport, 2012)

1.4.5. DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*)

Consiliul german pentru sustenabilitatea clădirilor, conform originalului din germană Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, este o organizație non-profit, ne-guvernamentală și profesională din Germania, cu sediul la Stuttgart, creată cu scopul de a asista, îmbunătăți și progresa în domeniul proiectării și realizării construcțiilor clădirilor și structurilor.

Organizația non-profit este activă în mai multe direcții, așa cum sunt certificarea clădirilor sustenabile, acordarea de expertiză individualizată pentru proiecte, clădiri și structuri, precum și educarea tuturor prin cursuri de inițiere și specializare în această direcție.

După ce planul unei clădiri este prezentat institutului DGNB spre evaluare, proiectul primește certificare din multiple puncte de vedere, ecologic, energetic, economic și social-cultural (dgnb-system, 2012). Cele mai importante aspecte ale certificării se referă la:

- Calitatea ecologică;
- Calitatea economică;
- Calitatea socio-culturală;
- Calitatea tehnică;
- Calitatea alegerilor locului de realizare a construcției și
- Calitatea procesului de realizare propriu-zisă a clădirilor și structurilor.

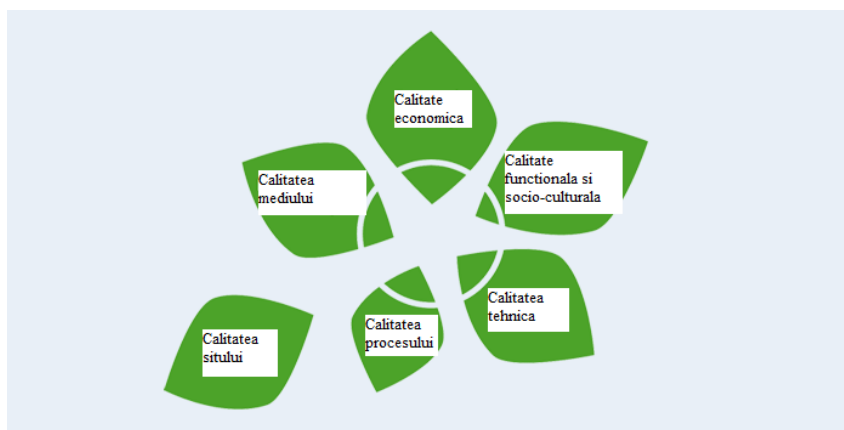


Figura 16. Conceptul de sustenabilitate conform DGNB (dgnb-system, 2012)

Evaluările se bazează întotdeauna pe întregul ciclu de viață al unei clădiri. Desigur, accentul este întotdeauna, de asemenea, cu privire la starea de bine a utilizatorului.

Acest standard poate fi aplicat la nivel internațional iar unul dintre avantajele principale este acela că acest standard poate fi aplicat și ajustat cu precizie pentru diferitele utilizări ale unei

clădiri și chiar pentru a satisface cerințele specifice fiecărei țări. DGNB poate de asemenea evalua performanța generală a unui grup de clădiri sau a mediului urban.



Figura 17. Clădiri certificate DGNB Germania (dgnb-system, 2012)

CAPITOLUL 2. FENOMENELE DE TRANSFER TERMIC

2.1. GENERALITĂȚI

Răspunsul clădirilor la transferul de căldură poate fi apreciat prin capacitatea acestora de a păstra oscilațiile temperaturii aerului interior și a temperaturii suprafețelor interioare ale elementelor de închidere în limitele confortului termic.

Din punct de vedere tehnic, răspunsul clădirilor la transferul de căldură poate fi apreciat prin debitul de căldură care străbate elementele de închidere sau prin rezistența termică pe care elementele de închidere o opun la propagarea fluxului.

Fenomenele de transfer de căldură, în general, sunt universale și sunt guvernate de o combinație de legi independente ale fizicii ce acționează simultan, cu intensități ce depind de anumite condiții, dar care conduc, fără excepție, spre ceea ce se numește ”echilibru termic”.

Transferul de căldură între două medii cu temperaturi diferite se realizează prin trei moduri elementare de transfer de căldură și anume: conducție, convecție și radiație.

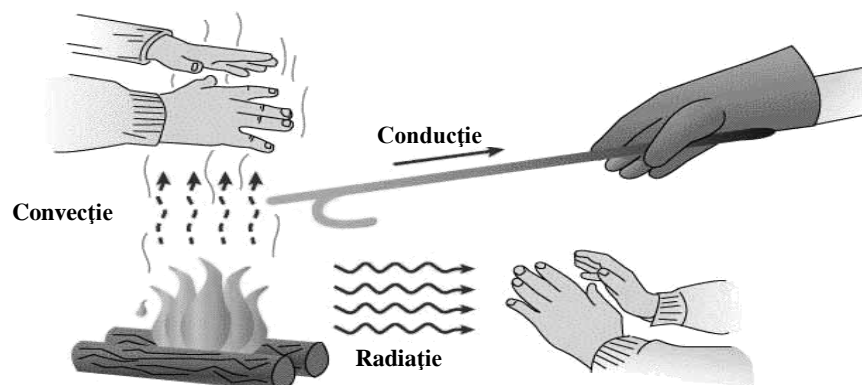


Figura 18. Transferul căldurii prin conducție, convecție și radiație (Scrigroup, 2012)

Pentru înțelegerea cât mai bine a fenomenelor de transfer termic este important cunoașterea unor noțiuni fundamentale după cum urmează (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

- Temperatura (în C° sau $^{\circ}K$) este un parametru de stare și definește gradul de încălzire a unui mediu la un moment dat;
- Transferul de căldură are loc în sistemele în care există un gradient de temperatură, sau dacă două medii de temperatură diferite sunt puse în contact.
 - o Pentru exprimarea cantitativă a fenomenului de transfer termic se utilizează noțiunile:

- Flux termic sau debit de căldură Q , reprezentând cantitatea de căldură ce străbate o suprafață S în unitate de timp, exprimată în W sau $Kcal/h$;
 - Densitate de flux termic q , reprezentând fluxul termic ce străbate unitatea de suprafață, în W/m^2 sau $kcal/m^2$ după o direcție normală la aceasta.
- Regimul termic este de mare importanță în determinarea răspunsului clădirii. Dacă fluxul termic Φ este considerat constant în timp, regimul se consideră staționar, sau permanent, fără acumulări interne de energie. Propagarea căldurii într-un sistem este variabilă sau tranzitorie (nestaționară), dacă fluxul de căldură este variabil în timp, adică dacă temperaturile în diferite puncte ale sistemului variază în timp. (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992)

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

2.2. MĂRIMI HIGROTERMICE

2.2.1. Termeni, simboluri și unități de măsură

Principalele simboluri și unități de măsură utilizate în cadrul tezei de doctorat sunt prezentate în tabelul următor (Tabelul 8.)

Tabel 12. Simboluri și unități de măsură

Simbolul	Termenul	Relația de defnire	Unități de măsură
P	Perimetrul clădirii.	-	m
A	Aria de transfer termic. Aria anvelopei.	-	m^2
A_c	Aria construită a clădirii	-	m^2
V	Volumul interior încălzit al clădirii	-	m^3
N	Numărul de niveluri.	-	-

T_u	Temperatura spațiilor neîncălzite.		°C
T_e	Temperatura exterioară de calcul	-	°C
T_i	Temperatura interioară de calcul	-	°C
ΔT	Diferența între temperatura exterioară și cea interioară de calcul	$T_i - T_e$	K
c_a	Capacitate calorică masică la presiune constantă, a aerului	-	J/(kgK)
ρ_a	Densitatea aparentă a aerului	-	Kg/m ³
R'_m	Rezistența termică corectată, medie, a unui element de construcție, pe ansamblul clădirii.	$R'_m = \frac{\sum A_j}{\sum (A_j \cdot U'_j \cdot \tau_j)}$	(m ² ·K)/W
U'_m	Coeficientul de transfer termic (transmitanța termică) corectat (ă), mediu, al unui element de construcție, pe ansamblul clădirii.	$\frac{1}{R'_m}$	W/(m ² ·K)
L	Coeficientul de cuplaj termic	$AU'_m = \frac{A}{R'_m}$	W/ K
Φ	Flux termic	$\frac{A \cdot (T_i - T_j)}{R'_m}$	W
T_j	Temperatura în mediul din exteriorul anvelopei care poate fi:	$T_j = T_e$ sau $T_j = T_u$	°C
T_u	Temperatura în spațiile neîncălzite din exteriorul anvelopei, determinată pe baza unui calcul al bilanțului termic	-	°C
τ	Factorul de corecție a temperaturilor exterioare	$\frac{T_i - T_j}{\Delta T}$	-
n	Viteza de ventilare (numărul de schimburi pe oră).	-	h ⁻¹
G	Coeficientul global de izolare termică a clădirii.	$\frac{\sum (L \cdot \tau_j)}{V} + 0,34N$	W/(m ³ ·K)
GN	Coeficientul global normat de izolare termică a clădirii.	-	W/(m ³ ·K)

Se folosește sistemul internațional de unități de măsuri (SI), în care:

$$1W = 0,860 \text{ kcal/h} = 1J/s$$

$$1 \text{ m}^2\text{K/W} = 1,163 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$$

$$1 \text{ W}/(\text{m}^3\text{K}) = 0,860 \text{ kcal}/(\text{m}^3\text{h}^\circ\text{C})$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J} = 0,860 \text{ kcal}$$

2.3. TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ PRIN ELEMENTELE ANVELOPEI

Datorită diferențelor de temperatură dintre aer și elementele de construcții, ceea ce evidențiază potențialul termic, în construcții are loc transferul de căldură prin conducție, convecție și radiație.

2.3.1. *Transferul căldurii prin conducție*

Transferul căldurii prin conducție constă în transmisia căldurii dintr-o regiune cu temperatură mai ridicată către o regiune cu temperatură mai scăzută, în interiorul unui mediu solid, lichid sau gazos, sau între medii diferite în contact fizic direct, sub influența unei diferențe de temperatură, fără existența unei deplasări aparente a particulelor care alcătuiesc mediile respective.

Transferul căldurii prin conducție, în construcții are loc prin pereți, terase, tâmplărie și constă în transmiterea energiei cinetice a moleculelor materialelor ce vibrează în jurul poziției lor de echilibru (Negoiță, și alții, 1976).

În construcții, legile transferului de căldură au anumite particularități de aplicare, generate de forma geometrică, și de alcătuirea constructivă complexă a majorității elementelor anvelopei clădirilor.

Legea conducției termice

Într-un mediu neomogen, cu surse interne de căldură q_i , raportat la un sistem de axe ortogonale Oxyz, analiza transferului de căldură prin conducție presupune rezolvarea ecuației diferențiale neomogene de forma (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_i = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.1)$$

Unde:

- λ – conductivitatea termică a mediului neomogen, în $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
- c – căldura masică, în $[\text{kJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K})]$, $[\text{kWh}/(\text{Kg}\cdot\text{K})]$ unde

$$1J=0,278 \times 10^{-3} \text{Wh} \rightarrow 1 [\text{Wh/Kg}\cdot\text{K}] = 0,278 [\text{KJ/Kg}\cdot\text{K}];$$

- $\frac{\partial T}{\partial t}$ - variația temperaturii T cu timpul t.

În ecuația de mai sus mărimile λ , c și ρ se consideră că nu variază cu temperatura.

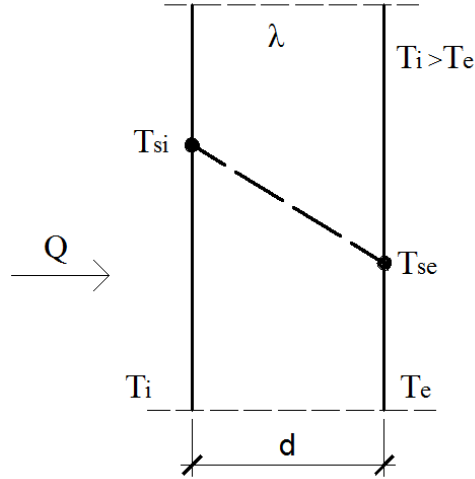


Figura 19. Transmisia căldurii prin conducție la un element omogen (Mârza & Abrudan, 2012)

Pentru mediul omogen conductivitatea termică λ , devine o constantă, iar ecuația (2.1) devine (2.1.a) și este cunoscută sub denumirea de ecuație generală a conducției termice:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_i}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.1a)$$

În care $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ se numește difuzivitatea termică, în m^2/h și are semnificația unei viteze de răspândirii a căldurii pe o suprafață.

Dacă domeniul (mediul) nu conține surse interne de căldură ($q_i=0$) ecuația (2.1a) este cunoscută și sub denumirea de ecuația lui Fourier, având forma:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.1b)$$

În regim termic staționar ($\frac{\partial T}{\partial t} = 0$) și în ipoteza existenței unei surse interne de căldură q_i , se obține ecuația lui Poisson:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_i}{\lambda} = 0 \quad (2.1c)$$

În regim termic staționar și în absența surselor de căldură ($q_i=0$) se obține ecuația lui Laplace:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1d)$$

În coordonate cilindrice (r, ϕ, z) și regim nestaționar, cu surse interne q_i , ecuația conducției termice are forma:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial r \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.2)$$

În regim termic staționar (permanent) și fără surse interne de căldură ($q=0$) ecuația (2.2) devine:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial r \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.2a)$$

În coordonate sferice (r, ϕ, z) și regim termic variabil cu surse interne q_i , ecuația conducției termice are forma (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin \phi \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \phi} \frac{\partial^2 T}{\partial \psi^2} + \frac{q}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.3)$$

În regim termic staționar și fără surse interne de căldură ($q=0$) ecuația (2.3) devine:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin \phi \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \phi} \frac{\partial^2 T}{\partial \psi^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.3a)$$

Analiza cantitativă a transferului prin conducție pentru determinare fluxului Q și a densității fluxului q_i , în regim termic staționar sau nestaționar, presupune rezolvarea ecuațiilor de mai sus, în condiții reale de contur, în spațiu, plan sau unidirecțional.

Forma plană sau unidirecțională a conducției termice se obține prin anularea unuia sau a doi termeni în ecuației conducției (2.1 – 2.1d), care conțin una respectiv două variabile, reprezentând coordonatele punctului a cărui temperatura se determină.

Mărimile λ , c și ρ , care caracterizează termofizic materialele de construcție, variază în limite largi de la un material la altul, sunt interdependente și ele stau la baza analizei conducției termice în regim nestaționar, definind capacitatea reală a elementelor de construcție de a acumula căldură (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992).

Coeficientul de conductivitate termică λ , exprimat în $W/(m \cdot K)$, reprezintă cantitatea de căldură ce trece printr-un element de construcție având suprafața de 1 m^2 , grosimea 1 m , în timp de o oră și pentru o diferență de temperatură între cele două suprafețe de $1 \text{ }^\circ\text{C}$ sau 1 K .

Pentru materialele de construcții cu procente variabile de pori, coeficientul de conductivitate termică λ variază între $\lambda = 0,040 \dots 3,500 \text{ W/mK}$.

Literatura de specialitate menționează că, coeficientul de transfer termic este afectat de umiditatea materialelor și poate fi determinat cu următoarea formulă de calcul (Negoiță, și alții, 1976):

$$\lambda_u = \lambda_0 \left(1 + \frac{\eta \omega u}{100} \right) \quad (2.4)$$

Unde:

λ_u – coeficient de conductivitate termică al materialului la umiditatea u % , în W/ mK;

λ_0 - coeficient de conductivitate termică al materialului în stare uscată, în W/ mK;

η – coeficient de creștere a conductivității termice pentru o creștere a umidității volumetrice cu 1%,

ω_u – umiditatea materialului în condiții de exploatare, în % (raportată la volum).

Conductivitatea termică crește cu temperatura după o relație de forma (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$\lambda_\theta = \lambda_0(1 + \beta\theta)$$

(2.5)

Unde:

λ_0 - coeficient de conductivitate termică al materialului la temperatura de 0°C, în W/ mK;

β – coeficient de proporționalitate ce exprimă creșterea conductivității termice pentru 1 K și are valoarea medie, pentru materialele de construcție, de 0,025;

θ – temperatura medie de exploatare a elementului de construcție.

În standardul C107/3 - sunt prezentate valorile coeficientului λ pentru principalele materiale de construcție, utilizate în condiții de climat normal.

În tabelul de mai jos sunt prezentate valorile coeficientului de transfer termic pentru câteva dintre multitudinea de materiale de construcții.

Tabel 13. Valori ale coeficientului de transfer termic λ (C 107/3, 2005)

Nr. Crt.	Denumirea materialului	Densitatea aparentă ρ kg/m ³	Conductivitatea termică de calcul λ W/(m·K)
1	Mortar asfaltic	1800	0,75
2	Beton asfaltic	2100	1,04
3	Bitum	1100	0,17
4	Beton armat	2600	2,03
		2500	1,74
		2400	1,62
5	Beton simplu cu agregate naturale de natură sedimentară sau amorfă (pitriș, tuf calcaros,	2400	1,62
		2200	1,39
		2000	1,16

	diatomit).	1800 1600 1400 1200 1000	0,93 1,75 0,58 0,46 0,37
6	Beton celular autoclavizat (gazbeton): - Tip GBC – 50 - Tip GBN – 50 - Tip GBN – 35 - Tip GBN – T - Tip GBC – T	750 700 600 550	0,28 0,27 0,24 0,22
7	Mortar de ciment	1800	0,93
8	Mortar de ciment și var	1700	0,87
9	Mortar de var	1600	0,70
10	Mortar de zgură cu ciment	1400 1200	0,64 0,52
11	Vată minerală: - tip 60 - tip 70	60 70	0,042 0,045
12	Sticlă	2500	0,75
13	Sticlă spongioasă	400 300 140	0,14 0,12 0,075
14	Vată de sticlă: - cal. I - cal. II	80 100	0,036 0,041
15	Plăci de ipsos	1100 1000	0,41 0,37
16	Umplură din nisip	1600	0,58
17	Zidărie din pietre de formă regulată, cu densitatea aparentă a pietrei de: - 2800 kg/m ³ - 2000 kg/m ³ - 1200 kg/m ³	2680 1960 1260	3,19 1,13 0,51
18	Zidărie din cărămizi pline	1800	0,80
19	Zidărie din cărămizi cu găuri verticale, tip GVP, cu densitatea aparentă a cărămizilor de: - 1675 kg/m ³ - 1475 kg/m ³	1700 1550	0,75 0,70

	- 1325 kg/m ³	1450	0,64
	- 1200 kg/m ³	1350	0,58
	- 1075 kg/m ³	1250	0,55
	- 950 kg/m ³	1150	0,46
20	Zidărie din cărămizi de diatomit, cu densitatea aparentă a cărămizilor de 1000 kg/m ³	1200	0,52
21	Zidărie din blocuri mici pline din beton cu agregate ușoare, cu densitatea aparentă a blocurilor de:		
	- 2000 kg/m ³	1980	1,16
	- 1800 kg/m ³	1800	0,93
	- 1600 kg/m ³	1620	0,75
	- 1400 kg/m ³	1440	0,61
	- 1200 kg/m ³	1260	0,50
	- 1000 kg/m ³	1080	0,42
22	Zidărie din blocuri de beton celular autoclavizat:		
	- cu rosturi subțiri		
	- tip GBN 35	675	0,27
	- tip GBN 50	775	0,30
	- cu rosturi obișnuite		
	- tip GBN 35	725	0,30
	- tip GBN 50	825	0,34
23	Oțel de construcții	7850	58
24	Polistiren celular	20	0,044

Conductivitățile termice de calcul λ se obțin prin majorarea valorilor determinate experimental λ_0 după cum urmează (Consortiu Universitar, 2005):

- Betoane ușoare având:
 - $\lambda_0 \leq 0,16 \text{ W/(mK)}$ 60%
 - $\lambda_0 = 0,17 \dots 0,23 \text{ W/(mK)}$35%
 - $\lambda_0 = 0,24 \dots 0,30 \text{ W/(mK)}$30%
 - $\lambda_0 = 0,31 \dots 0,46 \text{ W/(mK)}$25%
 - $\lambda_0 = 0,47 \dots 0,58 \text{ W/(mK)}$20%
- Produse din vată minerală10%
- Produse din lemn.....20%
- Produse fibroase de natură organică.....20%
- Masă ceramică20%

- Polimeri și spume din polimeri:
 - Cu pori închiși.....10%
 - Cu pori deschiși20%.

2.3.2. *Transferul căldurii prin convecție*

Transferul termic prin convecție reprezintă procesul de transfer al căldurii prin acțiunea combinată a conducției termice, a acumulării de energie și a mișcării de amestec.

Fenomenul intervine la suprafața de contact a elementelor de construcții cu aerul interior sau exterior.

Transferul de căldură prin convecție, de exemplu de la suprafața mai caldă a unui element de încălzire (Fig. 19) la un fluid (aer) mai rece, are loc în câteva etape.

Inițial, căldura trece prin conducție termică de la suprafața elementului la particulele de aer adiacente acestuia, ceea ce are ca efect ridicarea temperaturii (și energiei interne) a acestor particule; acest proces se desfășoară în stratul subțire de fluid de lângă suprafața elementului, denumit strat limită. În continuare, datorită încălzirii, aerul se dilată, își micșorează densitatea și, devenind mai ușor, tinde să se ridice spre zonele superioare, formând un curent ascendent (curent convectiv).

Locul acestui fluid este luat de fluidul mai rece din restul spațiului. Cu alte cuvinte, particulele cu energie mai mare se deplasează către zone de fluid cu temperaturi mai scăzute, unde, prin amestec cu alte particule, transmit o parte din energia lor. Dacă temperatura radiatorului ar fi constantă în timp și nu s-ar produce pierderi de căldură, acest proces ar continua până la egalizarea temperaturii aerului interior cu cea a elementului de încălzire.

În vecinătatea elementelor de închidere cu temperatură scăzută (pereți exteriori, geamuri) sensul transferului termic se inversează, formându-se curenți convectivi descendenți (Fig. 20).

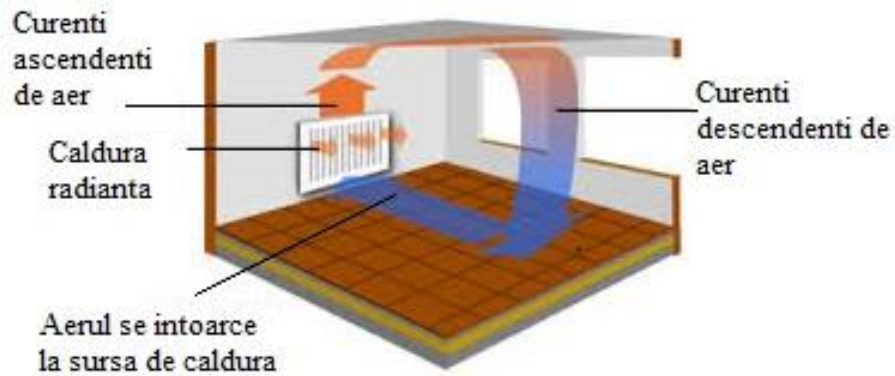


Figura 20. Transferul căldurii prin convecție în interiorul încăperii (Despre încălzire, 2013)

În funcție de cauza mișcării, convecția se clasifică în convecție liberă sau naturală (mișcarea de amestec este rezultatul diferențelor de densitate produse de gradientii de temperatură), și convecție forțată (mișcarea de amestec este rezultatul unor cauze externe care produc diferențe de presiune, ca de exemplu un ventilator) (Transmiterea căldurii, 20).

Legea convecției termice

Cantitativ, fluxul de căldură transmis prin convecție Q_c , în W, între o suprafață S și un fluid cu care acesta vine în contact, se poate exprima cu relația stabilită de Isaac Newton (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$Q_c = \alpha_c (T_s - T_f) S \quad (2.6)$$

în care:

T_s – este temperatura suprafeței S în $^{\circ}\text{C}$;

T_f – temperatura fluidului, în $^{\circ}\text{C}$;

α_c – coeficientul de schimb de căldură prin convecție, în $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Coeficientul de schimb de căldură α_c este variabil, putându-se determina, în cazul convecției libere, cu relații propuse de Nusselt și Wirtz.

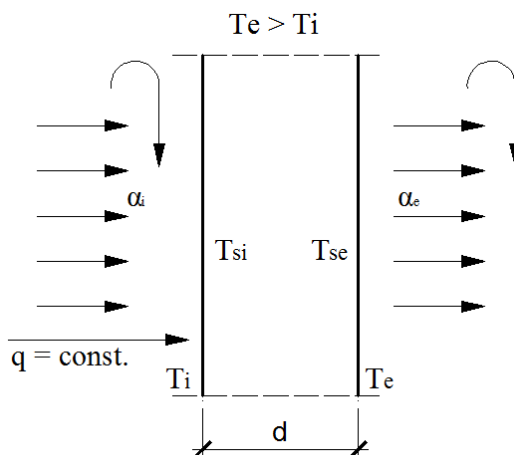


Figura 21. Transmiterea căldurii prin convecție la suprafața elementelor de construcție (Negoiță, și alții, 1976)

Pentru suprafața interioară a elementelor de închidere a clădirilor se aplică relații propuse de Noosselt, care au la bază diferența de temperatură între fluid și suprafață, care în cazul clădirilor sunt temperatura aerului interior T_i și cea a suprafeței interioare a elementelor de închidere sau compartimentare T_{si} :

- pentru cazul: $T_i - T_{si} \geq 5 \text{ }^\circ\text{C}$: $\alpha_c = 3 + 0.8(T_i - T_{si})$ (2.7)

- pentru cazul: $T_i - T_{si} < 5 \text{ }^\circ\text{C}$:

- la pereții interiori: $\alpha_c = 2,2\sqrt[4]{T_i - T_{si}}$ (2.8)

- la planșee și acoperișuri terasă, la flux termic ascendent:

$$\alpha_c = 2,8\sqrt[4]{T_i - T_{si}} \quad (2.9)$$

Pentru suprafața exterioară a elementelor de închidere se aplică relația propusă de Wirtz, care are la bază viteza vântului v , în m/s (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$\alpha'_c = 13\sqrt{v} \quad (2.10)$$

Coeficientul α_c la exteriorul clădirii în condiții normale, variază între 8 și 19 W/(m²·K). În cazul suprafeței interioare a elementelor de închidere acesta variază între 1 și aproximativ 4 W/(m²·K), cu valori mai mici în zona colțurilor și intrândurilor (Focșa, 1975).

2.3.3. *Transferul căldurii prin radiație*

Transferul energiei termice prin radiație este procesul prin care căldura este transferată de la un corp cu temperatură ridicată la un corp cu temperatură scăzută, corpurile fiind separate în spațiu. Schimbul de căldură prin radiație se realizează de la distanță, fără contact direct între corpuri.

Fenomenul are sens dublu: un corp radiază energie, dar și absoarbe energia emisă sau reflectată de corpurile înconjurătoare.

Radiația termică are loc sub formă de unde electromagnetice și intervine în mod semnificativ la diferențe mari de temperatură între corpurile solide, sau între solide și fluide, cum este în cazul elementelor de încălzire din locuințe (radiatoare).

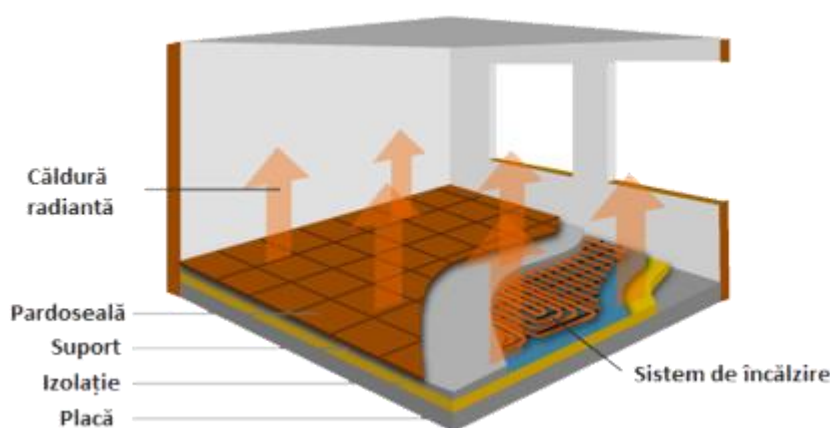


Figura 22. Transferul căldurii prin radiație în interiorul încăperii (Despre încălzire, 2013)

Conform definiției radiația este un proces de transfer de energie, care are drept suport undele electromagnetice (Căldură, 2014).

Radiația se propagă și prin vid, astfel poate să apară ca mod elementar de transfer termic independent de conducție și convecție. Toate corpurile emit și absorb radiații în proporții diferite și pe lungimi de undă caracteristice.

Mecanismul de transformare a energiei termice în energie radiantă, pe baza interpretării lui Planck, se poate prezenta astfel: în urma unui șoc (dintre molecule, atomi, electroni liberi) în interiorul unui corp, electronii unui atom sunt scoși temporar din starea de echilibru și trec de la un nivel de energie la altul (de pe o orbită pe alta).

La revenirea în poziția inițială (la nivelul de energie inițial), care reprezintă o stare de stabilitate mai mare, energia primită în urma șocului se eliberează sub forma undelor electromagnetice care sunt emise în spațiu.

Legea radiației termice

Schimbul de căldură în construcții poate avea loc și prin transmisia energiei radiante a suprafețelor elementelor de construcție la interior și exterior, a obiectelor și corpurilor de încălzire ce se află în încăperi (Negoiță, și alții, 1976).

Fluxul de căldură Q_r , în W transmis prin radiație între 2 corpuri de suprafață S și temperaturi T_1 și T_2 , în K, având coeficientul de radiație c_r , se poate determina cu relația:

$$Q_r = c_r S \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.11)$$

La materialele de construcție, în general, coeficientul de radiație $c_r \cong 4,2 \text{ W/m}^2\text{hK}^4$ (Focșa, 1975).

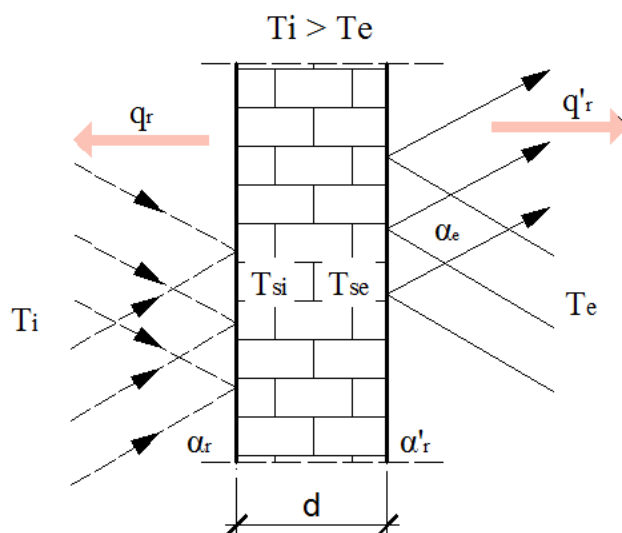


Figura 23. Transmiterea căldurii prin radiație la suprafața elementelor de construcții (Focșa, 1975)

Expresiile coeficienților de schimb de căldură prin radiație se obțin prin raportarea expresiei (2.11) la diferența dintre temperatura aerului interior T_i și temperatura suprafeței interioare T_{si} a peretelui exterior și respectiv a suprafeței exterioare T_{se} și a aerului exterior T_e , pentru mărimea suprafeței de 1 m^2 , în timp de 1 h, astfel:

- Schimbul de căldură pe fața interioară de la aerul interior prin radiație, coeficientul α_{ri} se determină cu relația:

$$\alpha_{ri} = \frac{c_r \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_i - T_{si}} \quad (2.12)$$

- Schimbul de căldură pe fața suprafața exterioară spre aerul exterior, coeficientul α_{re} se determină cu relația:

$$\alpha'_r = \frac{c_r \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{T_{se} - T_e} \quad (2.13)$$

Valoriile medii care se iau în calcul sunt : $\alpha_r = \alpha'_r = 4$ [W/(m²·K)]

Rezistența termică superficială a suprafețelor plane

Conform normativului care face referire la rezistența termică și transmitanța termică, rezistența termică superficială a suprafețelor plane se calculează cu formula următoare (SR EN ISO 6949, 1998):

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (2.14)$$

Unde:

h_c – coeficientul de convecție;

h_r – coeficientul de radiație;

și:

$$h_r = \varepsilon \cdot h_{ro} \quad (2.15)$$

$$h_{ro} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad (2.16)$$

În care:

ε – este emisivitatea suprafeței;

h_{ro} – coeficientul de radiație pentru o suprafață corp negru;

σ – este constanta lui Stefan – Boltzman [(5,67x10⁻⁸ W/m²K⁴)];

T_m – temperatura termodinamică medie a suprafeței și a mediului ambiant acesteia.

Tabel 14. Valori ale coeficientului de radiație a corpului negru h_{ro}

Temperatura °C	h_{ro} W/(m ² K)
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

La suprafețe interioare $h_c = h_{ci}$ unde:

- Pentru flux termic orientat în sus: $h_{ci} = 5,0 \text{ W}/(m^2K)$;
- Pentru flux termic orizontal: $h_{ci} = 2,5 \text{ W}/(m^2K)$;
- Pentru flux termic orientat în jos: $h_{ci} = 0,7 \text{ W}/(m^2K)$;

La suprafețe interioare $h_c = h_{ce}$ unde:

$$h_{ce} = 4 + 4v \quad (2.17)$$

Unde v este viteza vântului în vecinătatea suprafeței, în metri pe secundă.

2.3.4. *Transferul global de căldură la suprafețele elementelor de construcții*

Căldura pe care o primește sau o cedează un element de închidere a clădirii este suma efectului convecției și radiației, care se produc simultan.

În calcul, efectul cumulat de schimb termic, se introduce prin coeficientul de transfer termic la primirea căldurii α_i și coeficientul de transfer termic la cedarea căldurii α_e , denumiți coeficienți de transfer termic prin suprafață interioară și respectiv exterioară, în W/m^2K :

$$\alpha_i = \alpha_{ci} + \alpha_{ri} \quad (2.18)$$

$$\alpha_e = \alpha_{ce} + \alpha_{re} \quad (2.19)$$

Coeficienții α_i și α_e se bucură de aceeași proprietăți ca și coeficienții α_c și α_r .

Inversul coeficienților α_i și α_e definește rezistența superficială la transmisia termică, pe fața interioară R_{si} și pe fața exterioară R_{se} , în m^2K/W (Mârza & Abrudan, 2012):

$$R_{si} = \frac{1}{\alpha_i} \quad (2.20)$$

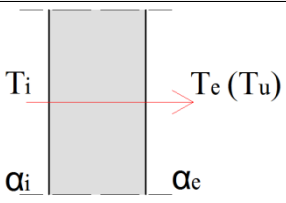
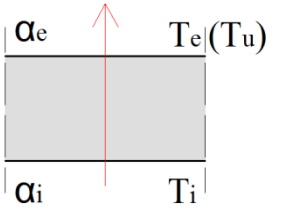
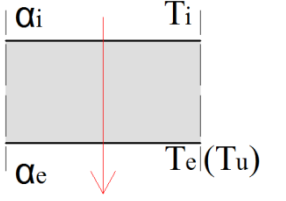
$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} \quad (2.21)$$

Mărimile α_i și α_e și respectiv R_{si} și R_{se} sunt precizate în normativul C 107/3-97 pentru diverse situații în care se pot găsi elementele de construcție de închidere și compartimentare a clădirilor față de mediul înconjurător. (Munteanu, 2006)

Rezistențele superficiale R_{si} și R_{se} se consideră în calcule în conformitate cu tabelul II din normativul C 107/3-2005, în funcție de direcția și sensul fluxului termic.

La determinarea rezistențelor termice ale elementelor de construcție interioare, pe ambele suprafețe ale elementului se consideră valori: $\alpha_i = \alpha_e = 8 \text{ W}/(m^2K)$. În spațiile neîncălzite, la fluxul termic din interior spre exterior se consideră $\alpha_i = 12 \text{ W}/(m^2K)$, indiferent de sensul fluxului termic (C 107/3, 2005).

Tabel 15. Coeficienții de transfer termic superficial [$W/(m^2K)$] și rezistențele termice superficiale [$(m^2K)/W$] (C 107/3, 2005)

Direcția și sensul fluxului termic	Elemente de construcție în contact cu:		Elemente de construcție în contact cu spații ventilate neîncălzite:	
	- exteriorul - pasaje deschise (ganguri)		- subsoluri și pivnițe - poduri - balcoane și logii închise - rosturi închise - alte încăperi neîncălzite	
	α_i/R_{si}	α_e/R_{se}	α_i/R_{si}	α_e/R_{se}
	8 ----- 0,125	24 ----- 0,042 (*)	8 ----- 0,125	12 ----- 0,084
	8 ----- 0,125	24 ----- 0,042 (*)	8 ----- 0,125	12 ----- 0,084
	6 ----- 0,167	24 ----- 0,042 (*)	6 ----- 0,167	12 ----- 0,084

*) pentru condiții de vară: $\alpha_e = 12 W/m^2K$, $R_{se} = 0,084 m^2K/W$

În figura de mai jos este prezentată transmiterea căldurii prin convecție și radiație printr-un perete alcătuit din 3 straturi.

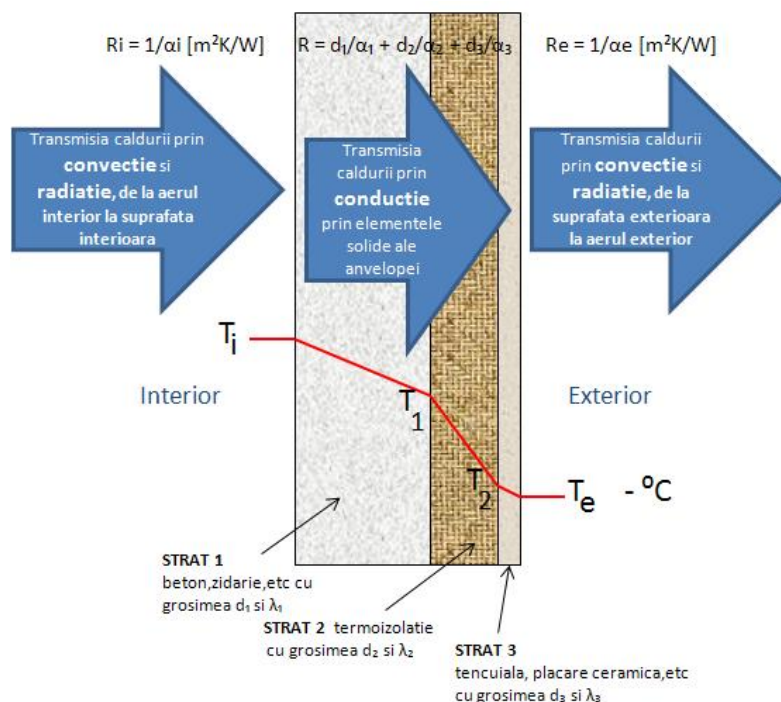


Figura 24. Transmiterea căldurii printr-un perete exterior alcătuit din 3 straturi (Izolarea termică, 2013)

2.4. REZOLVAREA NUMERICĂ A TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ ÎN REGIM TERMIC STAȚIONAR

Răspunsul clădirii la transferul de căldură, în regim staționar, se poate aprecia prin rezistența elementelor de închidere la transferul de căldură, prin fluxul sau densitatea fluxului de căldură ce se propagă prin acestea și prin starea de temperatură pe suprafața și în structura acestora. Răspunsul se poate determina, pentru fiecare element în parte (pereți exteriori, planșeu pod, acoperiș terasă, planșeu peste subsol), ca și global, pe ansamblul clădirii.

2.4.1. Elemente de închidere cu alcătuire omogenă

a.) Determinarea temperaturilor în grosimea elementului

Fiind dat un element de construcție omogen, de exemplu un perete exterior, cantitatea de căldură transmisă în regim staționar și unidirecțional (perpendicular pe element), pe baza ecuației lui Fourier, se poate estima cu relația:

$$Q = \lambda \frac{S \cdot (T_{si} - T_{se}) \cdot t}{d} \quad (2.22)$$

Unde: Q – cantitatea de căldură transmisă prin conducție (J sau Wh);

λ – coeficientul de conductivitate termică (W/m K);

S – aria suprafeței elementului prin care se face transferul termic, perpendiculară pe direcția de propagare a căldurii (m^2);

T_{si}, T_{se} – temperaturile suprafeței interioare, respectiv exterioare a elementului ($^{\circ}C$ sau K);

t – timpul (h);

d – grosimea elementului

Dacă în relația (2.22) se impune $S= 1 m^2$, $T_{si}- T_{se}=1^{\circ}C$, $t=1 h$, $d= 1m$, atunci rezultă: $\lambda=q$.

Cu ajutorul relației lui Fourier se poate stabili atât modul de variație al temperaturii pe grosimea unui element, cât și expresia temperaturii într-un punct oarecare, în regim termic unidirecțional și staționar.

Pentru aceasta, în cadrul peretelui omogen din Fig.25 se consideră un strat de grosime infinit mică „ dx ” în care temperatura variază cu o cantitate „ dT ”.

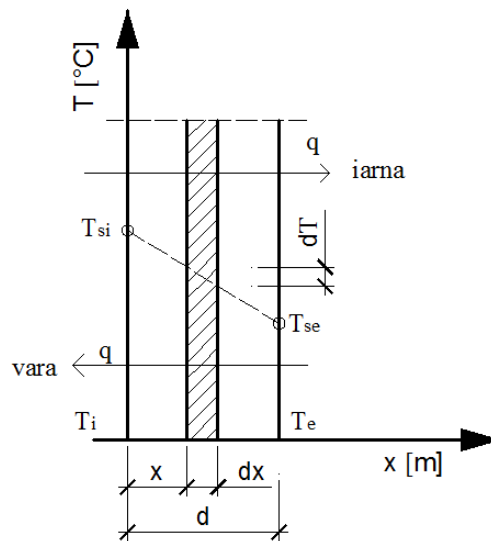


Figura 25. Transmisia căldurii prin conducție la un perete omogen (Focșa, 1975)

Expresia fluxului termic unitar (densității de flux) corespunzător stratului de grosime „ dx ”, se poate obține prin împărțirea relației (2.22) la aria S și la timpul t și înlocuind diferența de temperatură $T_{si} - T_{se}$ cu „ dT ” și grosimea „ d ” cu „ dx ”. Se obține relația:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad (2.23)$$

unde:

$\frac{dT}{dx}$ gradientul de temperatură ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$).

În regim staționar q este constant, deci:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \frac{dT^2}{dx^2} = 0 \quad (2.24)$$

Semnul „-” din relația (2.23) indică faptul că fluxul termic are sens contrar creșterii temperaturii.

În cazul fenomenului unidirecțional, exprimat prin ecuația (2.24), câmpul termic este constant în planurile paralele cu suprafața elementului (Figura 26).

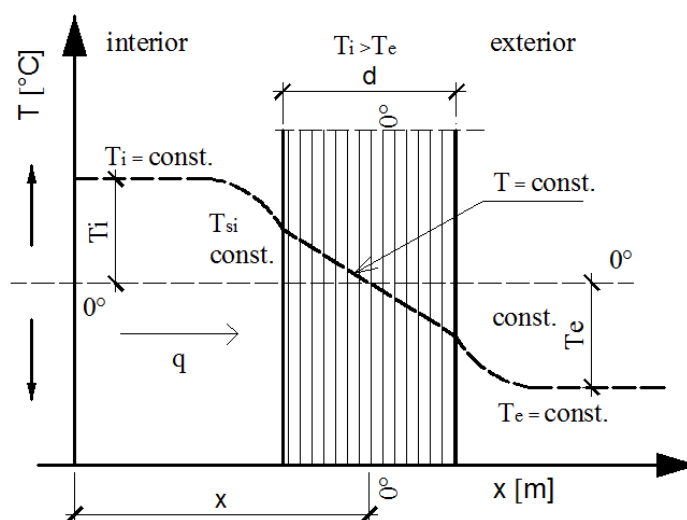


Figura 26. Câmpul termic constant în planurile paralele cu peretele (Focșa, 1975)

Pentru determinarea câmpului termic, deci a valorilor temperaturii în orice punct al peretelui, se integrează ecuația diferențială (2.24), pusă sub forma (Focșa, 1975):

$$dT = -\frac{q}{\lambda} dx \quad (2.25)$$

Cu următoarele condiții la limită:

$$x = 0; T = T_{si}; \quad x = d; T = T_{se}$$

Prin integrare ecuației (2.25) se obține:

$$T = -\frac{q}{\lambda} x + C \quad (2.26)$$

în care: C – constantă de integrare.

Punând condițiile la limită, rezultă:

$$C = T_{si} \text{ și } T_{se} = -\frac{q}{\lambda} d + T_{si} \quad (2.27)$$

De unde:

$$q = \frac{\lambda}{d} (T_{si} - T_{se}) = \frac{\lambda}{d} \Delta \cdot T_s \quad (2.28)$$

Variația temperaturii în peretele omogen, considerând sistemul de coordonate xOy, este liniară și se exprimă cu relația:

$$T = T_{si} - \frac{T_{si} - T_{se}}{d} x = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{d} x \quad (2.29)$$

b.) Rezistența termică unidirecțională

Prin rezistență termică se înțelege capacitatea unui element de construcție alcătuit din unul sau mai multe straturi din materiale omogene, fără punți termice, inclusiv din eventualele straturi de aer neventilat, dispuse perpendicular pe direcția fluxului termic, se calculează cu relația:

$$R = R_{si} + \sum R_s + \sum R_a + R_{se} \quad [m^2K/W] \quad (2.30)$$

Unde:

R – rezistența termică unidirecțională;

R_s - rezistența termică specifică a unui strat omogen;

$$R_s = \frac{d}{\lambda} \quad [m^2K/W] \quad (2.31)$$

unde:

d – grosimea de calcul a stratului;

λ – conductivitatea termică de calcul a materialului, conform anexei A, din normativul C107/3 – 2005.

R_a - rezistența termică a unui strat de aer neventilat;

R_{si} - rezistența termică la suprafața interioară;

R_{se} - rezistența termică la suprafața exterioară.

Pentru determinarea rezistenței termice unidirecționale în cazul materialelor neomogene (cu punți termice) se utilizează aceeași formulă ca în relația (2.30).

În calculul unidirecțional, suprafețele izoterme se consideră că sunt paralele cu suprafața elementului de construcție.

În cazul elementelor de construcții cu straturi de grosime variabilă (de ex. la planșeele terasă), rezistențele termice unidirecționale se pot determina pe baza grosimii medii ale acestor straturi, aferente suprafețelor care se calculează (Consortiu Universitar, 2005).

c.) Transferul global de căldură :

În cadrul proceselor de schimb termic căldura se transmite de cele mai multe ori simultan prin două sau prin toate cele trei tipuri de transfer. Numeroase aplicații tehnice presupun, de exemplu, schimbul de căldură între două fluide separate de un perete despărțitor, astfel încât transmisia căldurii se desfășoară prin conducție, convecție și radiație termică.

În cazul unui perete omogen de grosime „d” (Fig. 2.17), transmisia căldurii de la interior spre exterior se realizează în trei etape:

a) transmisia de la aerul interior cu temperatura T_i , la suprafața interioară cu temperatura T_{si} , prin convecție și radiație; în acest caz, fluxul termic unitar este:

$$q_1 = \alpha_i(T_i - T_{si}) \quad (2.32)$$

b) transmisia în masa (pe grosimea) elementului, prin conducție:

$$q_2 = \frac{\lambda}{d}(T_{si} - T_{se}) \quad (2.33)$$

c) transmisia de la suprafața exterioară cu temperatura T_{se} la aerul exterior cu temperatura T_e , prin convecție și radiație:

$$q_3 = \alpha_e(T_{se} - T_e) \quad (2.34)$$

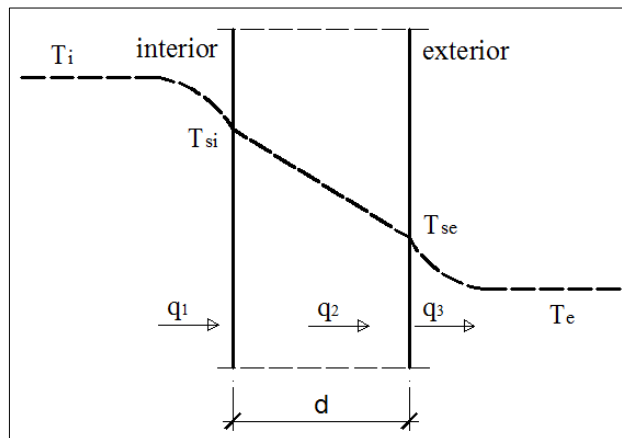


Figura 27. Transmisia globală a căldurii printr-un element omogen

În cazul regimului termic staționar, cele trei fluxuri sunt egale: $q_1 = q_2 = q_3 = q$.

În consecință, relațiile (2.32), (2.33) și (2.34) se pot scrie:

$$T_i - T_{si} = \frac{q}{\alpha_i}; \quad T_{se} - T_e = \frac{q}{\alpha_e} \quad (2.35)$$

Prin adunarea celor trei relații (2.35), membru cu membru, se obține:

$$T_i - T_e = q \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \right)$$

$$q = \frac{T_i - T_e}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{T_i - T_e}{R_i + R + R_e} = \frac{\Delta T}{R}$$

(2.36)

Rezistența termică totală (globală) la transmisia căldurii, printr-un element omogen, va avea deci expresia:

$$R_0 = R_i + R + R_e = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e} \quad (2.37)$$

Prin inversarea rezistenței termice globale se definește coeficientul global de transfer termic, măsurat în $W/(m^2K)$, ce reprezintă cantitatea totală de căldură ce trece printr-un perete cu suprafață de $1 m^2$ și grosimea „d”, timp de o oră, la o diferență de temperatură dintre aerul interior și cel exterior de $1^\circ C$ (sau $1 K$), în regim termic staționar:

$$U_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_i + R + R_e} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (2.38)$$

2.4.2. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi omogene paralele perpendiculare pe fluxul termic

a.) *Determinarea rezistenței termice și a temperaturilor pe suprafața și în straturile elementului*

Se consideră cazul unui element de construcție exterior (de exemplu un perete), alcătuit din mai multe straturi de grosimi d_1, d_2, d_3, \dots și având conductivitățile termice $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ (Fig. 28).

Densitățile fluxului termic (fluxurile termice unitare) în cele trei straturi sunt:

$$q_1 = \frac{\lambda_1}{d_1} (T_{si} - T_1); \quad q_2 = \frac{\lambda_2}{d_2} (T_1 - T_2); \quad q_3 = \frac{\lambda_3}{d_3} (T_2 - T_{se}); \quad (2.39)$$

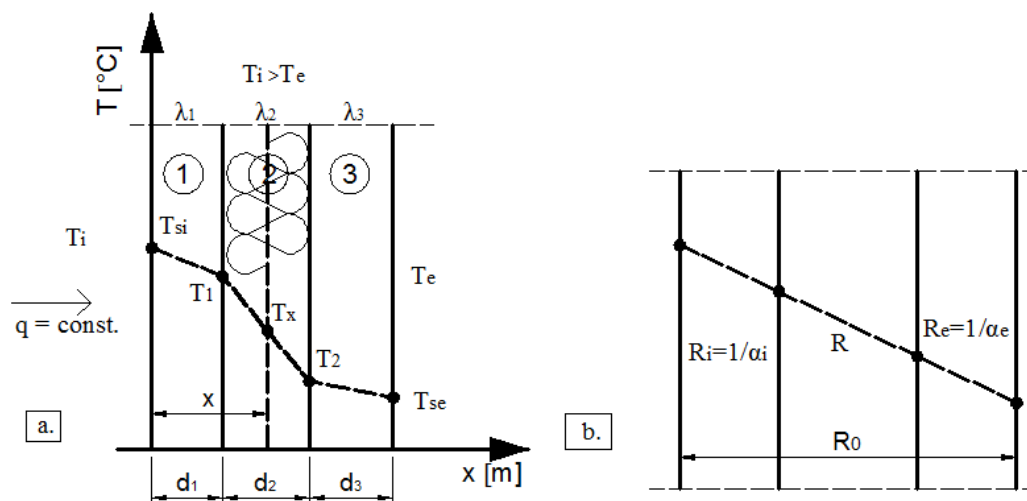


Figura 28. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele; a. Variația temperaturii la scară geometrică, b. Variația temperaturii la scara rezistențelor termice (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992)

Regimul termic fiind considerat staționar, fluxul termic va fi constant (egal în toate straturile: $q_1 = q_2 = q_3 = q$). Explicând diferențele de temperatură din relațiile (2.39) se poate scrie:

$$T_{si} - T_1 = q \cdot \frac{d_1}{\lambda_1}; \quad T_1 - T_2 = q \cdot \frac{d_2}{\lambda_2}; \quad T_2 - T_{se} = q \cdot \frac{d_3}{\lambda_3}; \quad (2.40)$$

Prin adunarea relațiilor (2.40), membru cu membru, se obține diferența totală de temperatură (diferența dintre temperaturile suprafețelor):

$$T_{si} - T_{se} = q \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \right) \quad (2.41)$$

Conform rel. (2.41), rapoartele dintre grosimile straturilor și conductivitățile termice ale acestora reprezintă rezistențele termice unidirecționale ale fiecărui strat. Rezistența termică totală va fi egală cu suma rezistențelor termice ale straturilor componente:

$$\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = R_1 + R_2 + R_3 = R \quad (2.42)$$

Din expresiile (2.41) și (2.42) se poate deduce relația fluxului termic unitar:

$$q = \frac{T_{si} - T_{se}}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} = \frac{T_{si} - T_{se}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta T_s}{R} \quad (2.43)$$

Temperatura T_1 de la suprafața de contact dintre primele două straturi (Fig. 28) se poate calcula pornind de la prima relație (2.39), folosind și relația (2.43):

$$T_1 = T_{si} - q \frac{d_1}{\lambda_1} = T_{si} - q \cdot R_1 = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R} R_1 = T_{si} - \frac{R_1}{R} \Delta T_s \quad (2.44)$$

Temperatura T_2 de la suprafața de contact dintre ultimele două straturi (Fig. 28) se poate calcula folosind primele două relații (2.39) și relația (2.43):

$$\begin{aligned} T_2 = T_1 - q \frac{d_2}{\lambda_2} &= T_{si} - q \frac{d_1}{\lambda_1} - q \frac{d_2}{\lambda_2} = T_{si} - q \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \right) = T_{si} - q(R_1 + R_2) = \\ &= T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R} (R_1 + R_2) = T_{si} - \frac{R_1 + R_2}{R} \Delta T_s \end{aligned} \quad (2.45)$$

Prin generalizarea relației (2.45), temperatura într-un plan vertical situat la distanța "x" de suprafața interioară a peretelui va avea expresia (2.46).

$$T_x = T_{si} - q \cdot R_x = T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R} R_x = T_{si} - \frac{R_x}{R} \Delta T_s \quad (2.46)$$

unde: R_x – rezistența termică a fâșiei de grosime „x” ($m^2 K/W$).

b.) Transferul global de căldură printr-un element de construcție

În cazul unui element alcătuit din mai multe straturi omogene paralele între ele și perpendiculare pe direcția fluxului termic, expresiile rezistenței termice și a coeficientului de transfer termic în câmp vor fi:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e} = R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_e \quad [(m^2 \cdot K) / W] \quad (2.47)$$

$$U_0 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n R_j + R_e} \quad [W / (m^2 \cdot K)] \quad (2.48)$$

c.) Rezistența termică a elementelor cu straturi de aer

Rezistența termică specifică unidirecțională a unui element de construcție alcătuit din unul sau mai multe straturi din materiale omogene, fără punți termice, inclusiv din eventualele straturi de aer neventilat, dispuse perpendicular pe direcția fluxului termic, se calculează cu relația (C 107/3, 2005):

$$R_o = R_{si} + \sum R_s + \sum R_a + R_{se} \quad [m^2 K / W] \quad (2.49)$$

Această relație se aplică elementelor de construcție stratificate cu straturi omogene cu straturi de aer (cu punți termice) pentru determinarea rezistenței termice specifice în câmp

curent. În calculul unidirecțional, suprafețele izoterme se consideră că sunt paralele cu suprafața elementului de construcție. (C 107/3, 2005).

În cazul în care elementele de construcție au grosimi variabile, rezistențele termice se pot determina pe baza grosimilor medii ale acestor straturi, aferente suprafețelor care se calculează.

2.4.3. Elemente de închidere cu alcătuire neomogenă

Rezistența termică specifică corectată se determină la elementele de construcție cu alcătuire neomogenă și are în vedere influența punților termice asupra valorii rezistenței termice specifice determinate pe baza unui calcul unidirecțional în câmp curent, respectiv în zona cu alcătuire predominantă.

Se determină cu următoare formulă de calcul:

$$U' = \frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{\sum(\psi \cdot l) \cdot \sum \chi}{A} \quad [W/(m^2K)] \quad (2.50)$$

în care:

R – rezistență termică specifică unidirecțională aferentă ariei A;

l – lungimea punților liniare de același fel, din cadrul suprafeței A.

Rezistența termică specifică corectată se mai poate exprima prin relația:

$$R' = r \cdot R \quad [(m^2K)/W] \quad (2.51)$$

r – coeficientul de reducere a rezistenței unidirecționale

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R \cdot [\sum(\psi \cdot l) \sum \chi]}{A}}$$

Coeficienții specifici liniari ψ [W/(m·K)] și punctuali χ [W/K] de transfer termic aduc o corecție a calculului unidirecțional, ținând seama atât de prezența punților termice constructive, cât și de comportarea reală, bidimensională, respectiv tridimensională, a fluxului termic, în zonele de neomogenitate a elementelor de construcție (Moga L. , 2009).

Coeficienții specifici liniari (ψ) și punctuali (χ) de transfer termic nu diferă în funcție de zonele climatice ci se determină pe baza calculului numeric automat al câmpurilor de temperaturi. Valorile acestor coeficienți sunt precizați în anexa G ai normativului C 107/3 funcție de detalii curent utilizate.

Rezistența termică specifică medie a unui element se calculează cu relația:

$$R'_{med} = \frac{1}{U'_{med}} = \frac{\sum A_j}{\sum(A_j - U'_j)} \quad [(m^2K)/W] \quad (2.52)$$

În care:

U'_j - coeficienții de transfer termic corectat [$W/(m^2K)$] aferenți suprafețelor A_j .

Rezistențele termice medii R'_{med} se pot calcula pentru:

- O încăpere având mai multe suprafețe pentru un același element de construcție, de exemplu o încăpere de colț;
- Un nivel al clădirii;
- Ansamblul unei clădiri.

În cazul rezistenței termice medii pe un nivel sau pe ansamblul unei clădiri, valorile A_j și U'_j sunt aferente diferitelor încăperi j .

Relația (2.52) este valabilă și pentru determinarea rezistențelor termice specifice medii ale unor elemente de construcție alcătuite din două sau din mai multe zone cu alcătuire omogenă; în această situație în relația (2.52) în loc de U'_j se introduce coeficientul de transfer termic unidirecțional U_j , obținându-se rezistența termică specifică medie $R_m = 1/U_m$. (C 107/3, 2005)

2.5. TRANSMISIA CĂLDURII ÎN REGIM TERMIC NESTAȚIONAR

2.5.1. Ecuția diferențială a conducției termice în regim termic nestaționar

Datorită variațiilor în timp ale temperaturii, atât la exteriorul cât și la interiorul clădirilor, are loc și o variație a temperaturii elementelor de construcții. În această situație avem de-a face cu un regim termic nestaționar (variabil).

În regim nestaționar, densitatea q a fluxului de căldură din stratul dx considerat este variabilă și se determină luând diferențiala lui q în raport cu x , ceea ce conduce la expresia de mai jos (Moga & Comșa, 1992):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \frac{dq}{dx} = -\lambda \frac{d^2T}{dx^2} \quad (2.53)$$

Variația densității fluxului de căldură depinde de capacitatea de acumulare sau de cedare a căldurii de către materialul de construcție din care este alcătuit elementul (Focșa, 1975).

Cantitatea elementară de căldură dq , necesară pentru creșterea temperaturii stratului dx , cu dT grade, într-un interval de timp dt este proporțională cu capacitatea de acumulare termică a stratului și cu variația temperaturii în timp, conform relației:

$$dq = -c_p \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.54)$$

unde: c_p – căldura specifică a materialului din care este alcătuit elementul (cantitatea de căldură necesară pentru a ridica temperatura unui kilogram de material cu un grad) [J/(Kg K)];

ρ – densitatea materialului (Kg/m³);

Din relația de mai sus (2.54) rezultă:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \cdot \frac{d^2T}{dx^2} = a \cdot \frac{d^2T}{dx^2} \quad (2.55)$$

Unde:

λ – coeficientul de conductivitate termică al materialului [W/(m K)];

a – coeficientul de difuzivitate termică, ce reprezintă capacitatea unui material de a transmite o variație de temperatură și este egal prin definiție cu raportul $\lambda/(c_p \rho)$ (m²/s).

Expresia de mai sus (2.55) caracterizează variația temperaturii în elementele de construcție, în regim nestaționar, în cazul transmisiei căldurii după o singură direcție.

Semnificația fizică a coeficientului a constă în caracterizarea vitezei de egalare a temperaturii în diferite puncte ale mediului în care are loc propagarea căldurii.

În cazul fenomenelor termice plane, caracterizate prin transmisia căldurii după două direcții, ecuația căldurii se prezintă astfel:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right) \quad (2.56)$$

La transmisia căldurii după trei direcții, în spațiu, ecuația privind variația temperaturii în timp, în regim nestaționar, este:

$$\frac{dT}{dt} = a \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) = a \nabla^2 T \quad (2.57)$$

În care ∇^2 este operatorul lui Laplace.

Cunoașterea caracteristicilor termice ale elementelor de construcție, în regim nestaționar, presupune integrarea ecuațiilor (2.55), (2.56) și (2.57) în condiții la limită ce interesează practic.

Deoarece rezolvarea pe cale analitică a integrării acestor ecuații este foarte dificilă, se folosesc următoarele metode (Negoiță, și alții, 1976):

- Criterii aproximative;
- Calcul cu diferențe finite și metode grafice;
- Metode analogice electrice.

2.5.2. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcții în regim nestaționar

Reducerea masei pereților, adoptarea acoperișurilor terasă, folosirea materialelor grele și ușoare la elementele cu structuri mixte, influența radiației solare asupra suprafețelor exterioare ale elementelor de construcție fac actuală ipoteza regimului nestaționar, la studiul termic al elementelor de construcție. Având în vedere cele menționate mai sus, o importanță deosebită o reprezintă proprietatea suprafețelor materialelor de a absorbi și ceda căldura, ca urmare a variațiilor periodice ale fluxului termic și ale temperaturii aerului.

2.5.2.1 Capacitatea de asimilare a căldurii la suprafața elementelor de construcție

Ipoteza utilizată este ipoteza variației sinusoidală a fluxului de căldură și a temperaturii suprafețelor elementelor, fenomen ce poate fi considerat variabil, cu perioada de o zi, o lună sau un an. Sub acțiunea variației fluxului de căldură q , de amplitudinea A_q , are loc variația temperaturii θ a suprafeței elementului de construcție, cu amplitudinea A_θ ce depinde de caracteristicile termofizice ale materialelor din care sunt alcătuite elementele.

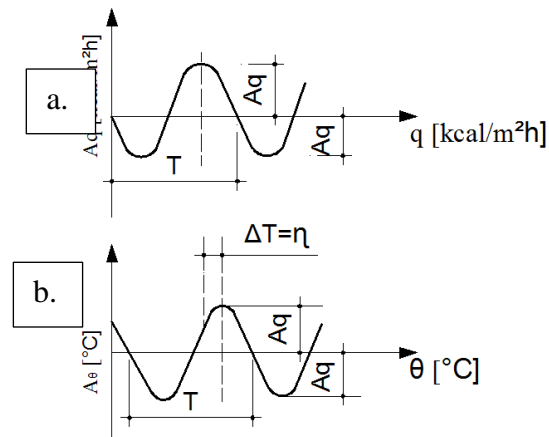


Figura 29. Variații sinusoidale ale fluxului termic și ale temperaturii elementelor de construcție.
a. pentru fluxul termic; b. pentru temperatura elementelor de construcție

Coeficientul de absorbție a căldurii s , exprimat în $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$, caracterizează asimilarea căldurii la suprafața materialelor și este definit de raportul (Focșa, 1975):

$$s = \frac{A_q}{A_\theta} = \frac{q_{\max} - q}{\theta_{\max} - \theta} \quad (2.58)$$

Coeficientul de asimilare termică s depinde de conductivitatea termică a materialului λ , de căldura specifică c_p , densitatea specifică aparentă ρ și perioada T . pentru $T=24$ ore, expresia coeficientului de absorbție S , în $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, este:

$$s_{24} = \sqrt{\frac{2\pi}{T} \lambda c_p \rho} = 0,59 \sqrt{\lambda c_p \rho} \quad (2.59)$$

Valorile coeficientului de asimilare termică s_{24} sunt cuprinse între 0,29 W/m²K (la polistiren celular) și 140 W/m²K (la tabla de aluminiu) și reflectă caracteristicile materialelor termoizolante și a materialelor de mare permeabilitate termică.

2.5.2.2 Indicele inerției termice

Pentru aprecierea capacității de acumulare și cedare a căldurii de către elementele de construcție, s-a introdus noțiunea de indice de inerție termică D , ce caracterizează numărul undelor de temperatură ce pătrund în grosimea elementului de construcție, definit de expresia:

$$D = \sum R_s \cdot s \quad (2.60)$$

Unde:

s – coeficientul de asimilare termică, pentru perioada oscilațiilor densității fluxului termic de 24 de ore, care este specificat în anexa A, a normativului C107-3. Pentru materialele care nu sunt cuprinse în anexa A se calculează cu relația (C 107/3, 2005):

$$s = 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\lambda} \cdot c \cdot \rho \quad [W / (m^2 K)] \quad (2.61)$$

Unde:

c – capacitatea calorică masică la presiune constantă [$J / (kg \cdot K)$];

ρ – densitatea aparentă a materialului [kg/m^3].

La elementele în mai multe straturi, expresia devine:

$$D = \sum_{k=1}^n R_k S_k \quad (2.62)$$

În care R_k și S_k reprezintă rezistența și respectiv coeficientul de asimilare termică a unui strat curent k , al structurii compuse.

La elementele de construcție cu zone neomogene, indicele inerției termice se calculează cu relația:

$$D = \frac{\sum(A_j \cdot D_j)}{\sum A_j} \quad (2.63)$$

Unde:

A_j – ariile zonelor distincte de pe suprafața elementului de construcție [m^2];

D_j – indicii inerției termice corespunzători zonelor cu arii A_j .

2.5.2.3 Amortizarea oscilațiilor termice

Raporturile dintre amplitudinile oscilației termice a suprafețelor elementului de construcție, caracterizează capacitatea de acumulare și cedare a căldurii, în regim staționar și influențează variațiile de temperatură ale aerului interior.

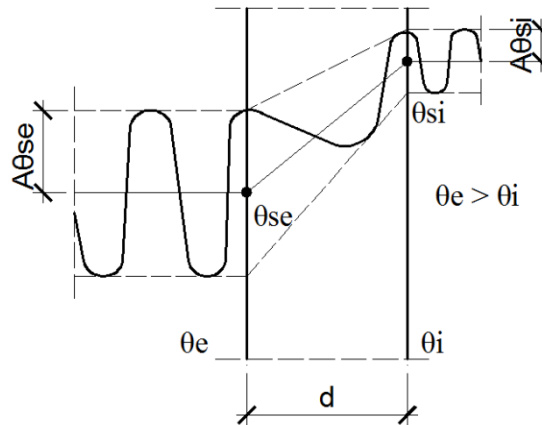


Figura 30. Amortizarea oscilațiilor termice în elementele de construcție

Indicele care caracterizează temperatura aerului interior, sub influența oscilațiilor temperaturii aerului exterior depinde de capacitatea de amortizare termică și se exprimă cu ajutorul relației:

$$v = \frac{A_{\theta_{se}}}{A_{\theta_{si}}} \quad (2.64)$$

În care:

v – indicele amortizării termice;

$A_{\theta_{se}}$ - amplitudinea temperaturii suprafeței exterioare a elementului de construcție, în °C sau K;

$A_{\theta_{si}}$ - amplitudinea temperaturii suprafeței interioare a elementului de construcție, în °C sau K;

Acest indice poate fi luat în considerare atât pentru condiții de iarnă cât și pentru condiții de vară, în special la structuri din beton armat la care influența radiației solare este esențială asupra confortului din locuințe.

2.5.2.4 Deplasarea de fază, defazajul oscilațiilor termice

Un alt indice al inerției termice, care caracterizează acțiunea de răcire în timpul iernii și de încălzire pe timpul verii, este deplasarea de fază sau întârzierea de timp a oscilației termice, notată cu ε și care reprezintă intervalul de timp de la începutul acțiunii termice exterioare până

când efectul termic se manifestă pe suprafața interioară a elementului de construcție și deci în interiorul încăperilor. Deplasarea de fază a oscilației termice depinde și de capacitatea de amortizare a elementului de construcție. (Negoiță, și alții, 1976)

În timpul verii, când intervine acțiunea însoririi, dacă amortizarea termică a elementului de construcție este corespunzătoare, unda termică poate fi reținută și căldura absorbită până când aerul exterior se răcește din nou.

Pentru a evita încălzirea încăperilor în condiții de vară, este necesar ca întârzierea de fază să fie cel puțin 8 ore. Pereții orientați spre răsărit sunt supuși unei durate mai mici de însorire și implică o valoare mai mică a decalajului de fază pentru cerințele confortului de vară și o valoare mai mare pentru cele ale confortului de iarnă.

Pentru creșterea stabilității termice a încăperilor se pot lua următoarele măsuri (C 107/7, 2002):

a) Pentru perioada de iarnă se recomandă:

- proiectarea unor finisaje interioare care să conducă la valori mari pentru coeficientul de asimilare termică B_i prin suprafețele interioare ale elementelor de închidere și compartimentare;
- pentru clădirile cu ocupare continuă se recomandă utilizarea de pereți interiori cu masa specifică mare, planșee din beton armat și pereți exteriori care au spre fața interioară straturi din materiale grele (beton armat sau cărămidă) și izolație termică amplasată spre fața exterioară; elemente care funcționează ca volant termic, astfel încât căldura acumulată de straturile masive din interior să fie cedată, în bună parte, aerului interior, în perioadele de oprire a instalației de încălzire;
- pentru clădirile cu ocupare discontinua (școli, săli de spectacole, etc.) se recomandă, pentru elementele de închidere, soluții constructive cu izolația termică amplasată pe fața interioară;
- reducerea la minimum a pierderilor de căldură prin elementele de închidere, prin asigurarea unor rezistențe sporite la transmisia termică a zonei opace a acestora și a zonei vitrate;
- limitarea zonelor vitrate ale elementelor exterioare de închidere la strictul necesar, astfel încât să fie satisfăcute și cerințele de iluminat natural;

b.) Pentru perioada de vară se recomandă:

- utilizarea acoperișurilor cu pod;

- protejarea acoperișurilor terasa cu straturi reflectante care sa transmită în atmosfera exterioara cea mai mare parte a căldurii provenita din radiația solara;
- protejarea fațadelor cu finisaje în culori deschise;
- asigurarea umbririi suprafețelor vitrate prin prevederea de logii, balcoane sau alte sisteme de tip parasolar.

2.5.3. Alți coeficienți care se calculează în stabilirea comportării higrotermice a unei clădiri

a.) *Aria anvelopei* – A – se calculează cu relația:

$$A = A_j \quad [\text{m}^2] \quad (2.65)$$

- unde: A – aria anvelopei, reprezentând suma tuturor ariilor elementelor de construcție perimetrare ale clădirii, prin care au loc pierderile de căldură;

b.) *Volumul încălzit al clădirii*

Volumul clădirii reprezintă volumul delimitat pe contur de suprafețele perimetrare care alcătuiesc anvelopa clădirii și care de asemenea reprezintă volumul încălzit al clădirii, cuprinzând atât încăperile încălzite direct (cu elemente de încălzire), cât și încăperile încălzite indirect (fără elemente de încălzire) dar la care căldura pătrunde prin pereții adiacenți, lipsiți de termoizolație semnificativă. În acest sens se poate considera ca făcând parte din volumul clădirii: camere, debarale, vestibuluri, holuri de intrare, casa scării, puțul liftului și alte spații comune.

În ceea ce privește mansardele și încăperile de la subsol sunt incluse în volumul clădirii dacă acestea sunt încălzite la temperaturi apropiate de temperatura predominantă a clădirii.

Volumul clădirii nu include următoarele:

- încăperile cu temperaturi mult mai mici decât temperatura predominantă a clădirii (ex. camerele de pubele);
- verandele, precum și balcoanele și logiile, chiar în situația în care ele sunt închise cu tâmplărie exterioară.

În cazul în care clădirile sunt cu terasă, pereții exteriori ai casei scării sunt incluși în volum dacă acești sunt peste cota generală a planșeului terasă.

c.) *Coeficientul de cuplaj termic (L)*, aferent unui element de construcție se calculează cu relația generală:

$$L_j = A_j \cdot U'_j = \frac{A_j}{R'_j} \quad [W/K] \quad (2.66)$$

- în care indicele j se poate referi la o suprafață a elementului de construcție, la o încăpere, la un nivel sau la ansamblul clădirii.

Pentru ansamblul mai multor elemente de construcție, valorile L se pot însuma.

Fluxul termic (Φ) aferent unui element de construcție se calculează cu relația generală:

$$\Phi = L_j \cdot \Delta T \quad [W] \quad (2.67)$$

- în care indicele j se poate referi la o suprafață a elementului de construcție, la o încăpere, la un nivel sau la ansamblul clădirii.

În cazul elementelor de construcție care separa spațiul interior încălzit de un spațiu neîncălzit, în locul valorii $\Delta T = T_i - T_e$ se utilizează diferența de temperatură ($T_i - T_u$) în care T_u reprezintă temperatura din spațiul neîncălzit, determinată pe baza unui calcul de bilanț termic. (C 107/3, 2005)

Pentru ansamblul mai multor elemente de construcție, valorile Φ se pot însuma.

d.) *Coeficientul global de izolare termică a unei clădiri (G)*

Coeficientul global de izolare termică a unei clădiri (G), este un parametru termo-energetic al anvelopei clădirii pe ansamblul acesteia și are semnificația unei sume a fluxurilor termice disipate (pierderilor de căldură realizate prin transmisie directă) prin suprafața anvelopei clădirii, pentru o diferență de temperatură între exterior și interior de la 1K, raportată la volumul clădirii, la care se adaugă cele eferente reîmprospătării aerului interior, precum și cele datorate infiltrațiilor suplimentare de aer rece.

Coeficientul de global izolare termică în cazul clădirilor de locui se calculează cu relația:

$$G = \frac{\sum(L_j \cdot \tau_j)}{V} + 0,34n \quad [W/(m^3K)] \quad (2.68)$$

În care:

L – coeficientul de cuplaj termic, calculat cu relația: $L = \frac{A}{R'_m} \quad [W/K];$

τ – factorul de corecție a temperaturilor exterioare;

V – volumul interior încălzit al clădirii [m^3];

R'_m – rezistența termică corectată, medie, a unui element de construcție, pe ansamblul clădirii [$(m^2K)/W$];

A – aria elementului de construcție [m^2], având rezistența termică R'_m ;

n – viteza de ventilare naturală a clădirii, respectiv numărul de schimburi de aer pe oră [h^{-1}].

e.) Stabilirea coeficientului global de izolare termică normat pentru clădiri de locuit

Coeficientul global de izolare termică este stabilit funcție de:

- Numărul de niveluri;
- Raportul dintre aria anvelopei și volumul clădirii (A/V).

Valorile coeficienților globali normați sunt date în anexa 2 a normativului C107-1 modificat din 8.12.2010.

La clădirile având suprafețe construite diferite de la nivel la nivel (de ex. retrageri de gabaritice), precum și la cele cu spații având alte destinații decât cea de locuit la unele niveluri, pentru numărul de niveluri N se va calcula o valoare convențională, cu relația:

$$N = \frac{\sum A_c}{A_{c \max}} \quad (2.69)$$

Unde:

A_c – aria construită a clădirii, măsurată pe conturul exterior al pereților de fațadă (exclusiv logiile și balcoanele) la fiecare nivel al clădirii [m^2];

$A_{c \max}$ – cea mai mare valoare A_c din clădire [m^2];

În acest caz valoarea N poate rezulta ca număr zecimal, încadrarea în anexa 2 urmând a se face prin interpolare.

În tabelul de mai jos (Tabelul 16) sunt prezentați coeficienți globali normați de izolare termică GN [W/m^2K] la clădiri de locuit conform normativului în anexa 2 a normativului C107-1 modificat din 8.12.2010.

Tabel 16. Coeficienți globali normați de izolare termică GN [$W/(m^2K)$] la clădiri de locuit (C 107-modificat, 2010)

Numărul de niveluri N	A/V	GN	Numărul de niveluri N	A/V	GN
	$[m^2/m^3]$	$[W/m^2K]$		$[m^2/m^3]$	$[W/m^2K]$
1	0,80	0,55	4	0,25	0,33
	0,85	0,58		0,30	0,36

	0,90	0,61		0,35	0,39
	0,95	0,63		0,40	0,42
	1,00	0,66		0,45	0,44
	1,05	0,67		0,50	0,46
	≥ 1,10	0,68		≥ 0,55	0,47
2	0,45	0,41	5	0,20	0,31
	0,50	0,44		0,25	0,34
	0,55	0,48		0,30	0,37
	0,60	0,50		0,35	0,40
	0,65	0,52		0,40	0,42
	0,70	0,53		0,45	0,44
	≥ 0,75	0,54		≥ 0,50	0,45
3	0,30	0,35	≥ 10	0,15	0,30
	0,35	0,38		0,20	0,32
	0,40	0,41		0,25	0,35
	0,45	0,44		0,30	0,38
	0,50	0,47		0,35	0,40
	0,55	0,48		0,40	0,42
	≥ 0,60	0,49		≥ 0,45	0,42

f.) Determinarea necesarului anual de căldură pentru încălzirea clădirii

Necesarul anual de căldură utilizată pentru încălzirea, în perioada rece, a clădirilor, este un indicator important care reflectă gradul de protecție termică în ceea ce privește economia de energie și reprezintă principala caracteristică energetică a clădirilor.

Necesarul anual de căldură pentru încălzirea unui m^3 de volum interior, se calculează cu relația (C 107/1, 2005):

$$Q = \frac{24}{1000} C \cdot N_{12}^{\theta_i} \cdot G - (Q_1 - Q_s) \quad [kWh/(m^3 \cdot an)] \quad (2.70)$$

În care:

Q – necesarul anual de căldură pe metru cub de volum încălzit, $[kWh/(m^3 \cdot an)]$;

G – coeficientul global de izolare termică a clădirii, care se determină în conformitate cu prevederile amintite mai sus, $[W/(m^3K)]$;

C – coeficient de corecție;

$N_{12}^{\theta_i}$ – numărul anual de grade zile de calcul, corespunzător localității unde este amplasată clădirea, calculat pentru temperatura interioară medie în perioada de încălzire (θ_i) și pentru temperatura exterioară medie zilnică care marchează începerea și oprirea încălzirii, se exprimă în [K. zile];

Q_1 – aportul util rezultat din locuirea clădirii, aferent unui m^3 de volum încălzit [kWh/($m^3 \cdot an$)];

Q_s - aportul util rezultat din radiația solară, aferent unui m^3 de volum încălzit [kWh/($m^3 \cdot an$)];

Numărul anual de grade-zile de calcul se determină pe baza prevederilor din standardul SR 4839-1997, cu relația:

$$N_{12}^G = N_{12}^{20} - (20 - \theta_i)D_{12} \quad [\text{K. zile}] \quad (2.71)$$

În care:

N_{12}^{20} – numărul anual de grade zile de acul, pentru $\theta_i = +20^\circ\text{C}$ și pentru $\theta_{e0} = +12^\circ\text{C}$, [K. zile];

θ_i – temperatura interioară medie a clădirii [$^\circ\text{C}$];

D_{12} – durata convențională a perioadei de încălzire, corespunzătoare temperaturii exterioare care marchează începerea și oprirea încălzirii $\theta_{e0} = +12^\circ\text{C}$, [zile];

Temperatura interioară medie a clădirii se calculează cu relația:

$$\theta_i = \frac{\sum(\theta_j V_{uj})}{\sum V_{uj}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.72)$$

În care:

V_{uj} – volumul util al fiecăreia din încăperile direct încălzite (prevăzute cu corpuri de încălzire) ale clădirii [m^3];

θ_i – temperatura interioară de calcul a încăperilor direct încălzite ale clădirii, [$^\circ\text{C}$].

În cazul în care încăperile au aceeași înălțime, temperatura interioară medie ale spațiilor încălzite (θ_i) se calculează cu relația (MC 001/1, 2006):

$$\theta_i = \frac{\sum(\theta_{ij} A_j)}{\sum A_j} \quad [^\circ\text{C}] \quad (2.73)$$

În care:

A_j – aria încăperii j având temperatura interioară θ_{ij} .

Temperaturile interioare ale spațiilor neîncălzite (θ_u) se determină exclusiv pe bază de bilanț termic, în funcție de temperaturile de calcul ale încăperilor adiacente, de ariile elementelor de construcție care delimitează spațiul neîncălzit, precum și rezistențele termice ale acestor

elemente. În calcule se va ține seama în mod obligatoriu și de numărul de schimburi de aer în spațiul neîncălzit.

Temperatura convențională de calcul dintr-un spațiu neîncălzit de tip cămară sau debara, se face un calcul de bilanț termic, cu relația (MC 001/1, 2006):

$$\theta_u = \frac{\sum(\theta_j \cdot L_j) + 0,34 \cdot V \cdot \sum(n_j \cdot \theta_j)}{\sum L_j + 0,34 \cdot V \cdot \sum n_j} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.73)$$

În care:

L_j – coeficienții de cuplaj termic aferenți tuturor elementelor de construcție orizontale și verticale care delimitează spațiul neîncălzit de mediile adiacente: aer exterior sau încăperi încălzite, în [W/K];

θ_j – temperaturile mediilor adiacente: aer exterior (θ_e) sau încăperea încălzită (θ_i), în [$^{\circ}\text{C}$];

V – volumul interior al spațiului neîncălzit [m^3];

n_j – numărul de schimburi de aer datorită permeabilității la aer a elementului j , în [h^{-1}]

Temperaturile exterioare utilizate la calculul performanțelor termice ale elementelor de construcție perimetrice care alcătuiesc anvelopa clădirii sunt temperaturile exterioare de calcul stabilite în funcție de zona climatică de calcul pentru perioada de iarnă.

g.) Stabilirea necesarului anual de căldură normat pentru încălzirea clădirii

Pentru stabilirea valorii lui QN aferente necesarului de căldură pe m^3 de volum încălzit (QN) se dau în tabelul 7.3 și figura din Anexa 1- C107 modificat în funcție de raportul A(aria anvelopei clădirii)/V(volumul interior încălzit al clădirii).- se va lua fie se va lua fie valoare QN1 aferentă clădirilor construite înainte de 01.01.2011 sau valoare QN2 aferentă clădirilor construite după 01.01.2011.

Se va verifica respectarea *condiției*: $Q \leq \text{QN1}$ sau $Q \leq \text{QN2}$. (2.75)

Apoi se va determina necesarul anual de căldură, normat, aferent unui metru pătrat de arie utilă:

$$\overline{QN} = 3,125 \cdot QN \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{an})].$$

Valorile pentru QN1-barat și QN2 barat se vor lua din Tabelul 7.4. din C017/1-2005.

h.) *Determinarea coeficientului global de izolare termică a clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit – G1*

Coeficientului global de izolare termică G1 este un indicator convențional al nivelului de performanță termoenergetică « *de iarnă* », al unei clădiri în ansamblul ei, sau a unei părți de clădire, distinctă din punct de vedere funcțional.

Coeficientului global de izolare termică G1 al unei clădiri sau al unei părți de clădire reprezintă pierderile orare de căldură prin transmisie prin elementele de închidere ale acesteia, pentru o diferență de temperatură de un grad între interior și exterior, raportate la volumul încălzit al acesteia (C 107/2, 2005).

Criteriul de performanță termoenergetică globală a unei clădiri cu altă destinație decât cea de locuit se verifică conform următoarei relații:

$$G1 \leq G1ref \quad [W/(m^3K)] \quad (2.76)$$

Unde:

G1 - coeficientului global de izolare termică, $[W/(m^3K)]$;

G1ref - coeficientului global de referință, $[W/(m^3K)]$;

Calculul coeficientului global de izolare termică G1, se face după următoarea relație de calcul (C 107/2, 2005):

$$G1 = \frac{1}{V} \cdot \left[\sum_j \frac{A_j \cdot \tau_j}{R'_{mj}} \right] \quad [W/(m^3K)] \quad (2.77)$$

Unde:

V - volumul încălzit al clădirii sau părții de clădire, calculat conform normativelor C107/3 și C107/1, exprimat în m^3 ;

A_j – aria elementului de construcție j, prin care se produce schimb de căldură, calculată conform normativelor C107/1, C107/3 și C107/5, exprimat în m^2 ;

τ_j – factorul de corecție a diferenței de temperatură între mediile separate de elementul de construcție j, calculată conform normativelor C107/1, C107/3 și C107/5;

R'_{mj} – rezistența termică specifică corectată medie, a elementului de construcție j, calculată conform normativelor C107/3 și C107/5, exprimată în m^2K/W ;

Valoarea limită a coeficientului global G1, denumită coeficient global de referință, G1ref, se calculează cu relația (C 107/2, 2005):

$$G1ref = \frac{1}{V} \cdot \left[\frac{A_1}{a} + \frac{A_2}{b} + \frac{A_3}{c} + d \cdot P + \frac{A_4}{e} \right] \quad [W/(m^3K)] \quad (2.78)$$

unde:

A_1 – aria suprafețelor componente opace ale pereților verticali care fac cu planul orizontal un unghi mai mare de 60°C , aflați în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, exprimată în m^2 , calculată luând în considerare dimensiunile interax;

A_2 – aria suprafețelor planșeelor de la ultimul nivel (orizontale sau care fac cu planul orizontal unghi mai mic de 60°C), aflate în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, calculată luând în considerare dimensiunile interax, exprimată în m^2 ;

A_3 – aria suprafețelor planșeelor inferioare aflate în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, calculată luând în considerare dimensiunile interax, exprimată în m^2 ;

P – perimetrul exterior al spațiului încălzit aferent clădirii, aflat în contact cu solul sau îngropat, exprimat în m;

A_4 – aria suprafețelor pereților transparenti sau translucizi aflați în contact cu exteriorul sau cu un spațiu neîncălzit, calculată luând în considerare dimensiunile nominale ale golului din perete, exprimată în m^2 ;

V - volumul încălzit al clădirii sau părții de clădire, calculat pe baza dimensiunilor interioare ale clădirii, exprimat în m^3 ;

a, b, c, d, e – coeficienți de control pentru elementele de construcție menționate mai sus, ale căror valori sunt date în tabelele de mai jos, în funcție de:

- Categoria de clădire: categoria 1 sau de categoria 2;
- Tipul de clădire;
- Zona climatică: definită conform normativului C107/3.

Tabel 17. Valorile coeficienților de control a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 1^x) pentru partea de cazare se aplică prevederile din normativ (C 107-modificat, 2010)

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m^2K/W]	b [m^2K/W]	c [m^2K/W]	d [m^2K/W]	e [m^2K/W]
Spitale, creșe și policlinici	I	1,70	4,00	2,10	1,40	0,69
	II	1,75	4,50	2,50	1,40	0,69
	III, IV	1,80	5,00	2,90	1,40	0,69
Clădiri de învățământ și pentru sport	I	1,70	4,00	2,10	1,40	0,50
	II	1,75	4,50	2,50	1,40	0,50
	III, IV	1,80	5,00	2,90	1,40	0,50

Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,60	3,50	2,10	1,40	0,50
	II	1,70	4,00	2,50	1,40	0,50
	III, IV	1,80	4,50	2,90	1,40	0,50
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	1,10	3,00	1,10	1,40	0,40
	II	1,10	3,00	1,20	1,40	0,40
	III, IV	1,10	3,00	1,30	1,40	0,40

Tabel 18. Valorile coeficienților de control a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 2^{x)} pentru partea de cazare se aplică prevederile din normativ (C 107-modificat, 2010)

Tipul de clădire	Zona climatică	a [m ² K/W]	b [m ² K/W]	c [m ² K/W]	d [m ² K/W]	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, 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, IV	1,70	5,00	2,60	1,40	0,50
Birouri, clădiri comerciale și hoteliere ^{x)}	I	1,50	3,50	2,00	1,40	0,50
	II	1,60	4,00	2,30	1,40	0,50
	III, IV	1,70	4,50	2,60	1,40	0,50
Alte clădiri (industriale cu regim normal de exploatare)	I	1,00	2,90	1,00	1,40	0,40
	II	1,00	2,90	1,10	1,40	0,40
	III, IV	1,00	2,90	1,20	1,40	0,40

Pentru clădirile la care suprafața pereților transparenți sau translucizi reprezintă cel puțin 50% din suprafața elementelor verticale de închidere, coeficientul global de referință G_{1ref} poate fi mărit cu o cantitate, ale căror valori sunt menționate în tabelul 3 din normativul C 107/2 – 2005, în funcție de categoria clădirii, de indicele solar, I_s , determinat conform anexei C și eventual de inerția termică a clădirii (determinată conform anexei B).

CAPITOLUL 3. CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC

3.1. EFICIENȚA ENERGETICĂ A UNEI CONSTRUCȚII

România colaborează activ cu Comisia European în domeniul combaterii efectelor nocive ale schimbărilor climatice. Angajamentul României este de a lucra pentru a ne putea atinge obiectivul ca în anul 2050 să reducem cu 85 - 90% din emisiile de gaze cu efect de seră. Până în anul 2015 se dorește să se obțină la nivel global un acord pentru reducerea emisiilor de dioxid de carbon, astfel încât industria să fie mai competitivă și cetățenii să se poată bucura de un aer sănătos (Capital.ro, 2013).

Clădirea eficientă energetic ar putea fi definită ca o clădire care are raportul optim dintre calitatea mediului interior dintr-o clădire și cantitatea de energie necesară pentru a obține acel mediu prin utilizarea unui management integrat al resurselor în exploatare și utilizarea unei anvelope¹ eficiente din punct de vedere termic. (Fig. 31).

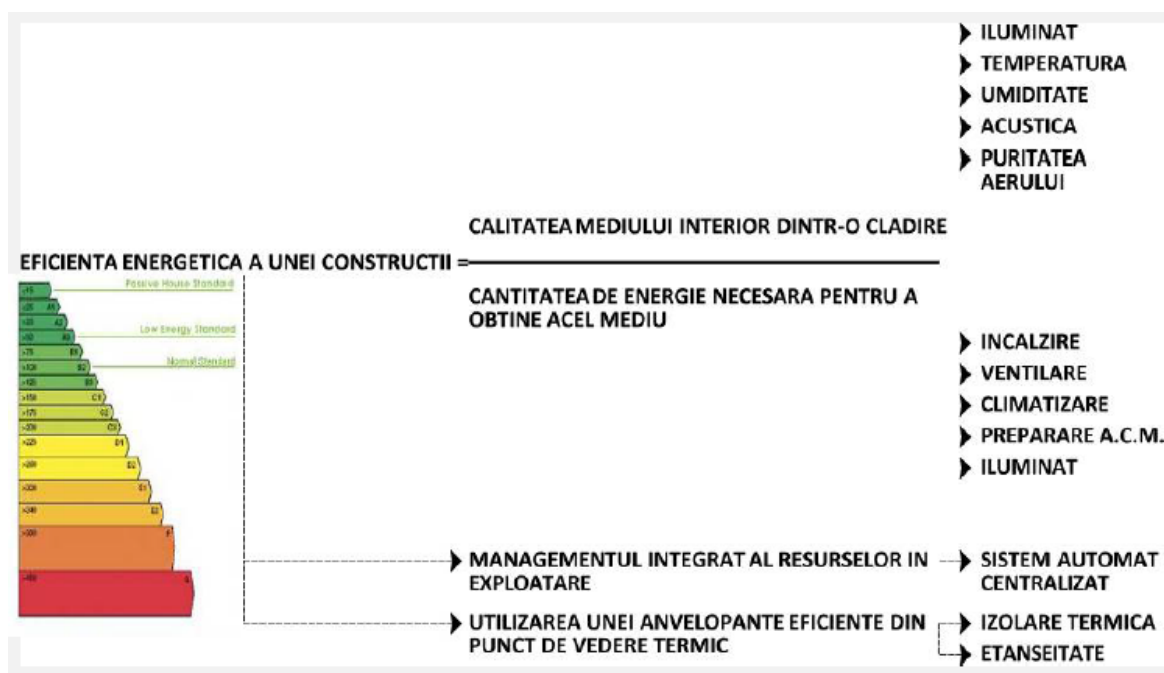


Figura 31. Definiția eficienței energetice a unei construcții (Petrea, 2012)

Utilizarea eficientă a energiei va trebui să țină cont de condițiile climatice și locale, precum și de climatul interior și de raportul cost-eficiență.

Notarea clădirilor din punct de vedere energetic este corelată cu grila de clasificare în funcție de consumul energetic specific anual, caracteristică fondului de clădiri existent.

¹ Anvelopa clădirii – înseamnă elementele integrate ale unei clădiri care separă interiorul acesteia de mediul exterior (Mc 001/3 , 2006);

Pentru toate tipurile de clădiri în România la nivelul anului 2005 s-au considerat următoarele valori ale caracteristicilor energetice enunțate în Tabelul 11.

Tabel 19. Valori ale caracteristicilor energetice (Mc 001/3 , 2006)

Caracteristici energetice	Consumul energetic specific maxim $q_{inc}^{(M)}$ [kWh/(m ² an)]	Consumul energetic specific minim $q_{inc}^{(m)}$ [kWh/(m ² an)]
Încălzirea spațiilor	500	70
Apa caldă de consum	200	15
Climatizare	300	20
Ventilare mecanică	30	5
Iluminat	120	40
Total utilități termice	1150	150

Cerințele de eficiență energetică pentru clădiri sunt o caracteristică esențială la nivel mondial.

Piața construcțiilor verzi în România crește foarte repede, iar investitorii și dezvoltatorii încep să vadă importanța construcției sustenabile. România a fost obligată să aplice directivele privind performanța energetică a clădirilor (EBPD), care necesită elaborarea auditului energetic, încă din 2007 pentru construcții noi (Ecomagazin, 2010). În acest sens au fost luate măsuri atât de către guvern cât și de către auditori energetici. În acest context România a creat un cadru legal și instituțional în conformitate cu cerințele Uniunii Europene pentru a promova eficiența energetică.

Fondul construit existent cuprinde în majoritate construcții neperformante din punct de vedere energetic, determinând degajări importante de agenți poluanți chimici și termici.

În România, pentru satisfacerea exigențelor impuse de aceste tipuri de proiecte europene este necesară implicarea tuturor specialiștilor din domeniul clădirilor (energie, construcții, arhitectură, planificare urbană, furnizori de utilități, instituții financiare, etc.) printr-o abordare integrată și unitară la nivel local și regional, dar cu impact la nivel european.

Cerințele de eficiență pentru clădiri sunt o caracteristică esențială a tuturor țărilor din cadrul G8. Germania pune cel mai mult accent pe acest aspect având cele mai avansate standarde din Uniunea Europeană și promovează casele pasive și alte tipuri de clădiri noi și eficiente energetic. Totodată la nivel european se promovează realizarea unor sisteme de eliberare a

certificatelor energetice pentru clădirii noi; cele mai avansate țări fiind Germania și Marea Britanie care deja au sisteme de certificare obligatorii.

Directiva 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului din data de 19 mai 2010 privind performanța energetică a clădirilor are ca obiectiv creșterea și respectiv îmbunătățirea performanței energetice ² a clădirilor în cadrul Uniunii, ținând cont de condițiile climatice din exterior și condițiile locale precum și de cerințele legate de climatul interior și de raportul cost eficiență, prin reducerea energiei și a emisiilor de dioxid de carbon.

Se menționează faptul că această directivă pune bazele cerințelor cu privire la (Directiva 2010/31/EU , 2010):

- Cadrul general comun pentru o metodologie de calcul al performanței energetice integrate a clădirilor și a unităților acestora;
- Aplicarea cerințelor minime în cazul performanței energetice a clădirilor noi și a noilor unități ale acestora;
- Aplicarea cerințelor minime în cazul performanței energetice a clădirilor a: clădirilor existente, unităților de clădire care sunt expuse unor lucrări importante de renovare; elementelor care fac parte din anvelopa clădirii și care au un impact semnificativ asupra performanței energetice a anvelopei clădirii atunci când sunt modernizate sau înlocuite; sistemelor tehnice ale clădirilor, ori de câte ori acestea sunt instalate, înlocuite sau îmbunătățite;
- Planurile naționale pentru creșterea numărului de clădiri al căror consum de energie este aproape egal cu zero;
- Certificarea energetică a clădirilor și a unităților ale acestora;
- Inspecția periodică a sistemelor de încălzire și de climatizare din clădiri;
- Sistemelor de control independent al certificatelor de performanță energetică.

În graficul de mai jos sunt prezentate datele cu privire la consumul total de energie pe m² în cazul clădirilor rezistențiale la nivel de Uniune Europeană, observându-se că România are un consum total de energie de 248 kWh/(m²an), clasându-se printre țările cu cele mai mari consumuri de energie (Figura 32) (ENTRANZE, 2008).

² Performanță energetică a unei clădiri – înseamnă cantitatea de energie calculată sau măsurată necesară pentru a se asigura necesarul de energie în condițiile utilizării normale a clădirii, care presupune, între altele, energia utilizată pentru încălzire, răcire, ventilare, apă caldă și iluminat.

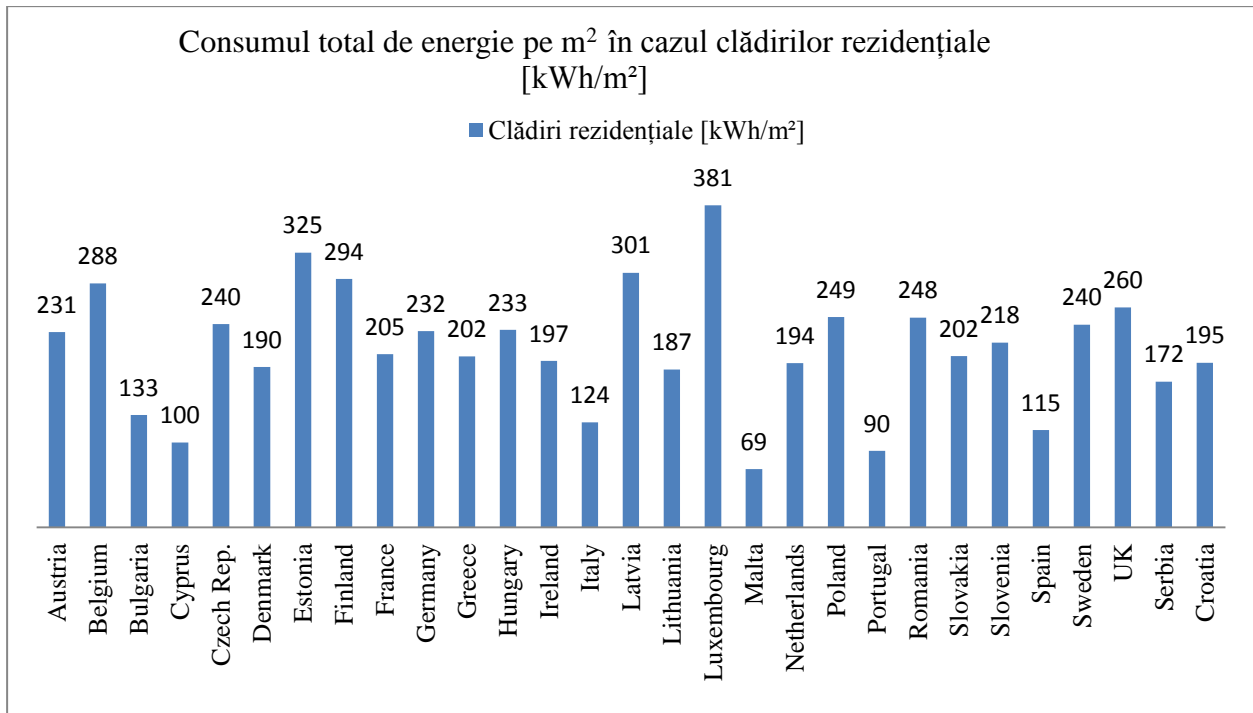


Figura 32. Consumul total de energie pe m² în cazul clădirilor rezidențiale

În Figura de mai jos (Figura 33) este prezentat consumul de energie pe diferitele sectoare de consum: electricitate, petrol, încălzire centralizată, biomasa și cărbune. În cazul României se poate observa că, consumul cel mai mare de energie este în sectorul producerii de biomasă având un procent de 42%. În ceea ce privește utilizarea energiei pentru încălzirea centralizată și utilizarea energiei pentru electricitate procentajele sunt mai scăzute și anume 15% și respectiv 11%.

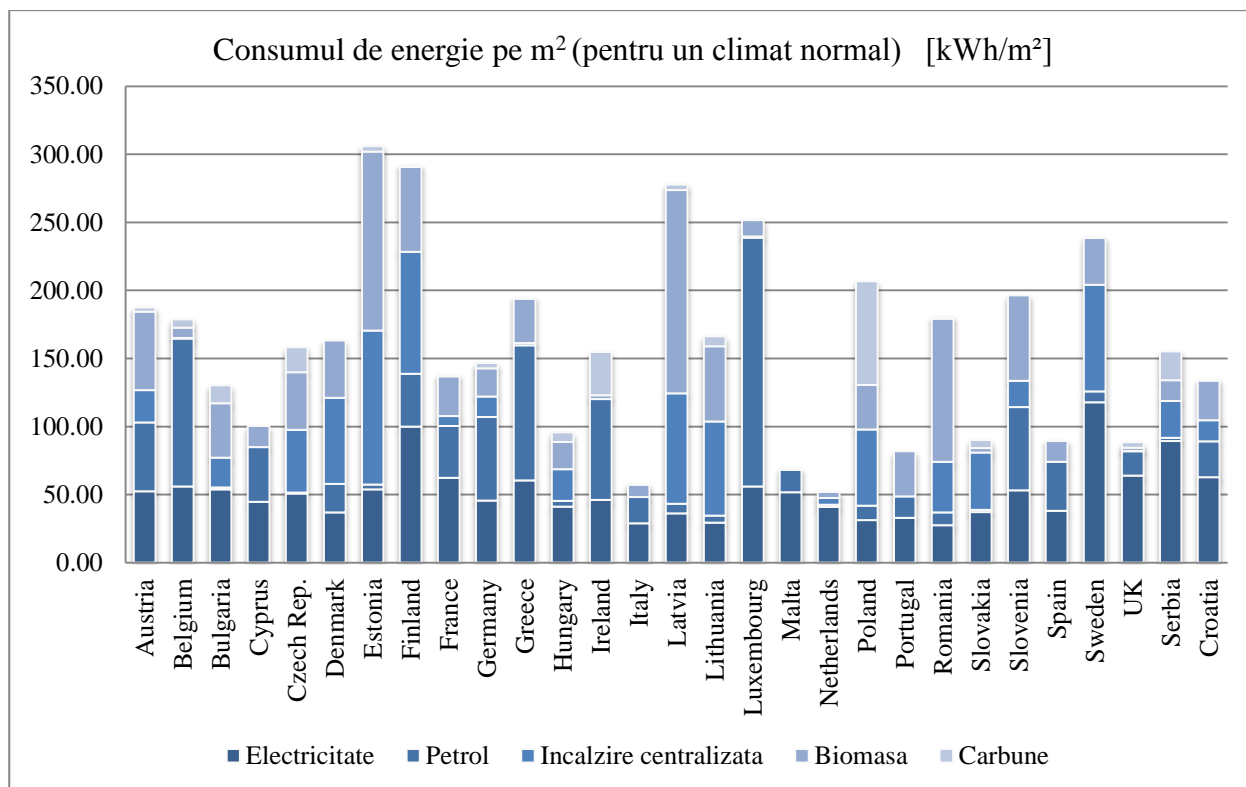


Figura 33. Consumul de energie pe m² pentru toate țările Uniunii Europene (pentru un climat normal) [kWh/(m²an)] (ENTRANZE, 2008)

Pe perioada duratei de exploatare a unei clădiri se consumă diverse forme de energie pentru a asigura: încălzirea pe timpul iernii, răcirea pe timpul verii (aer condiționat, climatizare), iluminatul, ventilarea artificială, funcționarea diverselor aparate.

În figura (Figura 34) de mai jos sunt prezentate ponderile acestor consumuri pentru o clădire rezidențială situată în România.

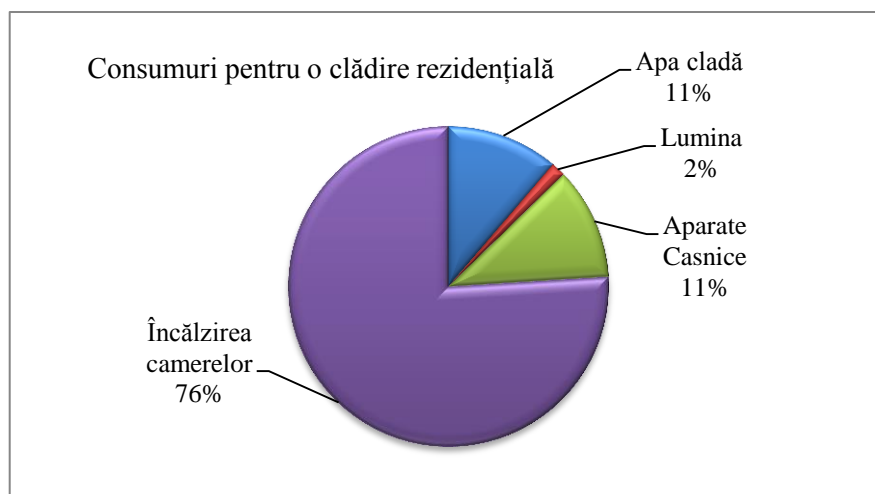


Figura 34. Consumuri pentru o clădire rezidențială din România (ISOVER, 2010)

Consumul de energie pentru încălzire este cel mai important din punct de vedere cantitativ și, în condițiile de alimentare cu căldură cele mai utilizate în România, cel mai poluant (ISOVER , 2010).

Dintre țările care au fost preocupate de reducerea consumului de energie în clădiri și au inițiat mai multe programe în acest sens, amintim:

- Germania, care inițiază Casa pasivă (Passivhaus), Casa ecologică, Casa „zero energie”;
- Marea Britanie: Zero carbon Hub;
- Olanda: Locuințe cu „zero” energie, Locuințe durabile, Ecolonia;
- Suedia: Case eficiente energetic;
- Danemarca: Green City Denmark;
- Franța: Casa economică;
- Irlanda de Nord: Locuința energetică;
- Canada: Net-Zero Energy Home, Casa EcoTerra, Casa EcoPlus, Casa pasivă cu consum Net-Zero de energie;
- SUA: Casa cu consum „zero”, Casa economic energetic, The Energy Star Building Program;
- UE: Casa UE;
- Recomandarea Organizației Națiunilor Unite (ONU): Casa eficientă energetic;
- Japonia, Australia, Rusia, India, Maroc: Casa solară, Casa cu consum „zero” de energie;
- China: Orașul-Eco;
- România până în anul 1989: Casa economică energetic (INCERC ICEMENERG). (Moga L. , Contribuții privind optimizarea termoenergetică a clădirilor noi și existente, 2009)

În urma studierii literaturii de specialitate, s-a realizat o clasificare a tipurilor de clădiri care au o performanță energetică mai bună decât clădirile standard:

- Casa pasivă;
- Casa cu consum zero de energie;
- Casa „Triplu Zero”;
- Casa cu energie pozitivă;
- ECO – construcția sau casa viitorului respectiv Clădirea verde.

Tabel 20. Necesarul anual de căldură pentru încălzire termică (Bhavin, Jayeshkumar, & Bhavnaben, 2013)

Nr. Crt.	Tipuri de clădiri	Necesar de căldură [kWh/(m²an)]
1.	Clădiri existente (în funcție și de izolație)	80 - 300
2.	Clădiri cu consum scăzut de energie	40 - 79
3.	Casa „Triplu Zero”	16 - 39
4.	Casa pasivă	Max. 15
5.	Casa cu consum zero de energie	0
6.	Casa cu energie pozitivă	(-ve)

3.2. CASA PASIVĂ

Termenul de casă pasivă provine din cuvântul „Passivhaus” din limba germană și se referă la un standard riguros în vederea obținerii unei eficiențe energetice a clădirilor și reducerea impactului asupra mediului, rezultând o clădire cu consum foarte scăzut de energie.

Cei doi membri fondatori ai standardului casei pasive sunt Bo Adamson de la Universitatea Lund din Suedia și Wolfgang Feist de la Institutul pentru locuințe și Mediu din Germania, conceptul fiind dezvoltat printr-o serie de proiecte de cercetare finanțate de statul german (Wolfgang, 2006).

În septembrie 1996 a fost fondat Institutul Passivhaus în localitatea Darmstadt din Germania având ca obiectiv implementarea și promovarea standardului atât pentru clădirii noi cât și pentru cele care necesită renovări majore. Se estimează faptul până în anul 2010 s-au construit aproximativ 25,000 de locuințe, majoritatea din ele aflându-se în Germania și Austria. Standardul este promovat atât la nivel European cât și la nivel mondial, la momentul actual există clădiri construite în sistem pasiv în toată lumea. Standardul de bază pentru proiectarea în sistem pasiv la momentul actual este considerat standardul elaborat de Institut Passivhaus. Prevederile standardului sunt utilizate în vederea obținerii eficienței energetice a clădirilor pasive și au un rol important în vederea menținerii unui echilibru între utilizarea eficientă a energiei într-o clădire, confortul termic necesar activității umane și protejarea mediului înconjurător.

Standardul a fost aplicat cu succes în Germania unde la momentul actual există cele mai multe clădiri construite în sistem pasiv. În cea ce privește continentul american, în anul 2003 se construiește prima casa unifamilială în America de Nord, în Urbana, Illinois care se află într-un climat rece, având o suprafață de 1,200 mp.



Figura 35. Casa Unifamilială. Urbana, Illinois, America de Nord, 2003

Standardul nu se limitează doar la proprietăți rezidențiale; standardul poate fi aplicat de asemenea și asupra clădirilor de birouri, școlilor, grădinițelor și a spațiilor comerciale.

Casa pasivă este caracterizată prin următoarele:

- forma compactă,
- eficientă energetic,
- anvelopa eficientă termic,
- închiderea ermetică a clădirii,
- sistem de preîncălzire pasivă a aerului proaspăt,
- sistem de ventilație cu recuperare de căldură cu randament crescut,
- sistem solar pentru apa caldă menajeră,
- electrocasnice din clasa energetică A sau superioară.

Designul casei pasive este un proces holistic de planificare și realizare. Poate fi folosit atât la schițarea clădirilor noi cât și la renovarea energetică a celor existente.

O casă pasivă este o clădire în care temperatura de confort a spațiului încălzit de aproximativ 20°C poate fi obținută fără sisteme convenționale de încălzire și răcire. Astfel de clădiri sunt denumite „pasive” pentru că o parte predominantă din căldura necesară provine din surse „pasive” de proiectare, de ex.: expunerea solară, căldura emisă de cei care sunt în cameră și elementele tehnice (Europe, 2011).

Un aport în plus de căldură poate fi distribuit în camere printr-un sistem controlat de ventilație cu recuperare de căldură. Necesarul anual pentru încălzirea unei case pasive este foarte scăzut respectiv, sub 15 kWh/(m²an). Necesarul minim poate fi asigurat prin încălzirea aerului

furnizat de sistemul de ventilație - un sistem care este necesar în orice situație. Obiectivul este de a păstra un consum total combinat de căldură, apă caldă și energie electrică sub 120 kWh/(m²an).

Testul de etanșitate (la 50Pa) a anvelopei clădirii, realizat după normele EN 13829, trebuie să indice un schimb de aer de maxim 0,6h⁻¹. (Conny , 2010)

Obținerea unui consum cât mai scăzut de energie pentru încălzirea spațiilor poate fi realizat prin aplicarea unor modalități diferite de concepere și proiectare a construcțiilor, unul dintre acestea putându-se baza pe “Pachetul de planificare a caselor pasive” (PHPP³). Pachetul de planificare Case Pasive (PHPP) este un instrument de configurare simplă pentru arhitecți și proiectanți. Acest instrument a fost utilizat pe scară largă de arhitecți și proiectanți, primind un feedback pozitiv din partea celor care l-au folosit datorită ușurinței de utilizare și a rezultatelor bune obținute.

PHPP include (passiv.de, 2013):

- Calculul soldurilor de energie pentru încălzire și răcire cererea unei clădiri;
- Proiectarea ventilării încăperii pentru asigurarea primenirii aerului și obținerea confort termic;
- Designul sarcinii termice sau a dispozitivelor de răcire;
- Venituri estimative pentru sursele regenerabile de energie și multe alte instrumente utile pentru planificarea de încredere de Case Pasive;
- Documentație pentru promovarea caselor pasive pentru mai multe programe de stat, precum și pentru obținerea de documente pentru instituții bancare (de ex. KfW Banking Group – instituție bancară aflată în Frankfurt, Germania ;
- Analiza simplificată prin Ordonanța de economisire a energiei (EnEV).

În vederea construirii unei case pasive se vor lua în considerare următoarele principii:

1. Izolare optimă a elementelor anvelopei clădirii

- a. Evitarea punților termice: geam triplu, tâmplărie specifică, aplicare continuă a materialelor $\psi \leq 0.01$ W/mK
- b. Coeficienți de transmitanță termică:
 - pentru materiale opace verticale $U < 0.15$ W/(m²K);
 - pentru suprafețe vitrate $U < 0.80$ W/(m²K).

2. Anvelopă etanșă la aer

Limitarea pierderilor prin infiltrație:

³ PHPP – provine din limba engleză a standardului – Passivehaus Planning Package

- aplicare de barieră continuă a mediului de etanșare cu atenție la punctele de contact între perete, acoperiș, sol și șarpantă;
- evaluarea prin test practic (Blowerdoor Test);
- geam triplu izolator cu sisteme de intercalare separate termic.

3. Energie solară pasivă

- asigurarea orientării optime (aport solar pasiv);
- asigurarea unei bune transmitanțe energetice a geamului;
- protecții exterioare pentru evitarea supraîncălzirii pe timp de vară, ventilație transversantă de noapte și alte sisteme pasive de ventilație.

4. Ventilație și recuperare de căldură

- ventilație mecanică controlată cu dublu flux pentru aerisire, schimbător de căldură de mare performanță;
- geotermie (puț canadian, pânză freatică).

5. Decență energetică

- aparate electrocasnice economice (clasa AA), becuri economice, aparate de ventilație cu randament mare.

6. Energii alternative

- panouri termosolare pentru apă caldă și încălzire, panouri electrovoltaice pentru electricitate,
- recuperarea apelor pluviale și a celor din baie, bucătărie și mașina de spălat.

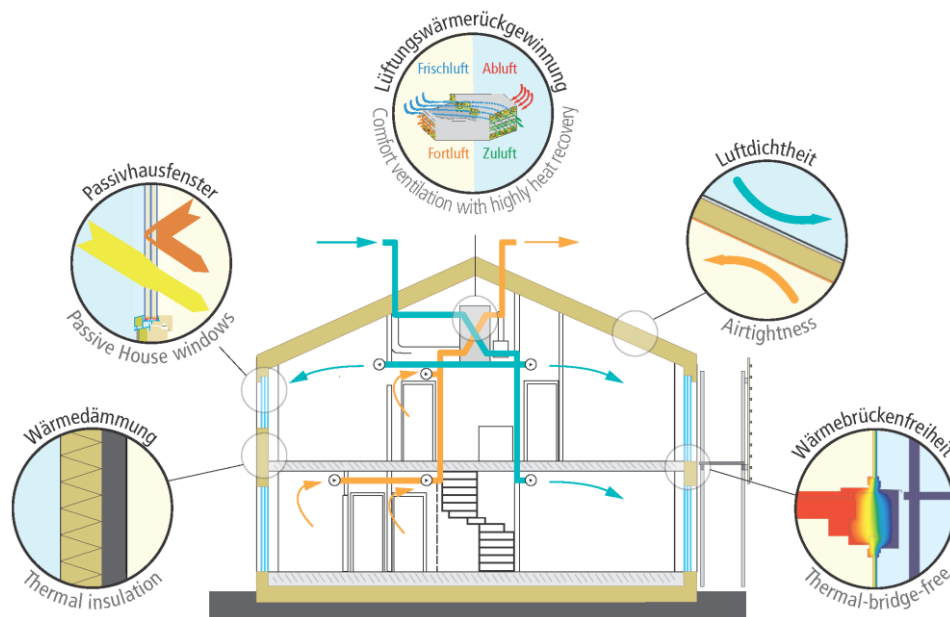


Figura 36. Principii de alcătuire ale unei case pasive (passiv.de, 2013)

La nivel european casele pasive s-au construit într-un număr destul de mare, iar dintre acestea amintim următoarele:

- Germania: Casă multi – familială, Hamburg:

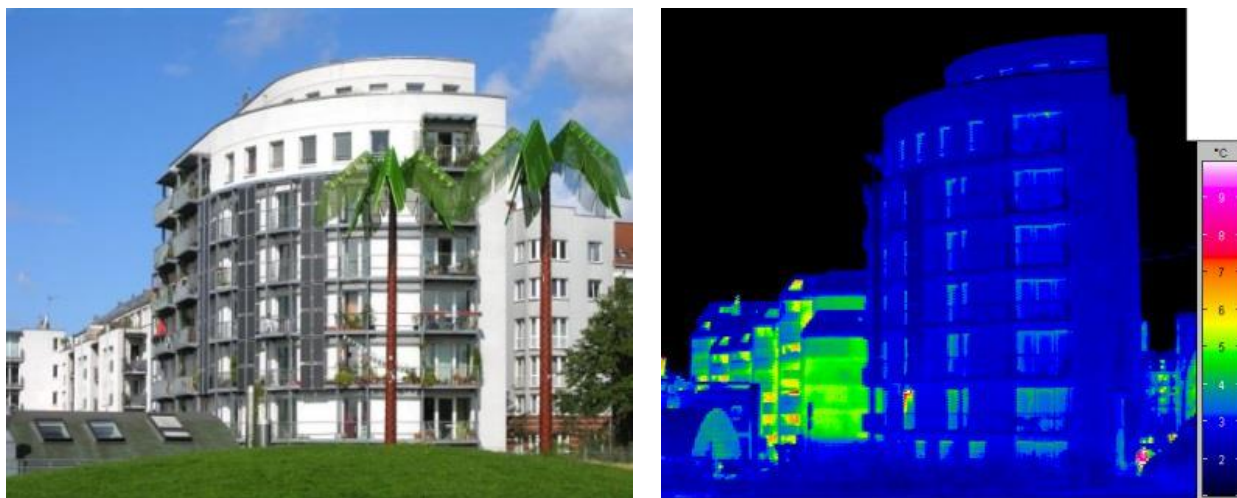


Figura 37. Casă multi – familială, Hamburg; Germania (Passivehaus Datenbank, 2013)

Tabel 21. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Germania
Regiunea	Hamburg
Orașul	Hamburg
Data finalizării construcției	2003
Tipul obiectului	Casă multi-familială
Structura clădirii	Beton
Indicatori în funcție de PHPP	
Suprafața utilă	1461 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire termică	14 kWh/ (m ² an)
Încălzire, răcire și energie electrică pentru uz casnic	96 kWh/ (m ² an)
Sarcina termică	8 W/ m ²
Etanșeitate (planificare conform PHPP)	0,11 l /h
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Beton
U-valoare perete exterior (medie)	0,126 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Beton, polistiren

U-valoare acoperiș (medie)	0,082 W/(m ² K)
Placă tavan subsol / podea (structura)	Beton / Termocrete / polistiren
U-valoare de subsol tavan / placa de podea(medie)	0,152 W/(m ² K)
Ferestre / usi / sisteme de umbrire	
U _g valoarea pentru geam	0,7 W/(m ² K)
g valoare pentru geam	50
U _w valoarea pentru fereastra montată (medie)	0,81 W/(m ² K)
U _d valoarea pentru usa de intrare	0 W/(m ² K)

- Austria: Locuință individuală unifamilială, Kärnten - clădire cu consum foarte redus de energie ($\leq 25\text{kWh/m}^2$ necesar pentru încălzire):



Figura 38. Locuință individuală unifamilială, Kärnten; Austria

Tabel 22. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Austria
Regiunea	Kärnten
Orașul	Schiefling am See
Data finalizării construcției	2004
Tipul obiectului	Locuință individuală unifamilială
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție din lemn
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	130 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	14 kWh/ (m ² an)

Sarcina termică	11,3 W/ m ²
Etanșeitate (planificare conform PHPP)	0,3 l /h
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Grosime totală: 47 cm
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,09 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Grosime totală: 55 cm
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,082 W/(m ² K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 52 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m ² K)
Ferestre / usi / sisteme de umbrire	
Factor solar - U _g	0,5 W/(m ² K)
U _w valoarea intalata (medie) pentru toate ferestrele	0,71 W/(m ² K)
Costuri pentru structura clădirii	1900 €/m ²

- Belgia: Centru sportiv și de recreere, Gent:



Figura 39. Centru sportiv și de recreere, Gent; Belgia

Tabel 23. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Belgia
Regiunea	Oost-Vlaanderen
Orașul	Gent
Data finalizării construcției	2008

Tipul obiectului	Centru sportiv
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție din lemn
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	1086 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	15 kWh/ (m ² an)
Etașeitate (planificare conform PHPP)	0,6 h ⁻¹
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Grosime totală: 35 cm
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,12 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Grosime totală: 25 cm
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,12 W/(m ² K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 16 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,15 W/(m ² K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U _g	0,6 W/(m ² K)
U _w valoarea intalata (medie) pentru toate ferestrele	0,8 W/(m ² K)

- Elveția: locuință individuală unifamilială, Kriessern



Figura 40. Locuință individuală unifamilială, Kriessern

Tabel 24. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Belgia
Regiunea	St. Gallen

Orașul	Kriessern
Data finalizării construcției	2005
Tipul obiectului	Locuință individuală unifamilială
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție din lemn
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	263 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	11 kWh/ (m ² an)
Etanșeitate (planificare conform PHPP)	0,2 h ⁻¹
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Grosime totală: 25cm
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Grosime totală: 25 cm
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m ² K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 16 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,15 W/(m ² K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U _g	0,5 W/(m ² K)
U _w valoarea intalata (medie) pentru toate ferestrele	0,76 W/(m ² K)

- Suedia: Locuință individuală unifamilială, Laholm, casă cu consum foarte redus de energie, clădire nouă, ($\leq 25\text{kWh/m}^2$ necesar pentru încălzire):



Figura 41. Locuință individuală unifamilială, Laholm

Tabel 25. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Belgia
Regiunea	Zon III
Orașul	Kriessern
Data finalizării construcției	2010
Tipul obiectului	Locuință individuală unifamilială
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție de zidărie
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	127 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	25 kWh/ (m ² an)
Necesarul de energie primară totală: (apă caldă de consum, încălzire, răcire, energie electrică suplimentară și electrocasnică)	80 kWh/ (m ² an)
Sarcina termică	12 W/m ²
Etașeitate (planificare conform PHPP)	0,4 h ⁻¹
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Panouri structurale izolate
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,08 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Panouri structurale izolate
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,07 W/(m ² K)
Placă peste subsol	-
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m ² K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U _g	0,8 W/(m ² K)

- România: Locuință individuală unifamilială, Cluj-Napoca, casă cu consum foarte redus de energie, clădire nouă, ($\leq 25\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ an})$ necesar pentru încălzire):



Figura 42. Locuință individuală unifamilială, Cluj-Napoca, România

Tabel 26. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	România
Regiunea	Cluj
Orașul	Cluj - Napoca
Data finalizării construcției	2008
Tipul obiectului	Locuință individuală unifamilială
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție mixtă
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	260,3 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	13,3 kWh/(m ² an)
Necesarul de energie primară totală: (apă caldă de consum, încălzire, răcire, energie electrică suplimentară și electrocasnică)	59 kWh/(m ² an)
Sarcina termică	9 W/m ²
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	50 mm Neopor + 150 mm beton armat + 200 mm izolație termică
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,11 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	Tip terasă
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,07 W/(m ² K)
Ferestre / uși / sisteme de umbră	
Factor solar - U _g	0,71 W/(m ² K)

Valoare instalată – U_w	0,8 W/(m ² K)
Valoare usa de la intraree – U_d	0,61 W/(m ² K)

- Statele Unite ale Americii: Locuință individuală unifamilială, Wisconsin.



Figura 43. Locuință individuală unifamilială, Wisconsin; SUA (passivhausprojekte.de, 2013)

Tabel 27. Caracteristicile clădirii

Date de bază	
Țara	Statele Unite ale Americii
Regiunea	Wisconsin
Orașul	Hudson
Data finalizării construcției	2010
Tipul obiectului	Locuință individuală unifamilială
Structura clădirii	Construcție nouă. Construcție mixtă
Indicatori în funcție de PHPP	
Metoda de verificare Casa Pasiva	PHPP - Passive House Planning Package
Suprafața utilă	165 m ²
Necesarul anual de căldură pentru încălzire	12 kWh/ (m ² an)
Sarcina termică	18 W/ m ²
Etanșitate (planificare conform PHPP)	0,25 l /h
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Grosime totală: 35 cm
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,083 W/(m ² K)
Acoperiș (structura)	-
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,6 W/(m ² K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 30 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,097 W/(m ² K)

Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U_g	0,64 W/(m ² K)
Valoarea – U_w pentru uși	0,62 W/(m ² K)

În urma analizei costurilor necesare pentru realizarea caselor în sistem pasiv se poate menționa faptul că acestea nu au un cost mult mai ridicat față de costul realizării unei case în stil standard situându-se într-un procent de la 3 până la 10%.

Cu toate că casele construite în sistem pasiv pot costa mai mult față de cele standard, trebuie avut în vedere faptul că aceste costuri se amortizează în timpul exploatarei, facturile de energie având sume considerabil mai mici. O casă pasivă tipică va salva între 15-25 % din energia necesară încălzii unei case standard (Tabelul 20) (Institut, 2006).

Tabel 28. Necesarul de energie necesar încălzii și respectiv răcirii caselor noi construite conform cerințelor minimale ale standardelor în vigoare și conform standardului casei pasive -Passivehaus (Institut, 2006)

Țara	Necesarul de energie necesar încălzire		Necesarul de energie necesar răcirii	
	Casa tandard	Casa Pasivă	Casa standard	Casa Pasivă
	[kWh/(m ² an)]	[kWh/(m ² an)]	[kWh/(m ² an)]	[kWh/(m ² an)]
Germania	90	15	0	0
Italia	183	10,5	4,63	3
Franța	69,6	17,4	n/a	5
UK	59	8,7	23,1	7,9
Spania	59	15	0	0

La nivel planetar, jumătate din emisiile de CO₂ – sunt produse prin încălzirea, iluminarea și răcirea clădirilor. Energia folosită pentru producerea materialelor de construcție, precum și construirea, reabilitarea/ consolidarea sau modernizarea clădirilor generează de asemenea CO₂, cantitatea de emisii rezultată fiind dependentă de tipul și cantitatea combustibilului utilizat.

Având în vedere cele menționate mai sus, se poate spune că realizarea de case pasive aduc un avantaj în reducerea de emisii de CO₂ prin utilizarea eficientă a energiei. Reducerea de emisii de CO₂ la nivel național depinde în mare parte și de numărul de case pasive realizate pentru fiecare țară în parte (Loes, Isolda, & Chiel, 2006).

3.3. CLĂDIRI CU CONSUM DE ENERGIE APROAPE EGAL CU ZERO

3.3.1. Generalități

În literatura existentă conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” este descris printr-o multitudine de expresii matematice și abordat din mai multe puncte de vedere. Faptul că nu există o definiție general agreată este deja dezbătut la un nivel internațional (Josef, 2011).

Având în vedere stadiul actual cu privire la utilizarea cât mai eficientă a energiei, în Directiva 2010/31/EU a Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică, se menționează că în cazul clădirilor noi, pentru care recepția la terminarea lucrărilor se efectuează începând cu 31 decembrie 2020, toate clădirile noi vor fi clădiri al căror consum de energie din surse convenționale este aproape egal cu zero. (Legea performanței energetice a clădirilor nr. 372/2005*), republicată la 23 iulie 2013, 2013).

În conformitate cu articolul 2 punctul (2) din EPBD al Comisiei Europene, o clădire al cărei consum de energie este aproape egal de zero „înseamnă o clădire cu o performanță energetică foarte ridicată, stabilită în conformitate cu anexa I. Necesarul de energie aproape egal cu zero sau foarte scăzut ar trebui să fie acoperit, într-o foarte mare măsură, cu energie din surse regenerabile, inclusiv cu energie din surse regenerabile produsă la fața locului sau în apropiere” (Comisia Europeană, 2013).

Nivelul necesarului de energie pentru clădirile al căror consum de energie din surse convenționale este aproape egal cu zero, inclusiv cel asigurat din surse regenerabile, se stabilește prin reglementări tehnice, diferențiat pe zone cu potențial de energie din surse regenerabile, și se actualizează periodic, în funcție de progresul tehnic.

Autoritatea națională care se ocupă cu creșterea performanței energetice și care va iniția planuri naționale de creștere a numărului de clădiri al căror consum de energie din surse convenționale este aproape de zero, este Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice. Planurile naționale prevăzute se inițiază pe baza planurilor locale de măsuri prioritare, elaborate de către autoritățile administrației publice locale și transmise anual Ministerului Dezvoltării Regionale și Administrației Publice.

Conceptul de “clădire cu consum de energie aproape zero” a câștigat o amplă atenție în ultimii ani și în prezent este văzută ca un important factor de luat în considerare în realizarea clădirilor noi. De asemenea conceptul ”Clădire cu consum de energie aproape zero” provine din limba engleză, fiind cunoscut sub diferite forme: ”zero net energy (ZNE) building”, ”net-zero energy building (nZEB)” sau ”net zero building ” și este o clădire cu consum de energie zero și zero emisii de carbon pe an (Zero-energy building, 2010).

Cele mai multe clădiri de energie aproape zero, utilizează rețeaua electrică de stocare a energiei, dar unele sunt independente de rețea.

Totuși înainte ca acest concept să fie introdus în standardele naționale și internaționale, acesta necesită o definiție clară și o metodă de calcul agreată de majoritatea specialiștilor în domeniu.

Cele mai importante aspecte care trebuie avute în vedere sunt:

1. *Definierea echilibrului energetic.* Unitatea de măsură aplicată pentru “echilibru energetic zero” poate fi influențată de un număr de factori; prin urmare în definiția metodologiei de calcul pot fi folosiți mai mulți factori. Ca de exemplu: energia primară, emisiile echivalente de CO₂, energia, costul energiei sau al altor parametri definiți de standardele naționale energetice.

2. *Perioada echilibrului energetic.* Perioada de timp în care se realizează calculul clădirii, poate varia foarte mult. Poate fi un ciclu complet al durabilității unei clădiri sau durată de exploatare a unei clădiri (50 de ani).

3. *Tipul de energie folosită inclusă în echilibru*

4. *Tipul energiei în balanța energetică.* Problema este punerea în rețea a acestor tipuri de clădiri, pentru că aici avem două potențiale balanțe între: (1) energia consumată și energia regenerabilă generată sau (2) energia care este utilizată pentru clădire și energia menționată pe rețea. Prima balanță este aplicabilă în faza de proiectare a clădirii pe când a doua balanță pe durata de monitorizare a clădirii.

5. *Sursele regenerabile de energie acceptate.* Sursele de alimentare pot fi disponibile la fața locului (vânt, soare..), fie necesită transport la fața locului (biomasă). Astfel există 2 surse de alimentare cu energie regenerabilă: alimentare cu surse de energie disponibile la fața locului și care necesită transport la fața locului.

5. *Conexiunea cu infrastructura energiei și*

6. *Cerințele de eficiență termică*

3.3.2. *Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel internațional*

Conceptul este larg dezbătut de către cercetătorii la nivel internațional începând din anul 2008. Dintre țările participante la dezvoltarea programului de cercetare ”Clădiri solare cu consum de energie aproape zero” sunt următoarele: Australia, Austria, Canada, Danemarca, Finlanda, Franța, Portugalia, Germania, Italia, Coreea, Noua Zeelandă, Norvegia, Portugalia, Singapore, Spania, Suedia, Elveția, Marea Britanie și Statele Unite ale Americii, fiecare țară având activități specifice realizării unor cerințe din proiect.

Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” nu mai este de mult timp perceput ca și un concept de viitor ci ca și o reală soluție pentru atenuarea emisiilor de CO₂ sau diminuarea energiei consumate în sectorul clădirilor de locuințe. Numărul crescut de proiecte și cercetări științifice asupra acestei teme relevă importanța dată acestui subiect. Propunerile ca acest concept să fie implementat sunt disputate la nivel internațional. Ex.: în SUA Energy Independence and security Act 2007(EISA 2007) și în Europa prin reformularea directivei privind performanța energetică a clădirilor adoptată în anul 2010.

EISA autorizează “inițiativa cu privire asupra clădirilor comerciale” care își are ca obiectiv aplicarea conceptului de “Clădire cu consum de energie Zero” asupra tuturor clădirilor de acest fel care sunt noi construite în SUA până în anul 2030. Aceasta își propune ca acest concept să cuprindă până în anul 2040, 50 % din clădirile comerciale cuprinzând toate clădirile de acest fel până în anul 2050. (Torcellini, Pless, & Deru, 2006)

În ciuda faptului ca acest subiect este dezbătut cu mare interes, înainte ca acest concept să fie implementat în standardele naționale și internaționale, trebuie luate în considerare două mari provocări: stabilirea unei definiții clare care ar fi general agreeată și dezvoltarea unei metode de calcul privind balanța energetică (Marszal, et al., 2010).

În literatura existentă conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” este descris printr-o multitudine de expresii matematice și abordat din mai multe puncte de vedere. Necesitatea găsirii unei metodologii de calcul a atras atenția odată cu creșterea numărului de proiecte privind acest concept și deci a interesului asupra metodei de calcul al “consumului zero de energie consumată”. Deși în unele țări acest concept a fost deja introdus în normativele naționale în prezent nu există o metodă de calcul standardizată, marea majoritate a metodelor de calcul au fost propuse punctual pentru fiecare caz tratat.

Clădirea cu consum de energie zero este un concept complex asupra căruia s-au dezvoltat câteva abordări care reflectă anumite aspecte ale sale. În plus, calculul echilibrului energetic a clădirii echipată cu sisteme regenerabile de energie care să îndeplinească obiectivul "zero energie consumată" fără o metodă standardizată de calcul nu este o sarcină ușoară.

Există unele metode de evaluare într-un mediu controlat LEED sau BREEAM, totuși scopul lor nu se rezumă doar la clădirile cu consum de energie zero, ele referindu-se la un domeniu mai vast.

În literatura de specialitate se discută o definiție a conceptului caselor cu energie aproape zero și de asemenea a metodologiilor de calcul. În lucrarea ”Zero Energy Building (ZEB) - a review of definitions and calculation methodologies” autorii fac o clasificare atât a metodologiilor de calcul propuse de cercetătorii care au participat la IEA SHC Task 40/ ECBS

Anexa 52 “Clădire alimentată cu energie solară cu consum de energie aproape de zero”, acestea fiind într-un număr de 12 metode. Este de remarcat faptul că aceste calcule colectate în cadrul AIE SHC TASK 40/ECBCS Anexa 52 sunt doar niște propuneri care nu își au la bază surse publicate (Marszal, et al., 2010).

Torcellini indică faptul că unitatea de măsură folosită în definirea caselor cu energie aproape zero poate fi influențată de (1) obiectivul proiectului, (2) intențiile investitorului, (3) aspectului climatic și a emisiilor de gaze cu efect de sera și (4) a costurilor pentru energie. Prin urmare propune patru definiții diferite care iau în considerare ,emisiile, costurile, sursa și situația de la fața locului (Marszal, et al., 2010).

Tabelul următor preluat din lucrarea scrisă de Marszal (Marszal, et al., 2010), oferă o prezentare generală a celor mai importante caracteristici ale fiecărei metodologii cu privire asupra sistemului metric, perioadei și tipului de echilibru, tipuri de utilizare a energiei incluse, cu diverse tipuri de alimentare regenerabile.

Tabel 29. Metodologii cu privire asupra sistemului metric, perioadei și tipului de echilibru, tipuri de utilizare a energiei incluse, cu diverse tipuri de alimentare regenerabile (Marszal, et al., 2010)

de Tipuri metodologii	Măsurarea echilibrului energetic zero				Perioada echilibrului energetic		Tipuri de energii utilizate			Opțiuni de alimentare cu energie din surse regenerabile		
	Energie produsă	Energie primară	Emisii CO ₂	Costul energiei	Anual	Lunar	Energ. de operare	Energ. totală	Energ. casei	pe supraf. casei	la fața locului	cu transport
1		x			x			x		x	x	
2		x			x			x		x	x	
3		x			x			x		x	x	
4	x	x	x	x	x			x		x	x	x
5	x	x	x	x	x			x		x	x	x
6	x					x	x			x	x	
7	x	x	x		x			x		x	x	x
8		x			x			x		x	x	
9	x				x			x		x	x	x
10		x			x		x			nedefinită		
11		x			x				x	x	x	
12		x			x				x	nedefinită		

În tabelul de mai sus sunt prezentate cele 12 tipuri de metodologii menționate în lucrarea ”Zero Energy Building – O trecere în revistă a definițiilor și a metodologiilor de calcul” propuse de către cercetători prin două proiecte de cercetare IEA SHC Task/ECBS Anexa 52 și Metodologia 12 propusă de doi cercetători de la Universitatea din Dublin.

Kilkis susține că definirea echilibrului în (nZEB⁴) ar trebui să se adreseze atât cantității cât și calității energiei asta pentru a putea analiza impactul complet al clădirii asupra mediului. Prin urmare, el propune o nouă definiție pentru termenul de (nZEB), mai exact o “clădire de energie zero “ și o definește ca "o clădire în care transferul anual total de energie este zero chiar dacă se ține cont de existența transferului electric sau orice alt transfer care are loc într-o anumită perioadă de timp (Kilkis, 2007).

Deși conceptul este simplu, există mai multe posibilități prin care o casă ar putea atinge nivelul ”zero” de energie necesară. Laboratorul Național pentru Energii Regenerabile (NREL) și Departamentul de Energie al SUA (DOE), definesc acest concept prin patru definiții (Clay & Anne, 2009):

1. Net – zero site energy – O clădire care produce energie regenerabilă cel puțin echivalentă energiei neregenerabile utilizată, bilanțul se face pe casa.
2. Net-zero source energy - O clădire care produce anual cel puțin energia care o consumă în așa fel încât bilanțul anual măsurat de distribuitorul de energie să fie pozitiv.
3. Net-zero energy costs – o clădire care produce cantitatea de energie pentru a fi echivalată cu energia consumată fără ca proprietarul să mai plătească distribuitorul de energie.
4. Net-zero energy emissions – o clădire care produce și compensează cel puțin la fel de multă cantitate de energie cu emisii zero cât distribuitorul de energie produce emisii poluante anual.

Dintre cele mai cunoscute construcții certificate ca fiind clădiri cu consum de energie zero se amintesc următoarele:

- Centrul de Tehnologie a Mediului de la Universitatea de Stat Sonoma, Statele Unite ale Americii:

Centrul de Tehnologie a Mediului (CTM) este o clădire de cca. 204 mp care adăpostește săli de cursuri și laboratoare realizate cu ajutorul Fundației Naționale de Știință, Comisia Californiană de Energie în scopul dezvoltării unei construcții sustenabile. Arhitectura Centrului de Tehnologie a Mediului a fost în așa fel concepută pentru a utiliza cu 80% mai puțină energie decât clădirile realizate conform standardului Californian Title 24.

⁴ nZEB - Net Zero Energy Building

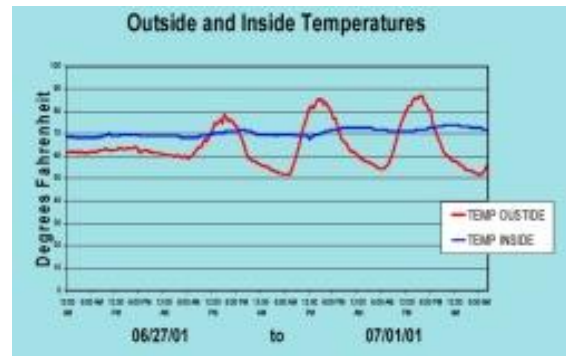


Figura 44. Centrul de Tehnologie a Mediului de la Universitatea de Stat Sonoma, Statele Unite ale Americii

Această clădire se clasifică printre clădirile cu consum de energie aproape zero deoarece:

- Site ZEB: CTM produce toată electricitatea de care are nevoie cu ajutorul sistemelor fotovoltaice aflate la fața locului. Sunt utilizate orice gaze naturale pentru încălzirea apei calde menajeră iar pentru căldura radiantă este generată tot de panouri fotovoltaice care se află în afara locului.
- Surse ZEB: CTM este considerată o sursă ZEB pentru că energia generată la fața locului de către panourile fotovoltaice este mai mare decât energia preluată și utilizată de la un distribuitor de energie.
- Emisiile ZEB: CTM compensează orice emisii pentru care este responsabil, prin sistemul său de PV, care produce energie electrică cu emisii zero.

- Centrul de Energie Gateway din Hawaii:



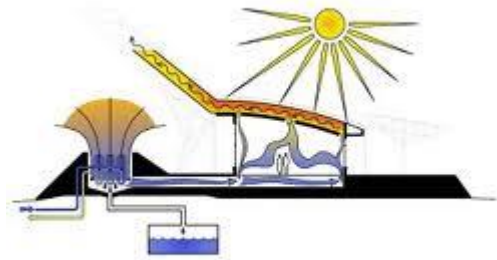


Figura 45. Centrul de Energie Gateway din Hawaii (ENERGY, 2008)

- Centrul de Energie Gateway din Hawaii este un centru științific de studiere a atât a energiei și a altor domenii tehnologice având o suprafață de 334 mp.
Această clădire se clasifică printre clădirile cu consum de energie aproape zero deoarece:
 - Site ZEB: Sistemele fotovoltaice aflate pe acoperișul clădirii produc toată energia necesară pentru clădire, inclusiv energia necesară răcirii pompelor.
 - Surse ZEB: CEGH este considerată o sursă ZEB pentru că energia generată la fața locului de către panourile fotovoltaice este mai mare decât energia preluată și utilizată de la un distribuitor de energie.
 - Emisiile ZEB: CEGH compensează orice emisii pentru care este responsabil, prin sistemul său de PV, care produce energie electrică cu emisii zero.

3.3.3. Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel național

La nivel național s-a realizat un studiu intitulat ”Implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (NZEB) în România”, care pornește de la de la rezultatele unui studiu BPIE anterior „Principii pentru clădiri cu consum de energie aproape zero și evaluează, prin intermediul unor simulări orientative, modul în care aceste principii sunt relevante în contextul situației actuale din România.

Acest studiu realizat de Institutul European pentru Performanța Energetică a Clădirilor în colaborare cu INCĐ URBAN-INCERC – Sucursala INCERC București, Secția Performanțe energetice ale construcțiilor durabile, România. Scopul acestuia a fost de a realiza o definiție a conceptului de casă cu consum de energie aproape zero și de a realiza o foia de parcurs pentru implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero.

Proiectul a debutat cu analiza fondului de clădiri din România, a practicilor din domeniul construcțiilor, a costurilor pentru materiale și echipamente, a legislației existente și a măsurilor suport. Pe baza acestei analize s-au definit clădiri de referință noi (conform practicilor actuale) pentru următoarele tipuri de clădiri:

- Clădiri de locuit individuale (case unifamiliale),
- Clădiri de locuit colective (blocuri multifamiliale),
- Clădiri de birouri.

Clădirile de locuit individuale și cele colective reprezintă aproximativ 95% din fondul de clădiri de locuit din România. Clădirile de birouri reprezintă în jur de 13% din fondul de clădiri nerezidențiale, însă au înregistrat o rată de construire ridicată în ultimul deceniu.

Cele trei tipuri de clădiri considerate reprezintă împreună 87% din fondul de clădiri din România, motiv pentru care eșantionul poate fi considerat reprezentativ.

Pe suportul acestor tipuri de clădiri s-au realizat o serie de simulări, utilizând variante îmbunătățite de izolare termică și instalații de încălzire, răcire, ventilare și apă caldă de consum. Pentru a echilibra balanța dintre emisiile de CO₂ și contribuția de energie din surse regenerabile, a fost luată în considerare compensarea prin sisteme fotovoltaice (PV). Aceste simulări au fost evaluate luându-se în considerare principiile nZEB. În plus, au fost analizate implicațiile financiare și economice ale fiecărei opțiuni nZEB pentru a se determina soluția optimizată ținând seama de condițiile specifice naționale.

Limitele sugerate în tabelul de mai jos pentru definirea nZEB în România sunt ambițioase, dar accesibile având în vedere faptul că multe dintre soluțiile evaluate în acest studiu prezintă costuri adiționale specifice actualizate de sub 5 Euro/(m²an).

Tabel 30. Definiții nZEB propuse pentru România (Atanasiu & Petran, 2012)

Categoría clădirii	Cerințe minime	Anul		
		2016	2019	2020
Clădiri individuale	Energie primară [kWh/(m ² an)]	100		30-50
	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO ₂ [kgCO ₂ /(m ² an)]	<10		<3-7
Clădiri colective	Energie primară [kWh/(m ² an)]	70		30-50
	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO ₂ [kgCO ₂ /(m ² an)]	<10		<3-7
Clădiri de birouri	Energie primară [kWh/(m ² an)]	100		40-60

	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO ₂ [kgCO ₂ /(m ² an)]	<13		<5-8
Clădiri ale administrației publice	Energie primară [kWh/(m ² an)]	100	40-60	
	Pondere regenerabile [%]	>20	>50	
	Emisii CO ₂ [kgCO ₂ /(m ² an)]	<13	<5	

Pentru a sprijini acest efort național, studiul prezentat mai sus propune mai multe etape de parcurs în vederea implementării nZEB până în anul 2020, care ține seama de măsuri necesare la nivel politic, la nivelul reglementărilor tehnice în construcții, al capacității administrative, al certificării performanței energetice, al calificării forței de muncă, al informării publicului și al cercetării (Atanasiu & Petran, 2012).

În anul 2012 se construiește prima casă cu consum zero energie la noi în țară. O construcție din lemn lamelar încleiat realizată în arhitectura post&beam ce respectă principiile caselor active. Casa este în așa fel realizată încât să reducă pierderile de energie și a transferului de energie.

- În Ploiești, România: Casă izolată sau semi – detașată – Soleta zeroenergy ONE



Figura 46. Soleta zeroenergy ONE (Construction21.eu, 2012)

Sistemele utilizate pentru producerea și stocarea energiei:

- sistemul de încălzire: pompă de căldură, pompă de căldură geotermală, încălzire în pardoseală la temperatură joasă, ventilo-convector, solar thermal;
- apă caldă: pompă de căldură, panou solar termic, alte sisteme de preparare a apei calde menajere;
- sistemul de răcire: Sisteme VRV (Volum Refringerent Variabil);
- sistemul de ventilație: răcire liberă;

- sisteme de conversie a energiilor regenerabile: panou solar fotovoltaic, panou solar termic, boiler lemne, pompe geotermale de pânză freatică, pompe geotermale de puț adânc, răcitor solar cu absorbție, microcentrale eoliene;

Conform certificatului de performanță energetică, clădirea se încadrează în clasa energetică A, având un consum anual specific de energie de 124,62 [kWh/ m²an] și indicele de emisii echivalent CO₂ de 69,98 [kgCO₂/ m²an].

3.4. CLĂDIRILE VERZI

Clădirile verzi – Eco-clădirile sau clădirile sustenabile sunt clădiri care se referă la o structură construită și utilizată într-un mod responsabil față de mediul înconjurător, pe tot parcursul ciclului de viață a acestora, începând de la faza de proiectare, construcție, exploatare, întreținere, renovare și modelare.

Aceste case pe lângă faptul că sunt eficiente din punct de vedere energetic se încadrează în peisaj, au forme inspirate din natură, sunt construite din materiale ecologice și folosesc surse regenerabile de energie (energie solară - panouri solare, energie geotermală sau energie eoliană).

O casă ecologică nu înseamnă doar o casă din lemn sau o casă pasivă. Deși definițiile acestora sunt asemănătoare, diferențele sunt multiple. În primul rând, o casă ecologică este o casă care nu prezintă pierderi termice importante, deoarece este foarte bine izolată. Apoi aproape totul este reciclabil (apa de la toaletă provine din apa de ploaie), inclusiv materialele din care este realizată putând fi reciclabile. (Clădire verde, 2010)

Realizarea clădirilor verzi a devenit o practică foarte cunoscută la nivel internațional, dezvoltându-se măsuri legislative, standarde și certificări specifice fiecărei țări.

La nivel internațional există două standarde importante care reglementează și clasifică clădirile verzi: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) dezvoltat de Consiliul Statelor Unite pentru clădiri verzi și BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) care a fost lansat în anul 1990 de către BRE⁵.

Înafara standardelor enumerate mai sus, dintre instrumentele de certificare a caselor verzi aplicabile și în alte țări amintim următoarele (Green Building, 2013):

- Canada: LEED Canada; Green Globes; Built Green Canada;
- Franța: HQE – Haute Qualite Environnementale;

⁵ BRE – Building Research Establishment, societate care se ocupă în dezvoltarea și proiectarea sustenabilă a construcțiilor prin utilizarea eficientă și cu impact redus asupra mediului înconjurător a materialelor de construcții și a energiei, <http://www.bre.co.uk>

- Germania: DGNB; CEPHEUS;
- Hong Kong – BEAM Plus;
- Statele Unite ale Americii: LEED, Living Building Challenge, Green Globes, Build it Green, NAHB, NGBS, International Green Constructio Code (IGCC), Energy Star;
- Marea Britanie: BREEAM;
- Elveția: Minergie.

La nivel național Legea 372/2005 este principalul act normativ în domeniul eficienței energetice pentru clădiri, a intrat în vigoare la data de 1 Ianuarie 2007. Aceasta a suferit modificari, astfel încât să cuprindă și noutățile aduse de Directiva nr. 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor (așa-zisa EPBD recast).

În capitolul 1 al tezei de doctorat sunt descrise mai pe larg standardele și reglementările în vigoare.

La nivel național s-a înființat o asociație intitulată Consiliul Român pentru Clădiri Verzi, care se ocupă de promovarea pieței și implementarea unei generații de clădiri verzi. Dintre obiectivele acestuia menționăm următoarele:

- facilitarea accesului la cele mai moderne programe de training pentru crearea unui grup de experți în domeniul caselor verzi;
- dezvoltarea unui set adecvat de măsuri legislative care să promoveze construcțiile sustenabile și să asigure o rată a rentabilității atractivă;
- dezvoltarea și implementarea unui sistem național de standarde și certificări pentru clădirile verzi;
- susține dezvoltarea industriei construcțiilor verzi în efortul de a poziționa România ca un lider în sectorul construcțiilor sustenabile din regiune, etc..

La momentul actual dezvoltarea tehnologiilor pentru crearea unor structuri cât mai ecologice și sustenabile sunt în plină evoluție.

Unul dintre obiectivele cele mai importante abordate la acela de a proiecta clădiri verzi cu scopul de a reduce impactul asupra mediului înconjurător și asupra sănătății umane. Îndeplinirea acestui obiectiv se realizează prin aplicarea unor strategii:

- utilizarea eficientă a energiei, a resurselor naturale și a apei;
- realizarea unor clădiri de birouri care să aibă un impact redus asupra sănătății angajaților companiei ce o utilizează;
- reducerea deșeurilor, a poluării și a distrugerii mediului înconjurător:

Pentru a realiza o clădire verde trebuie să avem în vedere următoarele aspecte:

1. Izolarea pereților exteriori folosind materiale naturale (de exemplu: lâna - material natural, regenerabil care nu provoacă efecte secundare sănătății umane, biodegradabilă; fibrele de celuloză sau izolații cu plante (cânepa, bumbacul);
2. Ferestrele să aibă o înaltă izolare termică pentru reducerea substanțială al consumului de energie al locuinței. Materialele recomandate pentru realizarea acestora sunt lemnul stratificat și sticla. De asemenea este recomandat să fie tratate cu protecție UV pentru păstrarea confortului termic pe perioada verii.
3. Utilizarea panourilor solare pentru asigurarea energiei termice necesară locuinței. Practic se elimină arderile cu degajarea CO₂ și se reduce substanțial factura la energia termică, mergând până la autonomia energetică. Acesta este cel mai eficient sistem de generare al energiei termice. O alternativă ar fi celulele fotovoltaice dar costul acestora este mult mai mare.
4. Utilizarea acoperișurilor verzi. Acoperișurile verzi sunt acoperișuri cu vegetație, în special diferite soiuri de ierburi, mici tufe sau chiar arbuști. Acoperișurile verzi pot să însemne o mare diferență pentru mediul orașului. Ele păstrează un aer mai răcoros, absorb CO₂ și dau un aspect plăcut și natural clădirilor. De asemenea climatul din clădiri este mult îmbunătățit, acoperișul absorbind mult mai puțină căldură.
5. Utilizarea sistemelor de răcire prin conversie de temperatură reduc consumul energetic cu până la 90%. Convertoarele de temperatură răcesc aerul în timp ce asigură și o reîmprospătare a aerului din casă. Noile sisteme de tâmplărie izolatoare au redus foarte mult ventilația clădirii.
6. Folosirea materialelor naturale pentru pardoseli poate îmbunătăți substanțial standardul de viață în locuință precum și mediul înconjurător. Pachetul de bambus este o resursă foarte regenerabilă.
7. Folosirea vopselelor lavabile biodegradabile, care pot elimina emisiile necontrolate de substanțe dăunătoare sănătății. Pe piață există deja vopsele pe bază de plante. Există de asemenea și vopsele care funcționează ca și izolator termic (Verzi, 2013).

În cadrul platformei europene dedicată practicanților în construcții verzi – Construction21.eu coordonată de Consiliul Român pentru Clădiri verzi, sunt prezentate toate clădirile verzi și o parte din clădirile certificate de clasa energetică A, B și C realizate în România până la momentul actual care sunt undeva în număr de 75.

Dintre clădirile care s-au clasificat ca fiind clădiri verzi cetificate energetic cu o clasa superioară, din România, amintim: Ansamblul Rezidențial Luceafărul (Figura 46), Multinvest Business Center (Figura 47),

- În Oradea, România: Ansamblul Rezidențial Luceafărul



Figura 47. Ansamblul Rezidențial Luceafărul (construction21, 2013)

Ansamblul Rezidențial Luceafărul (primul de clasa A din Oradea), cu cele 4.000 de apartamente ale sale, își propune să redefinească termenul de confort pentru locuitorii orașului Oradea.

Pentru a ajunge la clasa A de certificare a performanței energetice s-au folosit următoarele produse și sisteme: cărămida Poroton, polistiren grafitat pentru fațade 10 și 14 cm, polistiren extrudat pentru terase între 15 și 25 cm, tâmplăria PVC de 5 camere, izolație planșee interioare – 10 cm, izolații trasee, instalații încălzire, window system, centrală gaz, ventilație naturală, aer condiționat în apartamente.

Conform certificatului de performanță energetică, clădirea se încadrează în clasa energetică A, având un consum anual specific de energie de 139,8 [kWh/ m²an] și indicele de emisii echivalent CO₂ de 26,7 [kgCO₂/ m²an].

- În Târgu-Mureș, România:

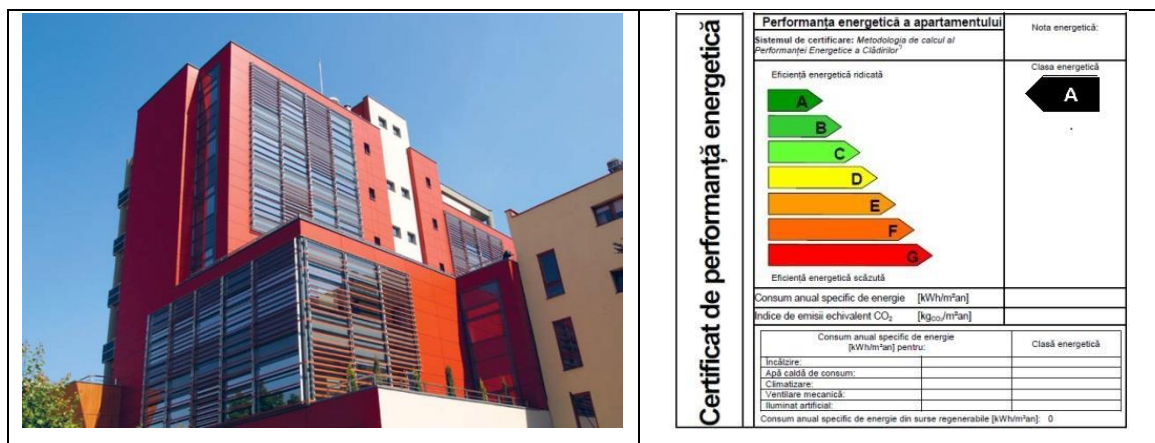


Figura 48. Multinvest Business Center, Târgu Mureș (construction21.eu, 2013)

Multinvest Business Center este prima clădire verde de birouri de clasa A din Târgu Mureș.

Sistemele și produsele utilizate pentru înscrierea clădirii în categoria A sunt următoarele: planșeu termoactiv, Tavan casetat perforat de tip grilă aluminiu în birouri și din gips-carton la spațiile comune, tâmplărie din aluminiu tip Alumil High Energy cu 3 straturi geam termopan LowE și Argon, cu înaltă eficiență termică; parasolare exterioare – fixe și terase verzi cu vegetație.

- În București, România:

Din punct de vedere arhitectural, complexul este format dintr-o clădire cu 6 etaje, parter și două nivele subterane, în care sunt construite un număr de 23 de apartamente de lux. Parterul cuprinde un apartament și trei maisonete, fiecare dintre acestea fiind conectate cu primul nivel subteran. Până la etajul al patrulea, fiecare nivel are patru apartamente cu balcon, iar nivelele 5 și 6 au două apartamente penthouse cu grădină și piscina. Clădirea a fost construită în anul 2011.



Figura 49. Moliere Residence, București (construction21.eu, 2013)

Sistemele utilizate în cadrul blocului de locuințe pentru obținerea certificatului de performanță energetică:

- sistemul de încălzire: centrală gaze, radiator cu apă, încălzire electrică în pardoseală și ventilo-convecteur;
- apă caldă: centrală gaze;
- sistemul de răcire: Sisteme VRV (Volum Refrigerent Variabil);
- sistemul de ventilație: HVAC autoreglabil.

Toate fațadele sunt realizate din materiale izolatoare, în concordanță cu studiul de termoizolație. Conform certificatului de performanță energetică, clădirea se încadrează în clasa

energetică A, având un consum anual specific de energie de 115,4 [kWh/ m²an] și indicele de emisii echivalent CO₂ de 17,1 [kgCO₂/ m²an].

La nivel european s-au construit un număr de 226 de clădiri performante energetic.

Una dintre cele mai recunoscute clădiri certificată cu Platină în anul 2011 este Taipei 101, cea mai mare și cea mai înaltă clădire verde din lume.



Figura 50. Taipei 101 (Taipei 101, 2014)

3.5. ALTE TIPURI DE CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC

Dintre casele eficiente energetic mai amintim Casa Triplu zero și casa cu energie pozitivă.

Casa “Triplu Zero” care folosește un nou concept: zero energie (cantitatea de energie consumată într-un an este egală cu cea produsă în același an), zero emisii (folosirea materialelor fără emisii de CO₂ în momentul exploatării), zero deșeuri (toate elementele de construcție sunt demontabile și reciclabile) (Mone, 2013).



Figura 51. Casa Triplu zero (Clear Glass House is Triple Zero Climate-Friendly, 2010)

Aceste clădiri își produc singure energia necesară prin panouri solare așezate pe acoperiș, utilizarea pompelor geotermale de pânză freatică sau pompelor geotermale de puț adânc. Emisii

de carbon sunt zero iar generarea deșeurilor nu reprezintă o problemă deoarece acestea sunt realizate din sticlă și metal, două materiale ce pot fi reutilizate sau reciclate.

Casa cu energie pozitivă este un tip de casă produce mai multă energie decât consumă pe durata unui an. Toate tipurile de clădiri descrise mai sus pot deveni case cu energie pozitivă.

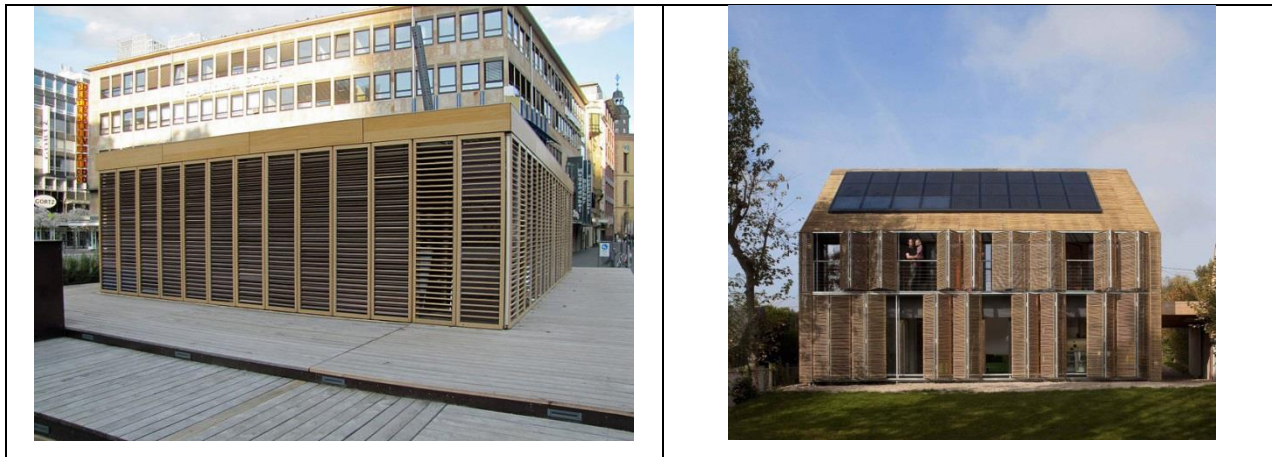


Figura 52. Casa cu energie pozitivă.

a.) Prototip Germania (Energy plus house, 2013), b.) Bessancourt, Franța

La nivel mondial există o preocupare în dezvoltarea caselor eficiente energetic și promovarea sustenabilității construcțiilor, aceasta observându-se prin multitudinea de conferințe ce au loc anual pe tot globul.

România încearcă să se alinieze cerințelor europene cu privire la eficiența energetică adoptând legislația în vigoare și încercând să clarifice în cazul clădirilor cu consum aproape zero o definiție cât mai corectă. De asemenea, cu ajutorul Consiliului român pentru clădiri verzi se pregătesc persoane specializate în proiectarea acestor tipuri de clădiri.

CAPITOLUL 4. EVALUAREA PERFORMANȚELOR TERMICE A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII ÎN REGIM DINAMIC

4.1. INTRODUCERE

În general există 3 caracteristici principale care complică calculul necesarului anual de energie: variabilele care se schimbă netaționar, fluxul termic asociat cu expresii de temperatură non-liniară și diferite mecanisme de transfer termic care interacționează între ele în moduri complexe. Pentru o perioadă mare de timp îmbunătățirea performanței termice a unei clădiri a constat în menținerea valorilor transmitanțelor termice U (inversul rezistențelor termice R) a elementelor opace și vitrate ale anvelopei clădirii la o valoare cât mai scăzută, de obicei clădirile cu consum redus de energie și clădirile pasive bazându-se pe grosimi de izolare foarte mari ale elementelor anvelopei clădirii. În ultimii ani a devenit tot mai important conceptul care amintește faptul că este imposibil să se proiecteze clădiri eficiente energetic prin abordarea doar a transmitanței termice U a elementului anvelopei clădirii, respectiv prin minimizarea pierderilor de căldură prin pereți exteriori, acoperișuri, planșee și ferestre sau prin creșterea grosimii termoizolației. Deși că momentan această abordare se regăsește în standardele naționale în domeniu.

Un alt criteriu important în stabilirea performanței termice a clădirii o are influența inerției termice, datorită efectului benefic pe care aceasta îl are la îmbunătățirea condițiilor de confort prin reducerea necesarului de încălzire și de răcire ale clădirii. Mai mulți autori din literatura de specialitate au evaluat influența a proprietăților termice ale pereților asupra performanței energetice a clădirii, prin compararea diferitelor sisteme constructive (Gregory, Moghtaderi, Sugo, & Page, 2008) (Bojic, Yik, & Sat, 2001). Cu toate acestea în studiile menționate, efectele inerției termice nu pot fi separate de cele a transmitanței termice, având în vedere că ambii parametrii pot varia. Alți autori au efectuat o comparație între pereți cu aceleași valori ale transmitanțelor termice U , la care evaluau influența poziției relative a unei grosimi date de termoizolație și de strat masiv (Kosseckaa & Kosny, 2002) (Bojic, Yik, & Sat, 2001). În studiul efectuat de Kossecka și Kosny diferența procentuală de încărcare totală între peretele cel mai puțin eficient și cel mai eficient variază de la 2,3% și până la 11,3%, în funcție de zona climatică aleasă conform zonării climatice a Statelor Unite ale Americii. În schimb Bojic și Loveday menționează faptul că diferențele pot fi până la 40% în cazul încărcării din încălzirea intermitentă și până la 84% pentru cazul încărcării din răcirea intermitentă. Dimpotrivă, nici o influență relevantă din partea stratificării peretelui nu a fost indentificată în cazul răcirii

continue. Varietatea mare de rezultate amintite se poate datora climatelor diferite, dar și diferitelor caracteristici de modele de clădiri și condiții de exploatare.

În ceea ce privește impactul punților termice, acesta nu este calculat în mod corect în momentul stabilirii necesarului anual de energie al clădirii. Astfel, în evaluarea economiei de energie se poate afirma că proporția impactului punții termice crește în momentul când nivelul de izolare termică a anvelopei clădirii crește. Pe de altă parte, influența asupra fenomenului de condens superficial și fenomenului de dezvoltare a mușgaiului pe suprafața interioară, trebuie de asemenea să se ia în considerare.

Implementarea corectă a punților termice în modelele de calcul a necesarului anual de energie reprezintă un efort major care de multe ori nu este răsplătit. Comunitatea de cercetători în programe de simulare energetică a clădirilor lucrează intens la reducerea diferențelor de necesar energetic obținut prin utilizarea programelor de calcul și cele reale obținute în exploatarea clădirii.

4.2. ELEMENTE DE TEORIE ALE CALCULULUI DINAMIC ÎN LITERATURA INTERNAȚIONALĂ

Există o multitudine de programe de simulare termică dinamică utilizate la evaluarea încărcărilor din încălzire și răcire în clădiri. Acest lucru asigură aplicații sofisticate cu algoritme de calcul care redau modul de comportare al clădirii, modul în care aceasta va performa, dar așa cum se întâmplă cu orice program sofisticat de calcul, acesta are nevoie de un nivel de resurse ridicat (informație și timp) pentru a asigura rezultate satisfăcătoare. Cu toate acestea, performanța termică relativă a unei clădiri va depinde de o serie de parametri foarte bine definiți.

În cazul analizei în regim termic staționar se realizează o analiză a pierderilor de căldură, pe baza conductivității termice și a grosimii materialelor care alcătuiesc elementul de construcție al anvelopei clădirii. În acest sens se aplică metoda de calcul a rezistenței termice globale, respectiv a transmitanței termice globale amintite în capitolul anterior:

$$R_o = R_{si} + \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

$$U = \frac{1}{R_o} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Din păcate analiza în regim termic staționar nu este suficientă datorită mai multor motive, printre care se amintesc:

- proprietățile termice ale clădirilor noi sunt în general a unor construcții ușoare care au capacități termice scăzute, răspuns rapid la acumulările de căldură și în consecință variații mai mari de temperatură;

- chiar și în cazul clădirilor cu structură grea, dacă pereții sunt izolați termic, acestea se vor comporta asemeni clădirilor cu structură ușoară;

- sistemele de încălzire optimizate au un răspuns rapid și sunt controlate mai bine, fapt care permite ca căldura să fie eliberată atunci când este nevoie de ea;

- modele de ocupare intermitentă sunt mult mai des întâlnite în sectorul rezidențial: acest lucru impune încălzirea rapidă a clădirii dimineața și din nou seara;

- datorită variației intensității solare în timpul zilei, materialele elementelor de construcție ale clădirii vor acționa pentru a absorbi și a elibera căldură, atât din interior cât și din exterior.

Răspunsul clădirii va diferi în funcție de tipul construcției, cu structură ușoară sau grea, după cum se poate observa și în figura de mai jos:

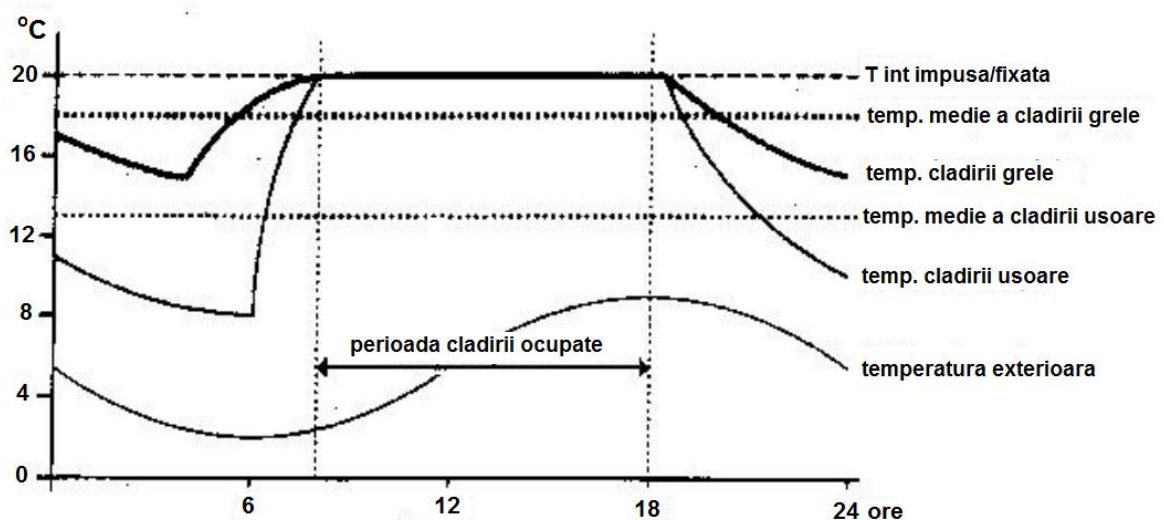


Figura 53. Curba de încălzire pentru clădiri grele și clădiri ușoare (EN ISO 13790, 2005)

O metodă accesibilă pentru aproximarea fluxurilor ciclice de căldură și de evaluare a necesarului de încălzire și răcire este denumită „metoda admitanțelor”. Rezultatele obținute în urma aplicării metodei admitanțelor sunt comparabile cu cele obținute folosind metode de calculator de calcul dinamic mai sofisticate, dar este în mod inerent limitată deoarece folosește un mod simplificat de considerare a încărcărilor. De exemplu, în momentul când se evaluează încărcările din răcire, consideră profilul temperaturii exterioare ca fiind constant pentru un număr

repetat de zile consecutive și pentru încărcările din încălzire consideră o temperatura exterioară constantă fără aporturi solare.

În cazul unei analize a comportamentului dinamic, standardul (EN ISO 13786, 2005) cuprinde caracteristicile privind comportarea termică dinamică a elementelor clădirii și oferă metodele pentru calculul acestei comportări, prin element înțelegându-se orice parte a clădirii, perete, planșeu, acoperiș, sau părți din aceste elemente. O metodă simplificată este dată pentru componente plane alcătuite din straturi plane de material potențial omogene. Caracteristicile termice dinamice pot fi folosite și pentru calculul temperaturii interioare dintr-o încăpere, valoare puterii maxime dintr-o zi și necesarul de energie pentru încălzire și răcire, efectele încălzirii sau răcirii intermitente și altele.

Pentru a se face calculul trebuie definite zonele termice ale clădirii care reprezintă părți ale clădirii prin care temperatura interioară are sau se consideră că are variații spațiale neglijabile. Ca și zonă termică se poate considera și mediul exterior. Calculele se efectuează considerându-se condiții tranzitorii sinusoidale, adică condiții în care variațiile temperaturilor și fluxurilor termice de-a lungul valorii medii pe termen lung sunt descrise de o funcție de timp sinusoidală.

Temperatura în zona „n” e definită astfel:

$$\theta_n(t) = \bar{\theta}_n + |\hat{\theta}_n| \cdot \cos(\omega t + \psi) = \bar{\theta}_n + \frac{1}{2} [\hat{\theta}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\theta}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}]$$

Fluxul termic va fi definit astfel:

$$\phi_n(t) = \bar{\phi}_n + |\hat{\phi}_n| \cdot \cos(\omega t + \psi) = \bar{\phi}_n + \frac{1}{2} [\hat{\phi}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\phi}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}]$$

unde,

$\bar{\theta}_n$ și $\bar{\phi}_n$ sunt valorile medii ale temperaturii și fluxului termic,

$|\hat{\theta}_n|$ și $|\hat{\phi}_n|$ sunt amplitudinile variațiilor de temperatură și de flux termic,

$\hat{\theta}_{\pm n}$ și $\hat{\phi}_{\pm n}$ sunt amplitudini complexe definite de:

$$\hat{\theta}_{\pm n} = |\hat{\theta}_n| \cdot e^{\pm j\varphi} \text{ și } \hat{\phi}_{\pm n} = |\hat{\phi}_n| \cdot e^{\pm j\varphi}$$

unde ω este frecvența unghiulară a variațiilor.

Astfel, se definesc și se calculează mai mulți parametrii specifici:

- *transmitanța termică* U [W/m^2K]: este valoarea fluxului de căldură în regim termic staționar care trece prin element, raportat la suprafața prin care se face transferul și la o diferență de temperatură între mediul interior și exterior. Această valoare este calculată în câmpul curent și nu ține cont de efectul punților termice. Acest coeficient oferă o imagine clară asupra proprietăților de izolare termică a unui material/element. În cazul în care temperatura exterioară

variază într-o perioadă de 24 ore peste și sub valoarea temperaturii interioare, este posibil ca valoarea U să nu indice pierderile reale de căldură prin suprafața elementului. Acest lucru se datorează faptului că fluxul termic prin element nu este constant (staționar), și nici direcția acestuia nu este singulară, cum ar fi de la interior spre exterior. Direcția fluxului termic se schimbă de fiecare dată când ciclul de variație a temperaturii exterioare merge peste și sub temperatura interioară. În această situație performanța termică a elementului (peretelui) nu mai este doar o simplă ecuație care ține cont de grosimea stratului termoizolant, ci este influențată și de cantitatea de masă termică. În timpul nopții când temperatura scade, căldura începe să părăsească suprafața peretelui spre exterior. Prezența masei termice va încetini acest proces (defazajul) și ziua următoare când temperatura exterioară devine mai ridicată față de cea interioară, direcția fluxului termic se inversează, asigurând ca o parte din cantitatea de căldură reținută de masa termică să fie eliberată în încăperea.

Efectul benefic al masei termice e real și un perete greu poate să autodepășească performanța termică a unui perete ușor care are aceeași valoare a transmitanței termice. Oricum, efectul este semnificat doar în cazul în care ciclurile temperaturii exterioare peste și sub temperatura interioară se desfășoară pe o perioadă de 24 h. (Environmental Building News, 1998)

- *admitanța termică* Y [$W/(m^2K)$]: cantitatea de energie (flux termic) care părăsește suprafața interioară a elementului spre încăperea raportată la variația de temperatură din încăperea. Din condiții teoretice se aplică în cazul în care temperatura mediului interior este supusă la oscilații periodice și temperatura exterioară este constantă. Este legată de difuzivitatea și grosimea materialelor, respectiv cuantifică modul în care un element de construcție al clădirii este capabil să schimbe căldură cu un spațiu atunci când este supus la ciclurile periodice (sinusoidale) a temperaturii și a fluxului termic

$$Y_{mm} = \frac{\widehat{q}_m}{\widehat{\theta}_m} \quad \text{și} \quad Y_{mn} = \frac{\widehat{q}_m}{\widehat{\theta}_n} \quad (2.78)$$

Y_{mm} admitanțe termice ($m=n$), Y_{mn} ($m \neq n$, unde m, n notarea zonelor termice) sunt transmitanțe termice periodice

Valoare „ K ” din unitatea de măsură a admitanței este dată de diferența de temperatură dintre temperatura interioară medie și temperatura efectivă la un moment specific în cursul unei zi. Această diferență de temperatură dinamică este cea care conduce căldură în interiorul și în exteriorul stratului de material. În comparație cu admitanța, valoarea lui „ K ” din unitatea de măsură a transmitanței termice, este dată de diferența dintre temperatura interioară și exterioară, valori care se consideră a fi constante. O altă diferență este faptul că valorile mari ale

admitanțelor sunt de dorit în cazul utilizării masei termice a elementelor, în comparație cu valorile scăzute pentru U care se doresc pentru minimizarea pierderilor de căldură.

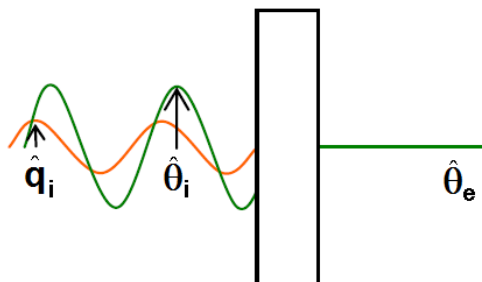


Figura 54. Caracteristicile admitanței termice. (EN ISO 13786, 2005)

- *conductanța termică* L [W/K]: cantitatea de căldură dintr-o componentă raportată la temperaturile de pe ambele suprafețe a acestuia, în cazul unor condiții de variații sinusoidale

$$L_{mn} = A \cdot Y_{mn} \quad (2.79)$$

L_{mn} ($m \neq n$) sunt conductanțe termice periodice

- *capacitatea termică* C_m [J/K]: modulul conductanțelor termice periodice nete împărțite la frecvența unghiulară ω

$$C_m = \frac{1}{\omega} |L_{mm} - L_{mn}| \quad (2.80)$$

unde

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, T \text{ este perioada (durata unui ciclu) în secunde}$$

- *capacitatea termică zonală* χ_m [kJ/m^2K]: cantitatea de căldură înmagazinată în element în prima jumătate din perioada de oscilație a fluxului termic raportată la unitatea de suprafață de element și variație de temperatură. Aceași cantitate de căldură se emite și în cea de-a doua jumătate a perioadei.

$$\chi_m = \frac{C_m}{A} = \frac{1}{\omega} |Y_{mm} - Y_{mn}| \quad (2.81)$$

de unde rezultă că $C_m = A \cdot \chi_m$

O componentă care separă două zone are două admitanțe termice și două capacități termice, toate acestea depinzând de perioada variațiilor termice.

- *perioada de timp pentru admitanța termică* [ore]: reprezintă diferența de timp dintre momentul fluxului termic maxim la suprafața interioară și momentul de temperatură interioară maximă

- *factorul de amortizare* f [-]: este dat de raportul dintre fluxul termic maxim la suprafața exterioară a elementului raportată la variația unitară de temperatură exterioară față de fluxul

termic prin element în regim termic staționar raportat la variația unitară a diferenței de temperatură dintre mediul interior și exterior. Altfel spus, abilitatea de a atenua amplitudinea variației temperaturii exterioare față de temperatura interioară.

$$f = \frac{|\widehat{q}_m|}{|\widehat{\theta}_n| \cdot U} = \frac{|L_{mn}|}{A \cdot U} = \frac{|Y_{mn}|}{U} \quad \text{unde } m \neq n \quad (2.82)$$

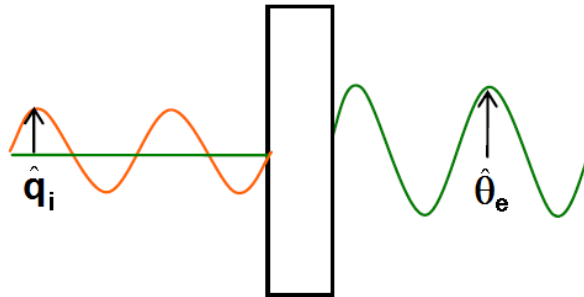


Figura 55. Caracteristicile factorului de amortizare. (EN ISO 13786, 2005)

La fel ca admitanța și transmitanța termică, factorul de amortizare este o caracteristică specifică a materialelor de construcție fiind legată de masă termică a acestora. Acesta descrie modul în care densitatea, capacitatea termică și conductivitatea termică pot să încetinească trecerea căldurii de la o suprafață la alta (datorită defazajului) și de asemenea să atenueze aporturile care trec prin suprafața aferentă (datorită factorului de amortizare),

Pentru structuri ușoare cu capacitate termică scăzută, valoarea factorului este 1, respectiv valoarea acestuia scade odată cu creșterea grosimii și capacității termice. O valoare mai mică a factorului va asigura o stabilitate mai mare a temperaturii pe suprafața interioară, scăzând astfel și riscul de supraîncălzire pe suprafața interioară. Pereții izolații termic mediu și puternic au un factor de amortizare între 0,3 și 0,1. În cazul structurilor ușoare factorul are o valoare între 0,5 și 0,8, valoarea mai mare fiind în general în cazul pereților care au un strat exterior de zidărie peste stratul termoizolant.

- *defazajul φ [h]*: este perioada de timp între valoarea maximă a temperaturii exterioare și valoarea maximă a temperaturii interioare de pe suprafața elementului, atunci când acesta este străbătut printr-o mișcarea vălurită de aporturi de căldură exterioare. Propriu zis, durata de timp pentru ca un flux de căldură să străbată un element (material) de pe o suprafață pe cealaltă cu o amplitudine redusă.

Pereții izolați mediu sau puternic, vor încetini trecerea căldurii până la 9-12 ore, fapt care favorizează un nivel optim al defazajului. Structurile ușoare asigură, în general, perioade mai scurte de la câteva ore și până la 7-8 ore. Este foarte importantă la un element de construcție ordinea straturilor de material prin care trece fluxul termic în stabilirea defazajului. Asigurând controlul defazajului este posibil să se controleze și să se prevină supraîncălzirea clădirii.

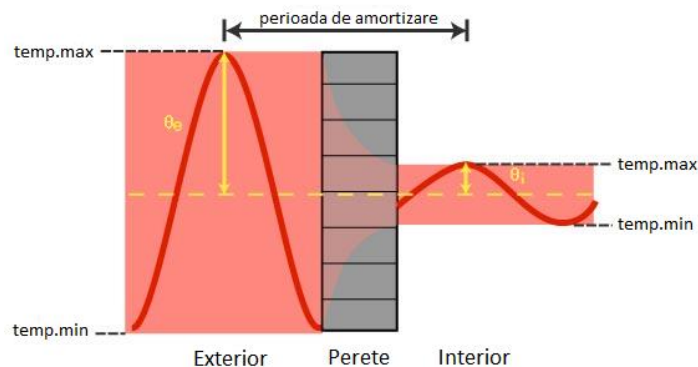


Figura 56. Defazajul. (EN ISO 13786, 2005)

- *factorul de suprafață F [-]*: este raportul dintre variația fluxului de căldură de la suprafața interioară a elementului readmis de spațiul interior față de variația fluxului de căldură primită la suprafața interioară a elementului (e.g. absorbit din element din aporturi solare). Este utilizat când se ține cont de utilizarea radiației solare și a componentei radiative a aporturilor de căldură pe suprafețele interioare.

$$F = \frac{\hat{q}_l}{\hat{q}_{abs}} \Big|_{\hat{\theta}_i = \hat{\theta}_e = 0} \quad (2.83)$$

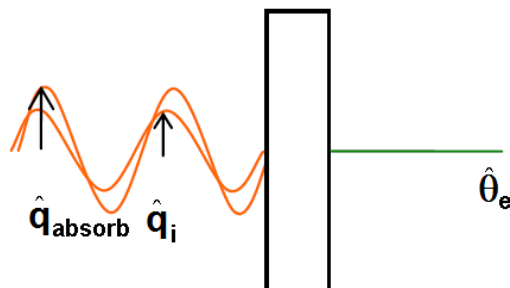


Figura 57. Caracteristicile factorului de suprafață. (EN ISO 13786, 2005)

- *defazajul factorului de suprafață ψ [h]*: este perioada de timp între momentul fluxului termic maxim care intră în suprafață și momentul de flux termic maxim care este cedat de element spațiului interior. Elementele cu capacitate termică ridicată au un efect de creștere a perioadei de timp și implicit o scădere a factorului de suprafață, fiind constanți pe grosimea elementului (materialului).

- *adâncimea de penetrare periodică δ [m]*: este adâncimea la care amplitudinea variațiilor de temperatură sunt reduse cu un factor e (bazat pe logaritmi naturali, $e=2,718\dots$) într-un material omogen de grosime infinită supus la variații sinusoidale de temperatură pe suprafața aferentă

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}} \quad (2.84)$$

- *matricea de transfer termic*: realizează legătura între amplitudinile complexe de temperatură și rata fluxului termic de pe o suprafață a componentei cu amplitudinile complexe de temperatură și rata fluxurilor termice de pe cealaltă suprafață a elementului.

$$\begin{pmatrix} \widehat{\theta}_2 \\ \widehat{q}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \widehat{\theta}_1 \\ \widehat{q}_1 \end{pmatrix} \quad (2.85)$$

unde

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = Z_N \cdot Z_{N-1} \cdot \dots \cdot Z_3 \cdot Z_2 \cdot Z_1 \quad (2.86)$$

$Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_N$ sunt matricele de transfer a straturilor elementului clădirii, începând de la stratul 1 (primul strat la fața interioară).

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh \xi \cdot \cos \xi + j \cdot \sinh \xi \cdot \sin \xi$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2 \cdot \lambda} \{ \sinh \xi \cdot \cos \xi + \cosh \xi \cdot \sin \xi + j \cdot [\cosh \xi \cdot \sin \xi - \sinh \xi \cdot \cos \xi] \}$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} \{ \sinh \xi \cdot \cos \xi - \cosh \xi \cdot \sin \xi + j \cdot [\sinh \xi \cdot \cos \xi + \cosh \xi \cdot \sin \xi] \}$$

$$\xi = \frac{d}{\delta} \quad (2.87)$$

d este grosimea stratului

Matricea de transfer a straturilor de contur este dată de:

$$Z_{ee} = Z_{s2} \cdot Z \cdot Z_{s1} \quad (2.88)$$

Z_{s1}, Z_{s2} sunt matricele de transfer a straturilor de contur

$$Z_s = \begin{pmatrix} 1 & -R_s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.89)$$

R_s este rezistență termică a stratului superficial de aer de contur, incluzând convecția și radiația

Orice componentă are ca și caracteristici termice dinamice conductanțele termice periodice L_{mm} și capacitățile calorice C_m .

În consecință admitanțele termice vor fi:

$$Y_{11} = -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} \quad \text{pentru suprafața interioară a componentei}$$

$$Y_{22} = -\frac{Z_{22}}{Z_{12}} \quad \text{pentru suprafața exterioară a componentei} \quad (2.90)$$

Astfel, conductanțele termice periodice sunt:

$$L_{11} = A \cdot Y_{11} = -\frac{A \cdot Z_{11}}{Z_{12}}$$

$$L_{22} = A \cdot Y_{22} = -\frac{A \cdot Z_{22}}{Z_{12}} \quad (2.91)$$

Pe baza componentelor matricelor de transfer amintite mai sus se poate calcula *timpul de schimb* Δt_Y [s] al admitanței Y_{mm} sau al conductanței termice periodice L_{mm} :

$$\Delta t_Y = \frac{T}{2\pi} \cdot \arg(Y_{mn}) \quad , \quad \text{cu un argument evaluat între } 0 \text{ și } 2\pi.$$

Dacă e pozitiv- timp de devansare, dacă e negativ – timp de întârziere.

În cazul structurilor ușoare cu capacitanță termică scăzută, valoarea lui Y tinde spre valoarea lui U și valoarea lui Δt_Y tinde spre zero. În cazul elementelor cu mai multe straturi, cei doi parametri sunt în principal determinați de proprietățile straturilor cel mai apropiate de suprafața interioară. În consecință, dacă se dispune un strat termoizolant pe suprafața interioară a elementului, admitanța termică va fi puternic influențată de acesta.

Din (2.81) rezultă formulele capacităților termice, respectiv:

$$\begin{aligned} C_1 &= A \cdot \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{11}-1}{Z_{12}} \right| \\ C_2 &= A \cdot \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{22}-1}{Z_{12}} \right| \end{aligned} \quad (2.92)$$

unde A este aria componentei clădirii.

Transmitanța termică periodică va fi dată de:

$$Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} \quad (2.93)$$

și factorul de amortizare de:

$$f = \frac{|Y_{12}|}{U} \quad , \quad \text{unde întotdeauna } f < 1 \quad (2.94)$$

U fiind transmitanța termică calculată conform EN ISO 6946.

Timpul de schimb $\Delta t_f [s]$ al transmitanței termice periodice:

$$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \cdot \arg(Z_{12}) \quad , \quad \text{cu un argument evaluat între } -2\pi \text{ și } 0$$

În urma unui studiu publicat de (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009), autorii au făcut un studiu pentru 24 de detalii constructive ale unui perete exterior, privitor la legătura dintre masa elementului de construcție și proprietățile dinamice obținute conform metodei admitanțelor. Acesta a evidențiat legătura dintre factorul de amortizare și masa elementului pe unitate de suprafață, respectiv defazaj și masa elementului pe unitate de suprafață. Conform studiului se observă că legătura nu este univocă având în vedere că pot exista diferențe semnificative între valorile obținute pentru factorul de amortizare în cazul aceleași valori a masei elementului de construcție. De asemenea, și în cazul defazajului s-a făcut aceeași constatare având în vedere că pentru aceeași valoare a masei elementului pot corespunde diferite valori de defazaj.

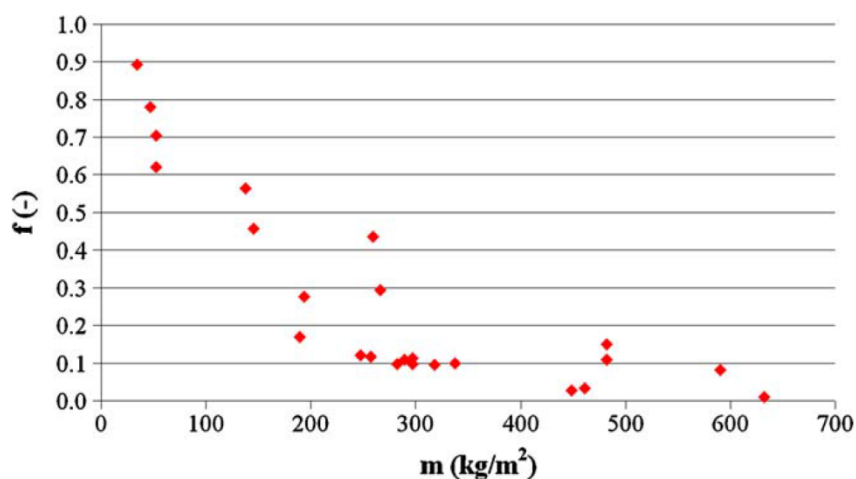


Figura 58. Factorul de amortizare f vs masa elementului pe unitate de suprafață pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009)

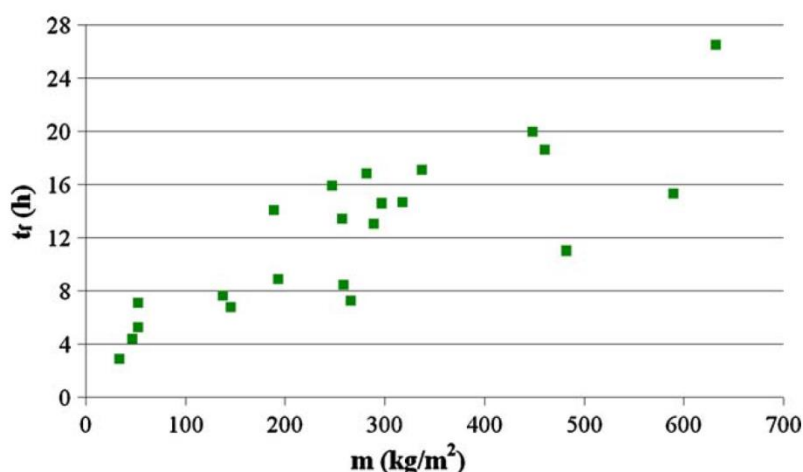


Figura 59. Defazajul Δt_f vs masa elementului pe unitate de suprafață pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009)

Anexa A a standardul 13786 precizează modul de aplicare a calculelor simplificate pentru stabilirea capacității termice în cazul unor componente plane. Aceste calcule se bazează pe adâncimea de penetrare a unu val de căldură calculat pentru materialul adiacent suprafeței. Se recomandă utilizarea acestor calcule în cazul în care acuratețea calculelor este de importanță secundară, de exemplu atunci când se cere o estimare aproximativă a inerției termice a unei zone termice. Nu se recomandă utilizarea acestor metode simplificate în cazul în care se dorește stabilirea inerției termice a unui produs.

Capacitanța termică a componentei este calculată în primul rând fără considerarea rezistenței suprafeței prin folosirea uneia dintre aproximările următoare:

- i. *metoda aproximării cu strat subțire*: această metodă se aplică în cazul în care primul strat a componentei clădirii având o grosime d este mai mică decât

jumătatea adâncimii de penetrare periodică δ , respectiv $d < \frac{1}{2} \cdot \delta$, și dacă stratul următor este un strat termoizolant, atunci primul strat se poate considera a fi izoterm și capacitatea termică zonală a componentei pentru partea considerată este evaluată astfel:

$$\chi_m = d \cdot \rho \cdot c \quad (2.95)$$

- ii. *metoda aproximării mediului semi-infinit*: această metodă se aplică în cazul în care primul strat a componentei clădirii având o grosime d este mai mare decât de două ori adâncimea de penetrare periodică δ , respectiv $d > 2 \cdot \delta$, atunci stratul se poate considera infinit de gros și capacitatea termică zonală a componentei pentru partea considerată este evaluată astfel:

$$\chi_m \cong \frac{\delta \cdot \rho \cdot c}{\sqrt{2}} \quad (2.96)$$

- iii. *metoda grosimii efective*: această metodă folosește aproximările amintite la punctul i. și ii., împreună cu o valoare convențională a difuzivității termice $a=0,7 \times 10^{-6}$ [m²/s].

Grosimea efectivă d_T a unei părți a componentei este valoarea minimă a următoarelor:

- jumătate din grosimea totală a componentei;
- grosimea materialelor dintre suprafața de interes și primul strat termoizolant, fără a lua în considerare straturile care nu fac parte din componentă;
- o grosime efectivă maximă, depinzând de perioada de variație, așa cum e dată în tabelul de mai jos:

Perioada variațiilor	1 oră	1 zi	1 săptămână
Grosimea efectivă maximă	2 cm	10 cm	25 cm

Capacitatea termică zonală va fi calculată astfel:

$$\chi_m = \sum_i \rho_i \cdot d_i \cdot c_i \quad (2.97)$$

$$\text{cu} \quad \sum_i d_i = d_T$$

Capacitatea termică a componentei totale conținută în zona termică considerată este calculată ca suma capacităților termice calculate pentru ambele suprafețe ale componentei.

Metoda simplificată poate să supraestimeze capacitatea termică pentru anumite materiale, e.g. lemn sau beton aerat, și poate genera rezultate relativ diferite față de cele obținute prin metoda de calcul descrisă în standard.

Capacitatea termică zonală echivalentă χ'_m a unei componente a clădirii incluzând rezistența superficială R_s , sau a unei componente de masă mare, acoperită de un strat de masă neglijabilă dar reprezentând o rezistență termică, R este evaluată după cum urmează:

$$\chi'_m = \sqrt{\frac{\chi_m^2}{1 + \omega^2 \cdot \chi_m^2 \cdot (R + R_s)^2}} \quad (2.98)$$

unde R_s este rezistența termică superficială și χ_m capacitatea termică zonă pentru stratul de capacitate mare.

Calculul caracteristicilor dinamice a componentelor non-plane, precum și a componentelor care conțin punți termice se va face prin rezolvarea ecuațiilor de transfer termic în condiții de contur periodice. În acest sens modelarea componentei se face conform criteriilor amintite în standardul EN ISO 10211 (EN ISO 10211, 2007) împreună cu metode numerice (e.g. metoda diferențelor finite și metoda elementului finit).

Calculul valorilor caracteristicilor termice dinamice depinde de perioada de timp pentru care se efectuează calculul. Pentru acest calcul este nevoie de valorile de proiectare λ , ρ , c și de detaliile elementului de construcție pentru care se efectuează calculul.

Procedura de calcul a caracteristicilor termice dinamice pentru elementele de construcție alcătuite din straturi plane omogene se face conform punctului 6.2 din EN ISO 13786, unde se precizează că pentru acest tipuri de elemente efectul punților termice va fi neglijat, deoarece acestea nu afectează în mod semnificativ caracteristicile termice dinamice. Caracteristicile termice dinamice pentru un element al anvelopei clădirii sunt conductanțele termice periodice L_{mn} și capacitățile termice C_m , împreună cu perioada T . Pașii de calcul sunt următorii:

1. se descrie elementul de construcție și se enumeră zonele cu care se află în contact
2. se identifică materialele componente ale fiecărui strat a elementului de construcție și grosimea acestora, și se stabilesc caracteristicile termice ale materialelor;
3. se vor numerota straturile componente începând cu suprafața 1 care va fi denumită în calcul. În cazul elementelor anvelopei clădirii suprafața 1 este stratul cel mai interior strat;
4. se calculează aria elementului de construcție;
5. se specifică perioadele de variație de pe suprafață;
6. se calculează adâncimea de penetrare pentru materialul fiecărui strat;
7. se stabilesc elementele matricei de transfer pentru fiecare strat;

8. se înmulțesc matricele de transfer ale straturilor componente, excluzând straturile de contur, într-o ordine corectă pentru a se obține matricea de transfer a elementului de construcție
9. se calculează cele 2 admitanțe termice, factorul de amortizare și transmitanța termică.

În cazul elementelor de construcție ale anvelopei clădirii care pot fi dispuse spre mediul exterior cu oricare dintre cele 2 suprafețe, se va calcula și matricea de transfer termic inversă. Dacă calculele se efectuează pentru diferite perioade de timp, rezultatele se vor da pentru fiecare perioadă de timp.

4.3. REȚELE TERMICE ECHIVALENTE LA CLĂDIRI

Așa cum este prezentat în literatura de specialitate, *analogia termo-electrică* este utilă în analiza mai multor probleme de transfer termic de la măsurarea proprietăților și până la modelare. În cazul modelării, o analiză de transfer termic complicată poate să fie simplificată prin crearea unui „circuit electric” ca și model pentru problema în cauză. Există o analogie clară între fluxul electric și fluxul termic, așa cum se poate observa în tabelul de mai jos:

Tabel 31. Analogia termo-electrică

Circuitul electric			Transferul termic		
Parametru	Simbol	UM	Parametru	Simbol	UM
Curent electric	I	A	Flux de căldură	Q	W
Diferență de potențial	ΔV	V	Diferență de temperatură	ΔT	K
Rezistență electrică	R	Ω	Rezistență termică	R_t	K/W
Capacitate electrică	C	F	Capacitate termică	C	J/K

Standardele EN ISO 13790 și EN ISO 13792 descriu modul în care rețeaua termică este folosită la descrierea unei clădiri, în vederea calculării evoluției temperaturii operative în interiorul spațiilor clădirii în cazul încălzirii cu intermitență sau în perioada verii. În acest sens clădirea se modelează cu ajutorul a 3 noduri, noduri reprezentative pentru mediile interioare și pentru mediul exterior și pentru temperatura structurii. Inerția termică a clădirii este reprezentată printr-o capacitate a cărei temperatură este cea a structurii. În consecință, schimburile de căldură care au loc între mediul interior și exterior, structură și mediul interior, precum și structură și

mediul exterior, sunt luate separat în calcul. De asemenea se realizează o separare a contribuției regimului staționar față de contribuția regimului variabil. Această separare este pusă în evidență prin parametrii de transfer de căldură armonici predeterminați, prin metoda admitanței. (EN ISO 13792, 2005).

Elementele anvelopei clădirii se vor împărți în componente exterioare ușoare, componenete exterioare opace masive, componente transparente și componete interioare. Pentru fiecare tip de componentă se vor defini mai mulți parametrii, cum ar fi: coeficient de transmisie termică U , factorul solar S_f , intensitatea radiației solare I_{sr} , aria A , capacitate termică raportată la suprafață C , și altele.

Conoform standardului EN ISO 13786, capacitatea termică a structurii C_m pentru o perioadă de variație de 24 h se va determina pe baza relației de calcul:

$$C_m = \sum_{i=1}^c A_i \cdot C_i \quad (2.99)$$

unde:

C_i este capacitatea termică interioară echivalentă a componentei,

A_i este aria componentei

c indică numărul de componenete către mediul interior.

În vederea aplicării metodei admitanțelor se vor defini parametrii termofizici ai componentelor anvelopei clădirii, după cum urmează:

- parametrii de transfer de căldură:
 - pentru pereți exteriori: coeficientul de transmisie termică, amortizarea F_a și defazarea φ , factorul de suprafață F_s și admitanța Y_e ;
 - pentru pereți interiori: factorul de suprafață F_s și admitanța Y_i ;
- parametrii solari:
 - pentru componente opace: factorul solar S_f și factorul de însorire datorat obstacolelor exterioare f_s
 - pentru componente transparente: coeficient de transmisie a radiației solare directe S_{f1} , factor de transfer termic secundar către interior S_{f2} , factor de transfer termic terțiar S_{f3} și factorul de însorire f_s

Se definesc valorile rezistențelor superficiale care se iau în calcul, respectiv $R_{se} = 0,075 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ pentru suprafața exterioară a componentei exterioare și $R_{si} = 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ pentru suprafața interioară a componentei exterioare și a componentei interioare. Se trece apoi la calculul factorului de amortizare, a factorului de suprafață și a admitanței conform definițiilor și matricilor Z amintite la sub-capitolul 4.2.

După aflarea valorilor amintite, se va trece la calculul temperaturii aerului interior la un moment dat „t”, aplicând următoarea relație de calcul:

$$\theta_{ai,t} = \frac{\Phi_{T,t} + (Y_T - H_T) \cdot \theta_{ai,m}}{Y_T + c \cdot m_t} \quad (2.100)$$

unde:

Φ_T este sarcina termică în [W] descrisă de formula:

$$\Phi_{T,t} = f_c \cdot \Phi_{co,t} + f_r \cdot \Phi_{sr,t} + \Phi_{v,t} + \Phi_{is} + \Phi_{sv}$$

Φ_{co} este sarcina termică datorată transmisiei căldurii în [W]

Φ_{sr} este sarcina termică datorată radiației solare în [W]

Φ_v este sarcina termică de ventilare [W]

Φ_{is} este sarcina termică a surselor interioare [W]

Φ_{sv} este sarcina termică datorată factorului solar de ventilare [W]

f_c și f_r factori de corecție

Y_T este admitanța totală a anvelopei clădirii în [W/K],

$$Y_T = \sum_{j=1}^n (Y_j \cdot A_j) \quad \text{unde } n \text{ este numărul elementelor anvelopei clădirii}$$

H_T este coeficientul de transfer termic total al anvelopei în [W/K]:

$$H_T = \sum_{j=1}^d (U_j \cdot A_j) \quad \text{unde } d \text{ este numărul componentelor exterioare}$$

$\theta_{ai,m}$ este valoarea medie zilnică a temperaturii aerului interior în °C,

$$\theta_{am} = \frac{\sum_1^{24} \left(\frac{\Phi_{T,t}}{Y_T + c \cdot m_t} \right)}{24 - (Y_T - H_T) \cdot \sum_1^{24} \left(\frac{1}{Y_T + c \cdot m_t} \right)}$$

c este căldura specifică a aerului de ventilare (1000 J/kg),

m este debitul masic în kg/s.

Temperatura medie radiantă, mediată pe toate suprafețele componentelor la un timp oarecare „t” se va calcula aplicând relația de calcul:

$$\theta_{mr,t} = \frac{(\sum_1^n A_i) \cdot h_{ci} \cdot \theta_{a,t} + c \cdot m_t \cdot (\theta_{a,t} - \theta_{ae,t}) - \Phi_{is,t} - \Phi_{sv,t}}{(\sum_1^n A_i) \cdot h_{ci}} \quad (2.101)$$

unde

n este numărul componentelor,

A este aria fiecărei componentă

h_{ci} este coeficientul de transfer termic convectiv interior

În final, temperatura operativă la un moment de timp oarecare se calculează astfel:

$$\theta_{dr,t} = \frac{\theta_{ai,t} + \theta_{mr,t}}{2} \quad (2.102)$$

4.4. FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A ALGORITMULUI DE CALCUL ÎN REGIM TERMIC NESTAȚIONAR

4.4.1. *Transferul unidirecțional în regim termic nestaționar*

Unul dintre programe dezvoltat la Facultatea de Construcții, în cadrul colectivului de Fizica Construcțiilor este programul „RENESTL” (1982-2014) care permite analiza comparativă a structurilor elementelor de închidere sub raportul inerției termice, a defazajului, a capacității de izolare termică și a existenței riscului de condens pe suprafața interioară a acestora. Elaborarea programului a început în luna mai a anului 1981 și actualizarea acestuia este realizată încontinuu pe baza prescripțiilor standardelor în vigoare. Condițiile de contur, temperatura interioară θ_i și temperatura exterioară θ_e sunt acceptate ca variind după legi simple sinusoidale, complexe polinomiale sau prin valori discrete.

Numărul de pași a rețelei de discretizare și numărul condițiilor de contur, este nelimitat. Discretizarea modelului geometric unidirecțional se efectuează în mod automat de către programul de calcul, rezultând rețeaua unidirecțională de discretizare. Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al rețelei de calcul. Aceasta este efectuată de către program în mod automat, până când este satisfăcută condiția că între fluxurile pe suprafețele interioare și exterioare ale elementului să existe o diferență sub 0.01W, iar în nodurile fiecărei rețele unidirecționale de calcul să rezultă diferențe sub 0.000001 W, condiție superioară celei prevăzute în standardul EN ISO 10211-1:1995 (EN ISO 10211-1, 1995), punctul A.2.e.

Pentru cazul regimului termic nestaționar pe baza câmpului unidirecțional de temperatură (1D) cu luarea în considerare a variației conductivității termice în funcție de temperatură, se va aplica următoarea ecuație:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x) \cdot \frac{\partial \theta(x)}{\partial x} \right] = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2.103)$$

unde:

λ este conductivitatea termică a materialului în [W/m·K] la temperatura $\theta=0^\circ\text{C}$

θ este temperatura într-un punct al elementului care este funcție de poziție și timp $\theta = \theta(x,t)$

t este timpul de calcul

ρ este densitatea medie a corpului în [kg/m³]

c este căldura specifică a corpului în [J/kg·K]

Pentru rezolvarea numerică a ecuației diferențiale cu derivate parțiale (2.103) se trec la relații corespunzătoare în diferențe finite. În vederea aplicării acestor relații elementul se

discretizează în fâșii elementare perpendiculare pe fluxul termic cu ajutorul unor rețele de drepte paralele cu axa OI situate la distanțe $H(I)$.

Pentru ilustrarea acestei metode numerice se transformă ecuația diferențială (2.99) în ecuații cu creșteri finite variabile. În acest scop, se consideră cunoscută repartiția inițială a temperaturii la un moment dat marcat prin timpul t și trebuie determinată variația acesteia în timp, respectiv la timpul $t+\Delta t$.

Deducerea relațiilor pentru determinarea stării de temperatură în secțiuni plane în interiorul și pe suprafața elementelor de construcție cu structura neomogenă s-a realizat plecând de la principiul de bază al regimului termic nestaționar în care la propagarea fluxului termic prin elementele de construcție este posibilă acumularea de energie termică. (Moga I. , 1987)

Pentru rezolvarea numerică a câmpului unidirecțional de temperatură cu conductivități termice variabile, elementul a fost discretizat cu rețele paralele cu suprafața elementului, cu pași de discretizare Δx variabili sau constanți. Elementele de construcție se consideră ca având structura cu o alcătuire ca în figura de mai jos, în care:

În punctul de coordonate (i) bilanțul termic poate fi scris ca suma fluxurilor elementare de căldură care converg spre acest nod din nodurile învecinate (i-1,i+1) și care pentru regimul termic staționar are valoarea 0. Acest lucru înseamnă că pentru fiecare pas de calcul, după determinarea temperaturilor în nodurile rețelei de discretizare, se rescriu ecuațiile de echilibru energetic cu noile valori ale conductivității termice rezultate.

a) *Câmpul de temperatură plan în regim termic nestaționar într-o zonă interioară a domeniului studiat.*

$$\Delta x_1 \neq \Delta x_2$$

$$\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \neq \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2$$

Notății: $\theta_{x,y} = \theta_0$

$$\theta_{x-\Delta x_1} = \theta_1$$

$$\theta_{x+\Delta x_2} = \theta_2$$

Fluxul de căldură elementar ΔQ necesar pentru ridicarea temperaturii fâșiei elementare

$$\Delta L = \sum_{i=1}^2 L_{i-0} \text{ din jurul nodului „0” cu } \partial \theta = (\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t) \text{ grade în intervalul elementar de timp } \Delta t$$

este proporțional cu capacitatea calorică a fâșiei elementare care se poate exprima cu ajutorul relației:

$$\Delta Q = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta L \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \cdot \Delta t \quad (2.104)$$

unde:

$$(\rho \cdot c)_{med} = \frac{\rho_1 \cdot c_1 \cdot \Delta x_1 + \rho_2 \cdot c_2 \cdot \Delta x_2}{(\Delta x_1 + \Delta x_2)} \quad (2.105) \text{ adică o ponderare a mărimilor } \rho_i \cdot c_i \text{ cu fâșiile } \Delta L_i.$$

Trecând de la diferențe finite relația (2.104) devine:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta L \cdot \frac{\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t}{\Delta t} \quad (2.106)$$

unde:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{\Delta x_1}{2} + \frac{\Delta x_2}{2} \quad (2.107)$$

în punctul de coordonate „x” bilanțul termic mai poate fi scris ca sumă a fluxurilor elementare de căldură care converg spre acest nod din nodurile învecinate în timpul Δt , adică:

$$\Delta Q(x) = \sum_{i=1}^2 Q_{i-0} \cdot \Delta t \quad \text{sau} \quad \frac{\Delta Q(x)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^2 Q_{i-0} \quad (2.108)$$

Suma fluxurilor care converg spre nodul „0” este dată de relația:

$$\sum_{i=1}^2 Q_{i-0} = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (\theta_1^t - \theta_0^t) + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \cdot (\theta_2^t - \theta_0^t) \quad (2.109)$$

Egalând cantitățile de căldură acumulate $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ exprimate prin relațiile (2.106) și (2.109),

după operații aritmetice elementare, obținem temperatura în noul „0” de coordonate (x) la timpul $t + \Delta t$ în funcție de temperatura în punctele 1 și 2 la timpul t:

$$\theta_0^{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2)} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \theta_1^t + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \theta_2^t \right) + \theta_0^t \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2)} \right] \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \right) \quad (2.110)$$

Soluția numerică a sistemului de ecuații în forma (2.110) este convergentă dacă intervalul de timp Δt respectă condiția:

$$\Delta \theta < \frac{0,50 \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\rho \cdot c)_{med}}{\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2}} \quad (2.111)$$

Variația temperaturii într-un nod aflat pe suprafața elementului de construcție (fig 60) se poate deduce aplicând același raționament ca mai sus privind bilanțul termic, dar ținând seama de schimbul de căldură prin mediul înconjurător și restrângerea domeniului ca grosime pe 2-0.

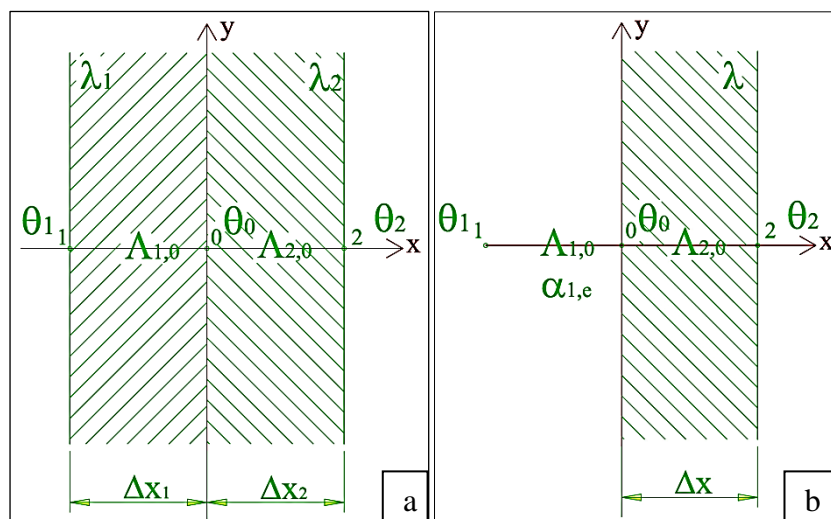


Figura 60. Discretizarea elementului de calcul, cazul a.) si b.) (Moga I. , 1987)

b) *Câmpul de temperatură unidirecțional netaționar într-un nod la suprafața domeniului studiat*

Notății: $\theta_{x,y} = \theta_0$

$\theta_{x-\Delta x_1} = \theta_1$

$\theta_{x+\Delta x_2} = \theta_2$

Ca urmare pentru bilanțul termic la suprafața elementului de construcție se va scrie următoarea ecuație:

$$\frac{\Delta x_1}{2} \cdot \frac{\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t}{\Delta t} \cdot (\rho_1 \cdot c_1) = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot (\theta_1^t - \theta_0^t) + \alpha \cdot (\theta_2^t - \theta_0^t) \quad (2.112)$$

în care:

α este fie α_i sau α_e în funcție de mediul din care se face transferul termic (interior, respectiv exterior)

θ_2^t este temperatură interioară θ_i^t sau exterioară θ_e^t în funcție de mediul din care se face transferul termic spre nodul „0”

Din egalitatea (2.112) se poate determina temperatura prin aplicarea următoarei relații:

$$\theta_0^{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho_1 \cdot c_1) \cdot \Delta x_1} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot \theta_1^t + \alpha \cdot \theta_2^t \right) + \theta_0^t \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho_1 \cdot c_1) \cdot \Delta x_1} \right] \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \alpha \right) \quad (2.113)$$

Condiția de convergență a metodei în acest caz se exprimă prin relația:

$$\Delta \theta < \frac{\Delta x_1 \cdot (\rho_1 \cdot c_1)}{2 \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \alpha \right)} \quad (2.114)$$

4.4.2. *Transferul plan în regim termic nestaționar*

În vederea efectuării calculului transferului plan de căldură în regim termic nestaționar s-a folosit program "RENESTP" (RENESTP, 1983-2014) program dezvoltat în cadrul colectivului de Fizica Construcțiilor, Facultatea de Construcții, pentru calculul și analiza câmpului plan de temperatură în regim termic nestaționar pentru elemente de închidere cu structură complexă

Pentru determinarea coeficienților de cuplaj termic bidimensionali L^{2D} utilizați pentru calculul transmitanței termice U și pentru determinarea coeficientului de transfer termic liniar ψ este necesară rezolvarea câmpului plan de temperatură în regim termic nestaționar pentru secțiuni complexe cu conductivități termice variabile, în funcție de temperatura stratului.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y) \cdot \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y) \cdot \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \right] = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (2.115)$$

în care:

θ este temperatura în nodul de coordonate (x, y)

$\lambda(x, y)$ este conductivitatea termică a materialelor din secțiune în $[W/(m \cdot K)]$

t este timpul de calcul

ρ este densitatea medie a corpului în $[kg/m^3]$

c este căldura specifică a corpului în $[J/kg \cdot K]$

Pentru rezolvarea numerică a ecuației diferențiale cu derivate parțiale de ordinul 2 mai sus amintită, modelul geometric, cuprins între planurile de decupaj orizontale și verticale, s-a împărțit cu ajutorul unor axe de secționare paralele cu axele sistemului plan cartezian, cu pași de discretizare Δx și Δy , formând rețeaua ortogonală de calcul a câmpului plan de temperatură. Rețeaua de calcul s-a luat cu pași cuprinși între 1 și maxim 10 mm pe toate direcțiile. Parametrii climatici interior se consideră că variază simultan sau independent după legi cosinusoidale, polinomiale sau prin valori discrete.

Calculul câmpului de temperaturi s-a efectuat considerând că planurile laterale de decupaj sunt suprafețe adiabatice.

Plecându-se de la același principiu ca cel prezentat în cadrul calculului unidirecțional, s-au determinat stările de temperatură în secțiuni plane în interiorul și pe suprafața elementelor de construcție cu structură neomogenă.

a) *Calculul temperaturii într-un nod în interiorul domeniului:*

$$\Delta x_1 \neq \Delta x_2 \neq \Delta y_1 \neq \Delta y_2$$

$$\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \neq \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \neq \lambda_3 \cdot c_3 \cdot \rho_3 \neq \lambda_4 \cdot c_4 \cdot \rho_4$$

Notății: $\theta_{x,y} = \theta_0$

$$\theta_{x-\Delta x_1,y} = \theta_1 \quad \theta_{x,y-\Delta y_1} = \theta_3$$

$$\theta_{x+\Delta x_2,y} = \theta_2 \quad \theta_{x,y+\Delta y_2} = \theta_4$$

Fluxul de căldură elementar ΔQ necesar pentru ridicarea temperaturii suprafeței elementare $\Delta S = \sum_{i=1}^4 S_i$ din jurul nodului „0” cu $\partial\theta = (\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t)$ grade în intervalul elementar de timp Δt este proporțional cu capacitatea calorică a suprafeței elementare care se poate exprima cu ajutorul relației:

$$\Delta Q = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta S \cdot \left(\frac{\partial\theta}{\partial t} \right) \cdot \Delta t \quad (2.116)$$

unde:

$$(\rho \cdot c)_{med} = \frac{\rho_1 \cdot c_1 \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta y_2 + \rho_2 \cdot c_2 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta y_2 + \rho_3 \cdot c_3 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta y_1 + \rho_4 \cdot c_4 \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta y_1}{(\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2)} \quad (2.117)$$

adică o ponderare a mărimilor $\rho_i \cdot c_i$ cu suprafețele ΔS_i .

Trecând de la diferențe finite relația (2.116) devine:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta S \cdot \frac{\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t}{\Delta t} \quad (2.118)$$

unde:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} \cdot \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2} \quad (2.119)$$

În punctul de coordonate (x,y) bilanțul termic poate fi scris ca sumă a fluxurilor elementare de căldură care converg spre acest nod din nodurile învecinate și care are valoarea 0.

$$\Delta Q(x, y) = \sum_{i=1}^4 Q_{i-0} \cdot \Delta t \text{ sau } \frac{\Delta Q(x)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^4 Q_{i-0} \quad (2.120)$$

Suma fluxurilor care converg spre nodul “0” este scrisă:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^4 Q_{i-0} &= \frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} \cdot (\theta_1^t - \theta_0^t) + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} \cdot (\theta_2^t - \theta_0^t) + \frac{\lambda_4 \cdot \Delta x_1 + \lambda_3 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_1} \cdot (\theta_3^t - \theta_0^t) + \\ &+ \frac{\lambda_1 \cdot \Delta x_1 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_2} \cdot (\theta_4^t - \theta_0^t) \end{aligned} \quad (2.121)$$

După operațiile aritmetice elementare, obținem temperatura în nodul “0” de coordonate (x,y) la timpul „t+ Δt ”, în funcție de temperatura în punctele 1, 2, 3, 4 la timpul „t” (vezi fig. 61)

$$\theta_0^{t+\Delta t} = \frac{4 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2)} \cdot \left(\frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} \cdot \theta_1^t + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} \cdot \theta_2^t + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{\lambda_4 \cdot \Delta x_1 + \lambda_3 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_1} \cdot \theta_3' + \frac{\lambda_1 \cdot \Delta x_1 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_2} \cdot \theta_4' \Big) + \theta_0' \cdot \left[1 - \frac{4 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2)} \cdot \right. \\
 & \left. \left(\frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} + \frac{\lambda_4 \cdot \Delta x_1 + \lambda_3 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_1} + \frac{\lambda_1 \cdot \Delta x_1 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_2} \right) \right] \quad (2.122)
 \end{aligned}$$

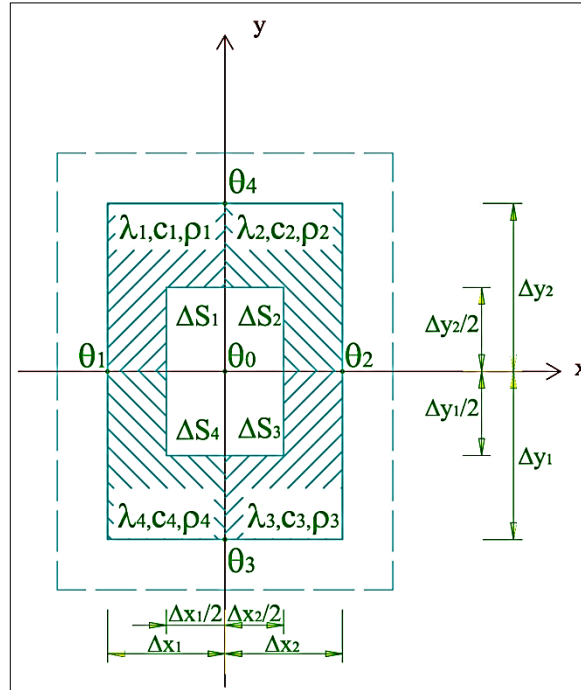


Figura 61. Câmpul de temperatură plan în regim termic staționar într-o zonă interioară a domeniului studiat (Moga I. , 1987)

Soluția numerică a sistemului de ecuații în forma (2.122) este convergentă dacă intervalul de timp Δt respectă condiția:

$$\Delta \theta < \frac{0,25 \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2) \cdot (\rho \cdot c)_{med}}{\frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} + \frac{\lambda_4 \cdot \Delta x_1 + \lambda_3 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_1} + \frac{\lambda_1 \cdot \Delta x_1 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_2}} \quad (2.123)$$

b) Rezolvarea sistemului de ecuații de echilibru energetic 2D- condiții de convergență

Sistemul de ecuații de echilibru energetic, scris în mod automat de către program, cuprinde un număr ridicat de noduri, peste 10000. de noduri, și se rezolvă prin metode iterative de calcul.

Condițiile de convergență a rezultatelor obținute în urma rezolvării sistemului de ecuații sunt:

- echilibrul energetic al fluxurilor termice în fiecare nod j al rețelei de calcul, aflat în interiorul elementului sau pe suprafața acestuia, $\Sigma \Phi_j = 0$;

- echilibrul energetic al fluxurilor termice de pe fața interioară cu cele de pe fața exterioară a elementului $\Phi_{si}=\Phi_{se}$.

Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al rețelei de calcul. Aceasta este efectuată de către program în mod automat, până când este satisfăcută condiția că între fluxurile pe suprafețele interioare și exterioare ale ansamblului fereastră-perete să existe o diferență sub 0.01W. Iar în nodurile fiecărei rețele unidirecționale de calcul să rezultă diferențe sub 0.000001 W, condiție superioară celei prevăzute în EN ISO 10211-1:1995,pct.A.2.e.).

4.5.METODOLOGIE DE CALCUL A TEMPERATURII INTERIOARE A UNEI ÎNCĂPERI

În vederea efectuării unui calcul dinamic pentru stabilirea performanței termice a clădirii, este nevoie de calcularea temperaturii interioare a spațiilor clădirii conform cerințelor amintite în standardul european EN ISO 13791 (EN ISO 13791, 2006) și EN ISO 13792 (EN ISO 13792, 2005), în care se recomandă abordarea periodică ca o metodă de calcul a temperaturii spațiului fără sisteme de răcire mecanică, în perioada verii.

Prin utilizarea prescripțiilor acestor standarde se obține răspunsul clădirii la variația temperaturii exterioare pe timpul verii.

Pentru a se aplica metoda prezentată în standard este nevoie de stabilirea unor ipoteze în vederea calculării valorii temperaturii dintr-un spațiu:

- încăperea este considerată un spațiu închis care este delimitat de elemente de închidere alcătuite din materiale cu proprietățile termofizice constante;
- temperatura aerului este uniform distribuită în întreaga încăpere;
- suprafețele elementelor de închidere sunt izoterme iar dimensiunile fiecărui component se măsoară la partea interioară a fiecărui element de închidere;
- efectul punților termice asupra transferului de căldură este neglijat;
- fenomenul de conducție termică prin fiecare element de închidere este considerat unidimensional;
- fenomenul de conducție termică prin elementele încăperii spre sol, se consideră în calcul printr-un flux termic unidimensional echivalent, calculat conform EN ISO 13370;

- în cazul fenomenului de convecție termică se vor considera în calcul următorii coeficienții de transfer termic convectiv:
 - la suprafața exterioară depind de viteza și direcția vântului;
 - la suprafața interioară depind de direcția fluxului termic.
- fluxul termic prin radiație de undă lungă pe suprafețele exterioare ale încăperii este legat de un coeficient de transfer termic independent de timp;
- distribuția radiației solare la nivelul suprafețelor interioare ale încăperii nu depinde de timp;
- temperatura medie radiantă se calculează ca o medie a temperaturilor radiante ale fiecărei suprafețe interioare ponderată cu suprafața;
- mediul radiant exterior (exceptând bolta cerească) este la temperatura aerului exterior;
- temperatura operativă se calculează ca valoare medie aritmetică a temperaturii aerului interior și temperatura superficială medie;

Se vor identifica elementele care constituie anvelopa clădirii și se vor menționa condițiile de contur atât pentru mediul interior cât și pentru mediul exterior, după cum urmează:

a. mediul interior :

- temperatura aerului;
- temperatura medie radiantă;
- radiația solară absorbită de suprafață.

b. mediul exterior (valori orare):

- temperatura aerului exterior;
 - ~ în cazul elementelor în contact cu solul, temperatura exterioară se consideră ca fiind valoarea medie lunară a temperaturii aerului exterior
- intensitatea radiației solare pentru fiecare orientare;
- temperatura bolții cerești;
- temperatura aerului pentru zonele adiacente care nu pot fi considerate la aceleași condiții de temperatură ca încăperea examinată.

Se va trece la calculul temperaturilor relevante ale spațiilor încălzite. La calculul temperaturii aerului interior a unei încăperi $\theta_{a,i}$ se va aplica relația (2.119) în care fluxurile termice către aerul din încăperea sunt considerate pozitive:

$$\sum_{j=1}^N (Aq_{c,i})_j + \phi_V + \phi_{Vi,c} + \phi_{sa} + \phi_{Va} = c_a \cdot m_{a,i} \cdot \frac{\partial \theta_{a,i}}{\partial t} \quad (2.124)$$

în care

N este numărul de suprafețe interioare care delimitează aerul interior;

A este aria fiecărui element de construcție;

$q_{c,i}$ este densitatea fluxului termic prin convecție:

$$q_c = h_c \cdot (\theta_s - \theta_a)$$

h_c este coeficientul de transfer termic convectiv al suprafeței,

θ_s este temperatura superficială,

θ_a este temperatura aerului,

ϕ_V este fluxul termic prin ventilare:

$$\phi_V = c_a \cdot q_a \cdot (\theta_{l,l} + \theta_{a,j})$$

c_a este căldura specifică masică a aerului care intră,

q_a este debitul masic, ventilare naturală și/sau forțată,

$\theta_{l,l}$ este temperatura aerului care intră, depinzând de proveniența sa

$\theta_{a,j}$ este temperatura aerului interior.

$\phi_{i,c}$ este partea fluxului termic convectiv datorită surselor interioare, adică iluminat, echipamente și ocupanți:

ϕ_{sa} este fluxul termic al aerului datorat aporturilor solare prin suprafețele vitrate ale anvelopei clădirii:

$$\phi_{sa} = f_{sa} \cdot (1 - f_{sl}) \cdot (\phi_{sr,D} + \phi_{sr,d})$$

f_{sa} este factorul de aport solar asupra aerului încăperii, fiind fracțiunea de căldură solară care pătrunde în încăperea prin vitraj, transferată imediat aerului interior. Această fracțiune depinde de cantitatea de elemente interioare cu capacitate termică foarte scăzută cum sunt: covoarele și mobila, fiind independent de timp.

f_{sl} este factorul de pierderi (reducere) solare ale încăperii, fiind fracțiunea de radiație solară care pătrunde în încăperea, reflectată către spațiul exterior. Acesta depinde de caracteristicile geometrice și de proprietățile solare ale vitrajului, de expunerea vitrajului, de direcția soarelui, de geometria încăperii și de culoarea suprafețelor, fiind independent de timp.

$\phi_{sr,D}$ este fluxul termic datorat componentei directe a radiației solare care pătrunde în încăperea:

$$\phi_{sr,D} = \sum_{j=1}^J (I_D \cdot \tau_D \cdot A_s)_j$$

$\phi_{sr,d}$ este fluxul termic datorat componentei difuze a radiației solare care pătrunde în încăpere;

$$\phi_{sr,d} = \sum_{j=1}^J (I_d \cdot \tau_d \cdot A)_j$$

J este numărul de elemente vitrate,

I_D este componenta directă a radiației solare care ajunge la suprafața exterioară sistemului „j”,

I_d este componenta difuză a radiației solare care ajunge la suprafața exterioară vitrajului „j”,

τ_D este transmitanța solară directă a vitrajului (calculată cf. EN 410),

τ_d este transmitanța solară difuză a vitrajului (calculată cf. EN 410),

A_s este suprafața însoțită a vitrajului,

A este aria vitrajului;

Φ_{va} este fluxul termic datorat aerului care pătrunde în încăpere prin straturile de aer din elementele de construcție care o delimitează;

c_a este căldura specifică masică a aerului;

$m_{a,i}$ este masa aerului interior;

$\theta_{a,i}$ este temperatura aerului interior

t este timpul

În calcule se admite simplificarea dată prin faptul că partea dreaptă a ecuației (2.124) poate fi considerată egală cu zero datorită valorii foarte mici a termenului ($c_a \cdot m_{a,i}$)

Pentru calculul *temperaturii superficiale interioare a unui element* oarecare j, se va aplica relația de calcul (2.125) în care fluxurile termice către suprafața interioară, cu excepția lui $q_{c,i}$, sunt considerate pozitive:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} + \frac{\phi_{lr}}{\sum_{j=1}^N A_j} = 0 \quad (2.125)$$

în care

q_{lr} este densitatea fluxului termic datorat schimburilor prin radiație de undă lungă cu alte suprafețe interioare:

$$q_{l,r} = \sum_{k=1}^N (F_{j,k} \cdot J_{lr,k}) - J_{lr,j}$$

N este numărul de suprafețe care delimitează mediul;

$F_{j,k}$ este factorul de formă de la suprafața j la suprafața k ;

$J_{lr,j}$ este radiozitatea de undă lungă a suprafeței j , dată de densitatea totală a fluxului termic emis și reflectat de această suprafață, toate suprafețele fiind considerate aici corpuri gri.

$$J_{lr,j} = \rho_j \cdot \sum_{k=1}^N (F_{j,k} \cdot J_{lr,k}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_j^4$$

ρ este reflectanța radiativă de undă lungă,

ε este emitanța radiativă de undă lungă,

σ este constanta Stefan-Boltzmann;

$J_{lr,k}$ este radiozitatea de undă lungă a suprafeței k ;

$F_{j,k}$ este valoarea medie, pe suprafața j , a unui unghi solid pentru care suprafața k este văzută pornind de la un punct al suprafeței j , împărțită la 2π ;

q_{sr} este densitatea fluxului termic conductiv:

$$q_{sr,i} = (1 - f_{sa}) \cdot (1 - f_{sl}) \cdot (\phi_{sr,D} + \phi_{sr,d}) \cdot f_d$$

f_d este factorul de distribuție a radiației solare pe suprafață interioară a elementului, fiind cantitatea de radiație solară absorbită direct pe arie, de diferite suprafețe interioare ale peretelui, plafonului, pardoselii etc. Depinde de direcția soarelui, de dimensiunile geometrice ale vitrajului și încăperii, de reflectanța de undă scurtă a elementelor și mobilierului, fiind independent de timp.

q_c este densitatea fluxului termic emis către aerul unei încăperi prin convecție:

$$q_c = h_c \cdot (\theta_s - \theta_a)$$

h_c este coeficientul de transfer termic prin convecție al suprafeței. La suprafața exterioară se va aplica următoarea formulă:

$$h_{c,e} = 4 + 4 \cdot v$$

v este viteza vântului în apropierea suprafeței, care depinde de datele climatice ale localității și de caracteristicile anvelopei

$h_{c,i}$ se vor folosi următoarele valori interioare (cf EN ISO 6946):

- perete vertical: $h_{ci}=2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- flux termic ascendent: $h_{ci}=5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

- flux termic descendent: $h_{ci}=0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

θ_a temperatura aerului va fi pentru suprafețele interioare-temperatura aerului încăperii, iar pentru suprafețele exterioare:

- pt perete exterior, acoperiș: temperatura a aerului exterior
- pt perete despărțitor, tavan și acoperiș pentru încăperea similară; temperatura aerului interior
- pt perete despărțitor, tavan și acoperiș pentru încăperea adiacentă cu condiții diferite: temperatura aerului încăperii adiacente
- pt placa pe sol: temperatură a aerului exterior, medie lunară
- pt planșeu peste subsol: temperatura subsolului

q_{cd} este densitatea fluxului termic emis către aerul unei încăperi prin conducție :

$$q_n = -\lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)$$

Algoritmul din EN ISO 13786, EN ISO 13791 și EN ISO 13792 și normativul românesc C107/4 are la baza ecuația de transfer termic nestaționar

undirecțional: $\lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \right) + g = c\rho \frac{\partial \theta}{\partial t}$

$\Phi_{i,r}$ este fluxul termic datorită componentei radiative a aporturilor interne, considerată în calcul ca fiind repartizată uniform pe toate suprafețele interioare opace și vitrate care delimitează încăperea;

A este aria unui element j al încăperii;

N este numărul de suprafețe care delimitează aerul interior;

Calculul temperaturii pe suprafața exterioară a unui element al încăperii se va face astfel:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0 \quad (2.126)$$

în care

q_{lr} este densitatea fluxului termic prin radiație de undă lungă pe suprafața exterioară:

$$q_{lr,e} = h_{lr,e} \cdot (\theta_{a,e} + \theta_{s,e}) - q_{sk}$$

$h_{lr,e}$ este coeficientul de transfer termic prin radiație de undă lungă durată:

$$h_{lr,e} = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2} \right)^3$$

ε este emisivitatea de undă lungă a suprafeței,

σ este constanta Stefan-Boltzmann,

$T_{a,e}$ este temperatura aerului exterior, unde $T=0+273,15K$,

$T_{s,e}$ este temperatura superficială;

$\theta_{a,e}$ este temperatura aerului exterior,

$\theta_{s,e}$ este temperatura superficială exterioră,

$q_{s,k}$ este termenul de corecție care ține seama de schimburile de radiații de undă lungă de la element către cer:

$$q_{sk} = F_{sk} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2} \right)^3 \cdot (T_{a,e} - T_{s,k})$$

F_{sk} este factorul de formă de la element către cer (unghiul solid împărțit la 2π),

$T_{a,e}$ este temperatura aerului exterior,

$T_{s,k}$ este temperatura cerului.

q_{sr} este densitatea fluxului termic datorită radiației de undă scurtă absorbită de suprafață:

$$q_{sr,e} = \alpha_{sr} \cdot (f_s \cdot I_D + I_d)$$

α_{sr} este absorbanta solară, valorile depinzând de caracteristicile suprafeței exterioare a elementului. Se pot folosi următoarele culori în cazul în care nu sunt disponibile valori specifice:

- pentru culoare deschisă $\alpha_{sr}=0,3$
- pentru culoare medie $\alpha_{sr}=0,6$
- pentru culoare închisă $\alpha_{sr}=0,9$.

f_s este factorul de însorire,

$$f_s = \frac{A_s}{A}, A_s \text{ este suprafață însorită a peretelui.}$$

I_D este componenta directă a radiației solare care ajunge la suprafață;

I_d este componenta difuză a radiației solare care ajunge la suprafață;

q_c este densitatea fluxului termic prin convecție cu aerul;

q_{cd} este densitatea fluxului termic conductiv .

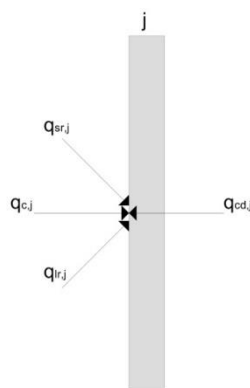


Figura 62. Suprafața exterioară a unui element studiat (EN ISO 13791, 2006)

În ceea ce privesc temperaturile relevante pentru elementele de construcție ale anvelopei clădirii se vor considera următoarele:

- Tavanul, spațiul de aer și acoperișul sunt considerate ca un element orizontal unic cu un flux termic unidimensional. Volumul de aer este asimilat cu un strat de aer.
- Planșeul și solul sunt considerate ca un element orizontal unic cu un flux termic tratat în conformitate cu standardul EN ISO 13370. (EN ISO 13370, 2007)
- Subsolul este considerat ca fiind neîncălzit conform standardului EN ISO 13370. (EN ISO 13370, 2007)
- Planșeul, spațiul tehnic și solul sunt considerate ca fiind un planșeu peste spațiu tehnic conform standardului EN ISO 13370. (EN ISO 13370, 2007)
- Un element vitrat se compune dintr-un anumit număr de planuri (panouri vitrate și eventual obloane) care se află în echilibru termic unele în raport cu celelalte. Evaluarea temperaturilor fiecărui plan se face adoptând următoarele ipoteze:
 - se neglijează efectele de înmagazinare a căldurii (capacității termice) a diferitelor planuri;
 - fluxul termic convectiv prin straturile de aer dintre fiecare panou vitrat se calculează conform
 - densitatea fluxului termic datorită radiațiilor de undă lungă între diferite planuri se calculează conform cu
 - densitatea fluxului termic datorită radiațiilor de undă scurtă absorbite de fiecare plan este tratat ca un termen sursă.

În capitolul 5 al prezentei teze se va prezenta validarea unui program de calcul dezvoltat pe baza metodologiei prezentate în standardul EN ISO 13791

4.6. CONSIDERAREA ÎN CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE A PUNȚILOR TERMICE

Având în vedere cerințele la nivelul Uniunii Europene de eficientizare energetică a clădirilor și de reducere a emisiilor de CO₂, țările membre au fixat diferite restricții în ceea ce privește performanța termică a unei clădiri, prevederi ce trebuie respectate de specialiștii în domeniu. Consecința acestor prevederi constă în faptul că influența punților termice este mult mai mare în stabilirea necesarului anual final de energie al clădirii datorită faptului că se impune

utilizarea unui nivel de izolare termică sporit al clădirii. Din acest considerent acest aspect a prins o importanță semnificativă în comparație cu clădirile existente.

În studiul transferului termic prin elementele anvelopei clădirii, efectul punților termice reprezintă de multe ori o problemă deoarece acestea sunt fie neglijate, fie calculul acestora nu este implementat corect. Acest lucru se datorează faptului că în general în calcule transferul termic prin elementele anvelopei clădirii s-a considerat o bună perioadă de timp ca fiind unidirecțional.

În ultimul timp abordarea problematicii punților termice în momentul când se evaluează performanța termică a anvelopei clădirii și riscul apariției fenomenului de condens superficial capătă o importanță tot mai mare, mai ales în urmă apariției mai multor standarde care explică modul în care acestea trebuie considerate în calcule termotehnice. În aceste calcule este foarte important să se considere pierderile sau aporturile de căldură prin zonele de punți termice. Considerarea acestor zone depinde de mai mulți factori, cum ar fi: zonarea climatică, nivelul de izolare termică, detaliul constructiv al punții termice, tipul clădirii (utilizare/destinație și geometrie), și altele. În același timp depind foarte mult și de metoda utilizată în calcul, prin care se ia în considerare efectul punților termice în calcul necesarului de energie pentru clădire.

Astfel, este greu de specificat care este aportul punților termice într-o clădire (de locuit). Din bibliografia studiată s-a observat faptul că aportul punților termice poate să varieze de la 5% (în cazul reabilitării termice prin izolare pe exterior a anvelopei clădirii) până la 39% (în general în cazul caselor uni-familiale izolate termic, la care nu au fost tratate corespunzător zonele de punți termice). Pentru a ne baza pe aceste rezultate este necesară efectuarea calculelor în detaliu, folosind metode complexe de calcul care iau în considerare inerția termică a punții termice care în general nu este considerată în calcule. (Theodosioua & Papadopoulos, 2008)

De exemplu standardul internațional EN ISO 13786 amintește caracteristicile asociate cu performanța termică a elementelor anvelopei clădirii calculată în regim dinamic precum și metodele de calcul pentru aceasta. Aceste metode sunt potrivite la determinarea proprietăților termice dinamice necesare la estimarea necesarului de energie al clădirii. În ceea ce privește modul de considerare a punților termice în regim dinamic, în paragraful 6.1, standardul include 2 comentarii scurte:

„Calculul caracteristicilor termice dinamice a elementelor non-plane precum și a elementelor care conțin punți termice semnificative se va face prin rezolvarea ecuațiilor de transfer termic cu condiții de contur periodice. Din acest motiv, regulile corespund modelului furnizat în EN ISO 10211 în combinație cu metode numerice cum ar fi metoda diferențelor finite sau metoda elementelor finite.”

„Punțile termice folosite în mod curent în elementele anvelopei clădirii nu afectează în mod semnificativ caracteristicile termice dinamice și din acest considerent pot fi ignorate”.

Acesta este un exemplu clar privitor la contradicțiile care există în ceea ce privește modul în care sunt tratate punțile termice la o clădire. Pe de-o parte se amintește faptul că studiul tranzitoriu al punților termice poate fi neglijat, iar pe de altă parte se amintește faptul că punțile termice semnificative se vor calcula cu o metodă numerică cu condiții de contur periodice, care va duce la un volum mare de calcul.

Dificultatea implementării calculului punților termice în simularea eficienței energetice a clădirilor prin considerarea aspectelor tranzitorii se datorează caracterizării fluxului multidimensional. La un perete alcătuit din straturi omogene, fluxul termic este unidimensional. Programele de simulare a eficienței energetice sunt de obicei bazate pe calculul funcțiilor de transfer care sunt valabile doar pentru definirea pereților cu straturi omogene. În consecință pentru a nu complica calculele derivate din implementarea punților termice, se fac simplificări care nu iau în considerare efectul inerției termice a acestora, considerându-se doar transfer unidirecțional al căldurii. Astfel, fluxul multidimensional care caracterizează punțile termice nu poate fi pus în evidență în programele de simulare a eficienței energetice a clădirilor. Datorită acestor impedimente întâlnite în implementarea calculelor punților termice în programele de simulare energetică, a apărut nevoia găsirii unei metode echivalente și alternative de considerare a punților termice în calculul performanței energetice a clădirilor.

Mai mulți autori din literatura de specialitate au investigat studiul multidimensional a comportării dinamice a punților termice în vederea implementării a efectului acestora în programele de simulare a eficienței energetice (Kośny & Kossecka, 2002) (Nakhi, 1995). În lucrarea amintită în bibliografie (Carpenter, 2001) autorul concluzionează că este nevoie de o abordare dinamică a punților termice, având în vedere faptul că inerția termică a unui perete masiv poate fi parțial anulată datorită efectului negativ al acestora.

În vederea evaluării punților termice este nevoie de cunoștințe privind utilizarea programelor diferențelor finite, volumului finit sau a elementelor finite. Din păcate doar o parte dintre specialiștii în domeniu optează pentru folosirea metodelor numerice la evaluarea punților termice. În practica curentă se folosesc cataloage care cuprind elemente ale anvelopei clădirii unde sunt definite și precalculate diferite tipuri de punți termice întâlnite în practica curentă. Dezavantajul utilizării acestor cataloage este faptul că este foarte greu să se acopere toate tipurile de punți termice întâlnite în mod curent în practică precum și utilizarea a unor valori pentru detalii mai mult sau mai puțin identice cu soluția evaluată.

Abordarea curentă a punților termice în țările din Uniunea Europeană constă în utilizarea unor metode simplificate care se aplică considerându-se un calcul în regim termic staționar, fapt care le face insuficiente având în vedere necesitatea și importanța considerării inerției termice în calculul necesarului anual de energie al clădirii. În continuare sunt enumerate câteva din metodele simplificate aplicate în unele țări din Uniunea Europeană:

a.) În Franța, Danemarca și Norvegia se limitează valoarea coeficientului liniar de transfer termic ψ_{\max} în funcție de tipul punții termice. Acest fapt duce la limitarea fluxului de căldură care se adaugă la o soluție constructivă, datorită tipului de punte termică.

b.) În Germania, Olanda și Irlanda în funcție de tipul punții termice se adaugă o creștere a transmitanței termice notată ΔU zonei omogene a anvelopei clădirii. Astfel se consideră în calcul un flux termic adițional părții omogene a peretelui.

c.) În Spania se realizează un calcul unidimensional pentru stabilirea valorii transmitanței termice a punții termice și apoi se realizează ponderarea acesteia cu zona elementului omogen.

După cum s-a subliniat anterior, punțile termice au un impact semnificativ în stabilirea efectelor acestora în calculul necesarului anual de energie al clădirii. Standardul internațional EN ISO 10211 a introdus conceptul de coeficient liniar de transfer de căldură ψ pentru calculul căruia se aplică formula:

$$\psi = L^{2D} - \sum_{i=1} U_i \cdot l_i \quad (2.127)$$

unde:

L^{2D} este coeficientul de cuplaj termic bi-dimensional obținut printr-un calcul 2D a elementului care separă cele două medii [W/(m·K)]

U_i este transmitanța termică a elementului 1D care separă cele două medii [W/(m²·K)]

l_i este lungimea pe care se aplică valoarea ψ

Metoda coeficientului de cuplaj termic este utilizată în programe de calcul a necesarului anual de energie al clădirii, în vederea stabilirii coeficientului ψ care caracterizează puntea termică în cauză. În general, pentru implementarea efectului punților termice în programele de simulare termică tranzitorie, se utilizează caracteristici staționare cum ar fi ψ . Există mai multe modele bazate pe ipoteze care conduc la rezultate diferite. Din acest considerent rezultă nevoia cunoașterii comportării dinamice reale a punților termice. În capitolul 5 se va aborda calculul dinamic luând în considerare efectul punților termice.

CAPITOLUL 5. CALCULE TERMOTEHNICE UTILIZÂND CARACTERISTICI DINAMICE

5.1. CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE PENTRU DIFERITE ALCĂTUIRI CONSTRUCTIVE

Datorită presiunilor impuse de directivele europene privind reducerea consumurilor energetice, un specialist în domeniu poate cu ușurință să aplice diferite soluții pentru reducerea pierderilor de căldură și să maximizeze utilizarea aporturile solare și a aporturilor interne. Din păcate aceste acțiuni cu rol de reducere a consumurilor energetice duc de asemenea la efecte adverse, cum ar fi riscul de supraîncălzire, suprafețele vitrate mult prea mari, și alte inconveniente în alcătuirea și comportarea clădirii. Efectul supraîncălzirii tratat de specialiștii în domeniu prin soluțiile constructive utilizate pentru protecția clădirii nu sunt cunoscute și înțelese pe deplin de mulți proiectanți în domeniu datorită aspectelor dinamice complicate ale transferului de fluxul termic și fenomenul de înmagazinare cu energie în elementele anvelopei clădirii. De exemplu, în cazul acoperișurilor terasă care sunt utilizate în mod curent la clădirile de locuit sau chiar la clădirile publice, în timpul verii aceasta aduc un aport semnificativ de căldură în interiorul clădirii. Radiația solară absorbită de stratul de bitum închis la culoare combinat cu temperaturile înalte ale aerului, cauzează o înmagazinare semnificativă a energie termice în straturile planșeului terasă, fapt care duce la o rată ridicată a fluxului termic care intră în spațiul interior al clădirii. Încălzirea spațiului interior datorită aportului radiațiilor solare prin ferestrele clădirii ar putea fi redus prin minimizarea amplitudinii fluxului termic interior și /sau prin maximizarea defazajului, adică a diferenței de fază între rata fluxului termic pe o suprafață și temperatura suprafeței opuse.

Una dintre cele mai simple și bine cunoscute modele de transfer termic dinamic este teoria valurilor de căldură armonice, bazată pe analiza lui Fourier a funcțiilor ciclice, această metodă dând rezultate foarte aproape de condițiile reale de comportare a clădirii. Caracteristicile termice dinamice a unei componente a clădirii descriu foarte bine comportarea termică a componentei atunci când este supusă la condiții de contur variabile, cum ar fi o rată variabilă a fluxului termic sau o temperatură variabilă în unul sau în ambele medii care descriu condițiile de contur. În standardul internațional EN ISO 13786 se consideră numai condiții de contur sinusoidale, respectiv condițiile de contur presupun variații sinusoidale ale fluxurilor termice și ale temperaturilor .

Pe baza prescripțiilor amintite în standardul EN ISO 13786 prezentat la capitolul 4 din teza de față și a prevederilor normativului de proiectare românesc C107/7 (C 107/7, 2002) prezentat la capitolul 2 din teza de față, s-au calculat caracteristicile termice dinamice pentru mai multe tipuri de alcături constructive uzuale, respectiv de zone caracteristice din anvelopa unei clădiri. Calculele s-au efectuat pentru perioade de variație de 24 h și de 3h în conformitate cu standardul EN ISO 13786 și C107/7, stabilindu-se valorile următorilor coeficienți:

- capacitatea termică zonală interioară χ_i și capacitatea termică zonală exterioară χ_e
- C_i coeficient de stabilitate termică a unui element de închidere pe timp de iarnă
- ε coeficientul de defazaj a oscilațiilor temperaturii aerului exterior [h] (definit în capitolul 2.5.2)
- D indicele inerției termice a elementului (definită în capitolul 2.5.2)
- v_T coeficientul de amortizare a amplitudinii oscilațiilor temperaturii aerului exterior (definit în capitolul 2.5.2)

În urma studiului efectuat se prezintă rezultate obținute pentru pereți exteriori neizolați sau izolați termic (vezi tabel 32-41) și pentru pereți interiori (vezi tabel 42-44), în diverse soluții de alcătuire constructivă.

Tabel 32. Perete exterior – zona câmpului curent

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona campului curent)											
Peretele Exterior			Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m ² •K)/W	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)
0,240	0,00	0,525	3,41	19,82	30,81	12,11	8,68	3,04	9,64	3,01	6,69
0,365		0,681	4,90	18,33	28,97	35,12	12,67	4,57	13,86	3,02	6,71
0,490		0,838	6,39	17,61	28,92	>100	16,63	6,07	18,08	3,08	6,77
0,240	0,05	1,641	3,52	17,93	4,55	90,23	9,98	11,07	9,97	3,05	2,71
	0,10	2,777	3,87	17,77	3,55	>100	10,33	19,00	10,95	3,07	2,82
	0,15	3,914	4,22	17,71	3,39	>100	10,77	26,93	11,93	3,08	2,86
	0,20	5,050	4,57	17,67	3,40	>100	11,33	34,90	12,91	3,09	2,85
0,365	0,05	1,797	5,02	17,66	4,26	>100	13,97	13,12	14,19	3,18	2,75
	0,10	2,933	5,36	17,63	3,40	>100	14,32	21,49	15,17	3,23	2,85
	0,15	4,070	5,71	17,61	3,30	>100	14,75	29,75	16,15	3,25	2,88
	0,20	5,206	6,06	17,61	3,35	>100	15,32	37,93	17,13	3,26	2,87
0,490	0,05	1,953	6,51	17,63	4,21	>100	18,00	14,56	18,40	3,31	2,80
	0,10	3,090	6,85	17,67	3,40	>100	18,27	22,32	19,39	3,37	2,88
	0,15	4,226	7,20	17,70	3,32	>100	18,70	29,32	20,37	3,39	2,90
	0,20	5,362	7,55	17,72	3,37	>100	19,26	35,66	21,35	3,40	2,89

Tabel 33. Perete exterior – zona plașului din beton armat

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona plașului din b.a.)											
Peretele Exterior			Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m ² •K)/W	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)
0,240	0,00	0,337	2,72	24,19	43,75	7,29	7,60	1,92	7,68	3,26	8,04
0,365		0,409	3,89	23,15	41,70	16,82	10,74	2,66	11,00	3,28	8,07
0,490		0,480	5,06	21,96	40,45	38,80	13,87	3,38	14,31	3,33	8,13
0,240	0,05	1,467	2,88	21,99	4,60	78,71	8,75	9,87	8,14	3,34	2,71
	0,10	2,604	3,23	21,85	3,58	>100	9,06	17,69	9,12	3,36	2,82
	0,15	3,740	3,57	21,80	3,42	>100	9,47	25,52	10,10	3,37	2,86
	0,20	4,876	3,92	21,78	3,43	>100	10,02	33,39	11,09	3,38	2,86
0,365	0,05	1,539	4,05	21,50	4,36	>100	11,86	11,09	11,45	3,53	2,75
	0,10	2,675	4,40	21,42	3,43	>100	12,17	19,32	12,43	3,58	2,85
	0,15	3,812	4,74	21,39	3,32	>100	12,58	27,45	13,42	3,60	2,88
	0,20	4,948	5,09	21,37	3,36	>100	13,13	35,52	14,40	3,61	2,87
0,490	0,05	1,611	5,22	21,47	4,25	>100	15,00	11,84	14,76	3,72	2,80
	0,10	2,747	5,57	21,49	3,39	>100	15,30	19,54	15,75	3,79	2,88
	0,15	3,884	5,91	21,50	3,30	>100	15,72	26,57	16,73	3,81	2,90
	0,20	5,020	6,26	21,51	3,35	>100	16,27	33,04	17,71	3,82	2,89

Tabel 34. Perete exterior – zona centurii și a buiandrului din b.a.

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona centurii si buiandrului din b.a.)											
Peretele Exterior			Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m ² •K)/W	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)
0,240	0,00	0,363	2,79	22,32	37,34	8,39	7,63	2,10	7,90	3,02	6,63
0,365		0,435	3,96	21,39	35,60	19,33	10,76	2,86	11,21	3,05	6,66
0,490		0,507	5,14	20,36	34,53	44,59	13,88	3,60	14,52	3,10	6,73
0,240	0,05	1,479	2,91	20,44	4,59	81,49	8,69	9,98	8,23	3,11	2,71
	0,10	2,615	3,26	20,31	3,57	>100	9,00	17,83	9,21	3,13	2,82
	0,15	3,751	3,60	20,26	3,42	>100	9,41	25,69	10,19	3,15	2,86
	0,20	4,888	3,95	20,24	3,43	>100	9,96	33,59	11,17	3,15	2,86
0,365	0,05	1,551	4,08	19,97	4,36	>100	11,79	11,18	11,54	3,30	2,75
	0,10	2,687	4,43	19,90	3,43	>100	12,10	19,40	12,52	3,35	2,85
	0,15	3,823	4,77	19,87	3,32	>100	12,51	27,50	13,50	3,37	2,88
	0,20	4,960	5,12	19,86	3,36	>100	13,06	35,51	14,49	3,38	2,87
0,490	0,05	1,622	5,25	19,95	4,25	>100	14,93	11,90	14,85	3,49	2,80
	0,10	2,759	5,60	19,98	3,39	>100	15,24	19,48	15,83	3,55	2,88
	0,15	3,895	5,95	19,99	3,30	>100	15,65	26,32	16,82	3,57	2,90
	0,20	5,031	6,29	20,00	3,35	>100	16,20	32,53	17,80	3,59	2,89

Tabel 35. Perete exterior – zona stâlpișorilor din b.a.

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona stalpisorilor din b.a.)											
Peretele Exterior			Perioada de variatie a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m ² •K)/W	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)
0,240	0,00	0,365	2,81	22,21	37,91	8,51	7,67	2,12	7,96	3,01	6,63
0,365		0,437	3,98	21,26	35,58	19,61	10,80	2,88	11,27	3,04	6,66
0,490		0,509	5,16	20,25	34,52	45,23	13,93	3,61	14,58	3,10	6,74
0,240	0,05	1,481	2,93	20,32	4,58	82,66	8,73	10,01	8,28	3,10	2,71
	0,10	2,617	3,28	20,19	3,57	>100	9,04	17,87	9,27	3,13	2,82
	0,15	3,753	3,62	20,14	3,41	>100	9,45	25,74	10,25	3,14	2,86
	0,20	4,890	3,97	20,12	3,43	>100	10,00	33,65	11,23	3,14	2,86
0,365	0,05	1,553	4,10	19,87	4,35	>100	11,84	11,21	11,60	3,29	2,75
	0,10	2,689	4,45	19,79	3,43	>100	12,14	19,42	12,58	3,35	2,85
	0,15	3,825	4,79	19,77	3,32	>100	12,56	27,51	13,56	3,37	2,88
	0,20	4,962	5,14	19,75	3,36	>100	13,11	35,51	14,54	3,38	2,87
0,490	0,05	1,624	5,27	19,85	4,25	>100	14,97	11,91	14,91	3,48	2,80
	0,10	2,761	5,62	19,87	3,39	>100	15,28	19,46	15,89	3,54	2,88
	0,15	3,897	5,97	19,89	3,30	>100	15,69	26,26	16,87	3,57	2,90
	0,20	5,033	6,31	19,90	3,35	>100	16,24	32,41	17,86	3,58	2,89

Tabel 36. Perete exterior – zona șapei planșeului

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona sapei planseu)											
Peretele Exterior			Perioada de variatie a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m ² •K)/W	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m ² •K)	W/(m ² •K)
0,240	0,00	0,524	3,41	20,02	30,81	12,08	8,70	3,03	9,64	3,04	6,69
0,365		0,680	4,90	18,53	28,97	35,04	12,69	4,56	13,86	3,06	6,71
0,490		0,836	6,39	17,80	28,92	>100	16,64	6,06	18,07	3,11	6,77
0,240	0,05	1,639	3,52	18,12	4,55	90,02	10,00	11,06	9,96	3,09	2,71
	0,10	2,776	3,87	17,96	3,55	>100	10,35	18,99	10,95	3,11	2,82
	0,15	3,912	4,22	17,90	3,39	>100	10,78	26,92	11,93	3,12	2,86
	0,20	5,048	4,56	17,86	3,40	>100	11,34	34,88	12,91	3,12	2,85
0,365	0,05	1,796	5,01	17,85	4,26	>100	13,98	13,10	14,18	3,22	2,75
	0,10	2,932	5,36	17,82	3,40	>100	14,34	21,48	15,16	3,26	2,85
	0,15	4,068	5,71	17,81	3,30	>100	14,77	29,75	16,15	3,29	2,88
	0,20	5,205	6,06	17,80	3,35	>100	15,33	37,93	17,13	3,30	2,87
0,490	0,05	1,952	6,51	17,82	4,21	>100	18,00	14,55	18,40	3,35	2,80
	0,10	3,088	6,85	17,87	3,40	>100	18,28	22,32	19,38	3,40	2,88
	0,15	4,225	7,20	17,89	3,32	>100	18,71	29,34	20,37	3,42	2,90
	0,20	5,361	7,55	17,91	3,37	>100	19,27	35,69	21,35	3,44	2,89

Tabel 37. Perete exterior

STILP, CENTURA, BUIANDRUG, GRINDA DIN BETON ARMAT (neizolat) ($\lambda = 1.74 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\rho = 2500.0 \text{ kg/m}^3$; $c = 840.0 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$)										
Elem. de Per. Ext.		Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	Rcamp	D	χ_i	χ_e	ν_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	($\text{m}^2\cdot\text{K}$)/W	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	[-]	h	[-]	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)
0,240	0,365	2,79	22,35	37,45	8,39	7,64	2,10	7,90	3,03	6,70
0,250	0,371	2,89	22,32	37,31	8,98	7,89	2,16	8,16	3,03	6,70
0,290	0,394	3,26	22,10	36,72	11,74	8,89	2,41	9,22	3,04	6,70
0,300	0,399	3,35	22,02	36,58	12,56	9,13	2,47	9,49	3,04	6,71
0,350	0,428	3,82	21,56	35,90	17,55	10,38	2,77	10,81	3,04	6,71
0,365	0,437	3,96	21,41	35,70	19,34	10,77	2,86	11,21	3,04	6,71
0,380	0,445	4,11	21,27	35,53	21,40	11,14	2,95	11,61	3,04	6,71
0,400	0,457	4,29	21,08	35,34	24,51	11,63	3,07	12,14	3,04	6,71
0,440	0,480	4,67	20,73	34,97	31,99	12,64	3,31	13,20	3,04	6,71
0,450	0,486	4,76	20,66	34,89	34,24	12,89	3,37	13,46	3,04	6,71
0,490	0,509	5,13	20,38	34,62	44,61	13,89	3,60	14,53	3,04	6,71
0,500	0,514	5,23	20,32	34,57	47,75	14,14	3,65	14,79	3,04	6,71

Tabel 38. Perete exterior

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA ($\lambda = 1.74 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\rho = 2500.0 \text{ kg/m}^3$; $c = 840.0 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$)											
Peretele Exterior			Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	ν_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	($\text{m}^2\cdot\text{K}$)/W	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	[-]	h	[-]	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)
0,240	0,00	0,527	3,41	19,85	30,94	12,11	8,69	3,04	9,64	3,02	6,78
0,365		0,683	4,90	18,36	29,10	35,13	12,68	4,57	13,86	3,02	6,78
0,490		0,839	6,39	17,64	28,45	>100	16,64	6,08	18,08	3,03	6,79
0,240	0,05	1,641	3,52	17,95	4,71	90,37	9,99	11,07	9,97	3,03	2,93
	0,10	2,777	3,87	17,79	3,76	>100	10,34	19,00	10,95	3,03	3,05
	0,15	3,914	4,22	17,73	3,62	>100	10,78	26,93	11,93	3,03	3,08
	0,20	5,050	4,57	17,70	3,64	>100	11,34	34,90	12,91	3,03	3,08
0,365	0,05	1,797	5,01	17,69	4,43	>100	13,98	13,13	14,19	3,06	2,94
	0,10	2,933	5,36	17,65	3,62	>100	14,33	21,58	15,17	3,08	3,06
	0,15	4,070	5,71	17,64	3,54	>100	14,76	30,03	16,15	3,09	3,09
	0,20	5,206	6,06	17,63	3,59	>100	15,33	38,49	17,13	3,09	3,09
0,490	0,05	1,953	6,51	17,66	4,38	>100	18,00	14,73	18,40	3,13	2,97
	0,10	3,090	6,85	17,70	3,62	>100	18,28	23,37	19,39	3,17	3,08
	0,15	4,226	7,20	17,73	3,55	>100	18,71	32,00	20,37	3,18	3,11
	0,20	5,362	7,55	17,75	3,61	>100	19,27	40,63	21,35	3,19	3,10

Tabel 39. Perete exterior

PERETE , CENTURA , BUIANDRUG , GRINDA DIN BETON ARMAT (cu izolatie)											
($\lambda = 1.74 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\rho = 2500.0 \text{ kg/m}^3$; $c = 840.0 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$)											
Elem. de Perete Exterior			Perioada de variatie a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	ν_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m²•K)/W	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•K)
0,140	0,05	1,421	1,97	21,50	4,99	40,67	6,40	8,61	5,58	3,04	2,92
	0,10	2,558	2,32	21,46	3,97	79,04	6,72	15,73	6,56	3,04	3,04
	0,15	3,694	2,67	21,45	3,79	>100	7,14	22,87	7,54	3,04	3,08
	0,20	4,830	3,01	21,45	3,78	>100	7,69	30,07	8,53	3,04	3,08
0,150	0,05	1,427	2,07	21,40	4,97	43,98	6,63	8,78	5,84	3,04	2,92
	0,10	2,563	2,41	21,34	3,95	85,16	6,94	15,99	6,83	3,04	3,04
	0,15	3,700	2,76	21,32	3,77	>100	7,36	23,23	7,81	3,04	3,08
	0,20	4,836	3,11	21,31	3,77	>100	7,91	30,53	8,79	3,04	3,08
0,180	0,05	1,444	2,35	21,06	4,89	54,59	7,30	9,23	6,64	3,04	2,92
	0,10	2,581	2,69	20,96	3,89	>100	7,61	16,70	7,62	3,04	3,05
	0,15	3,717	3,04	20,92	3,73	>100	8,03	24,18	8,60	3,04	3,08
	0,20	4,853	3,39	20,90	3,73	>100	8,58	31,73	9,59	3,04	3,08
0,200	0,05	1,456	2,53	20,83	4,85	62,82	7,76	9,49	7,17	3,04	2,93
	0,10	2,592	2,88	20,71	3,85	>100	8,07	17,11	8,15	3,04	3,05
	0,15	3,728	3,23	20,67	3,70	>100	8,48	24,74	9,13	3,04	3,08
	0,20	4,865	3,58	20,65	3,70	>100	9,03	32,41	10,12	3,04	3,08
0,240	0,05	1,479	2,91	20,46	4,76	81,87	8,70	9,98	8,23	3,04	2,93
	0,10	2,615	3,26	20,33	3,79	>100	9,01	17,83	9,21	3,05	3,05
	0,15	3,751	3,60	20,28	3,65	>100	9,42	25,70	10,19	3,05	3,09
	0,20	4,888	3,95	20,26	3,67	>100	9,97	33,60	11,18	3,05	3,08
0,250	0,05	1,484	3,00	20,39	4,74	87,42	8,94	10,10	8,49	3,05	2,93
	0,10	2,621	3,35	20,26	3,77	>100	9,25	18,00	9,47	3,05	3,05
	0,15	3,757	3,70	20,21	3,64	>100	9,66	25,91	10,46	3,05	3,09
	0,20	4,894	4,04	20,18	3,66	>100	10,21	33,86	11,44	3,06	3,08
0,290	0,05	1,507	3,38	20,17	4,65	>100	9,92	10,52	9,55	3,06	2,93
	0,10	2,644	3,73	20,05	3,72	>100	10,23	18,60	10,54	3,07	3,05
	0,15	3,780	4,07	20,00	3,60	>100	10,64	26,69	11,52	3,07	3,09
	0,20	4,917	4,42	19,98	3,63	>100	11,19	34,81	12,50	3,08	3,08
0,300	0,05	1,513	3,47	20,14	4,63	>100	10,17	10,62	9,82	3,06	2,93
	0,10	2,650	3,82	20,02	3,71	>100	10,47	18,74	10,80	3,07	3,05
	0,15	3,786	4,17	19,98	3,59	>100	10,89	26,87	11,78	3,08	3,09
	0,20	4,922	4,51	19,95	3,62	>100	11,44	35,03	12,77	3,08	3,08

Tabel 40. Perete exterior

PERETE , CENTURA , BUIANDRUG , GRINDA DIN BETON ARMAT (cu izolatie)											
($\lambda = 1.74 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\rho = 2500.0 \text{ kg/m}^3$; $c = 840.0 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$)											
Elem. de Perete Exterior			Perioada de variatie a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp.T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	ν_T	ϵ	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	(m²•K)/W	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•K)
0,350	0,05	1,542	3,94	20,02	4,54	>100	11,42	11,08	11,14	3,09	2,94
	0,10	2,678	4,29	19,93	3,66	>100	11,72	19,37	12,13	3,11	3,06
	0,15	3,815	4,63	19,90	3,56	>100	12,14	27,66	13,11	3,12	3,09
	0,20	4,951	4,98	19,89	3,60	>100	12,69	35,97	14,09	3,12	3,09
0,365	0,05	1,551	4,08	19,99	4,52	>100	11,80	11,20	11,54	3,10	2,94
	0,10	2,687	4,43	19,91	3,65	>100	12,11	19,53	12,52	3,12	3,06
	0,15	3,823	4,78	19,89	3,55	>100	12,52	27,86	13,51	3,13	3,09
	0,20	4,960	5,12	19,88	3,60	>100	13,07	36,22	14,49	3,13	3,09
0,380	0,05	1,559	4,22	19,98	4,50	>100	12,18	11,33	11,94	3,11	2,94
	0,10	2,696	4,57	19,92	3,64	>100	12,48	19,70	12,92	3,13	3,06
	0,15	3,832	4,92	19,89	3,55	>100	12,90	28,07	13,90	3,14	3,09
	0,20	4,968	5,26	19,88	3,60	>100	13,45	36,45	14,88	3,15	3,09
0,400	0,05	1,571	4,41	19,97	4,47	>100	12,67	11,49	12,47	3,12	2,94
	0,10	2,707	4,75	19,93	3,63	>100	12,98	19,90	13,45	3,15	3,06
	0,15	3,843	5,10	19,91	3,54	>100	13,40	28,32	14,43	3,16	3,10
	0,20	4,980	5,45	19,90	3,59	>100	13,95	36,74	15,41	3,17	3,09
0,440	0,05	1,594	4,78	19,96	4,44	>100	13,68	11,78	13,53	3,15	2,95
	0,10	2,730	5,13	19,95	3,61	>100	13,99	20,27	14,51	3,19	3,06
	0,15	3,866	5,48	19,94	3,54	>100	14,41	28,76	15,49	3,21	3,10
	0,20	5,003	5,83	19,94	3,59	>100	14,96	37,26	16,47	3,21	3,09
0,450	0,05	1,599	4,88	19,96	4,43	>100	13,93	11,86	13,79	3,16	2,96
	0,10	2,736	5,22	19,95	3,61	>100	14,24	20,36	14,77	3,20	3,07
	0,15	3,872	5,57	19,95	3,54	>100	14,65	28,86	15,76	3,22	3,10
	0,20	5,008	5,92	19,95	3,59	>100	15,20	37,38	16,74	3,23	3,10
0,490	0,05	1,622	5,25	19,97	4,41	>100	14,94	12,12	14,85	3,20	2,96
	0,10	2,759	5,60	19,99	3,61	>100	15,25	20,68	15,83	3,24	3,07
	0,15	3,895	5,95	20,01	3,54	>100	15,66	29,23	16,82	3,26	3,10
	0,20	5,031	6,29	20,02	3,59	>100	16,21	37,80	17,80	3,27	3,10
0,500	0,05	1,628	5,34	19,98	4,41	>100	15,19	12,19	15,12	3,21	2,97
	0,10	2,765	5,69	20,01	3,61	>100	15,49	20,75	16,10	3,25	3,07
	0,15	3,901	6,04	20,02	3,54	>100	15,91	29,32	17,08	3,27	3,10
	0,20	5,037	6,39	20,03	3,59	>100	16,46	37,89	18,06	3,28	3,10

Tabel 41. Perete exterior

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA ($\lambda = 0.80 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$; $\rho = 1800.0 \text{ kg/m}^3$; $c = 870.0 \text{ J/kg}$)											
Peretele Exterior			Perioada de variație a temperaturii aerului T=24 h						Per. de var. a temp. T=3 h		
d,zid	d,izol	Rcamp	D	χ_i	χ_e	v_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	($\text{m}^2\cdot\text{K}$)/W	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	[-]	h	[-]	[-]	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)	W/($\text{m}^2\cdot\text{K}$)
0,240	0,05	1,479	2,91	20,46	4,76	81,87	8,70	9,98	8,23	3,04	2,93
	0,10	2,615	3,26	20,33	3,79	>100	9,01	17,83	9,21	3,05	3,05
	0,15	3,751	3,60	20,28	3,65	>100	9,42	25,70	10,19	3,05	3,09
	0,20	4,888	3,95	20,26	3,67	>100	9,97	33,60	11,18	3,05	3,08
0,250	0,05	1,484	3,00	20,39	4,74	87,42	8,94	10,10	8,49	3,05	2,93
	0,10	2,621	3,35	20,26	3,77	>100	9,25	18,00	9,47	3,05	3,05
	0,15	3,757	3,70	20,21	3,64	>100	9,66	25,91	10,46	3,05	3,09
	0,20	4,894	4,04	20,18	3,66	>100	10,21	33,86	11,44	3,06	3,08
0,290	0,05	1,507	3,38	20,17	4,65	>100	9,92	10,52	9,55	3,06	2,93
	0,10	2,644	3,73	20,05	3,72	>100	10,23	18,60	10,54	3,07	3,05
	0,15	3,780	4,07	20,00	3,60	>100	10,64	26,69	11,52	3,07	3,09
	0,20	4,917	4,42	19,98	3,63	>100	11,19	34,81	12,50	3,08	3,08
0,300	0,05	1,513	3,47	20,14	4,63	>100	10,17	10,62	9,82	3,06	2,93
	0,10	2,650	3,82	20,02	3,71	>100	10,47	18,74	10,80	3,07	3,05
	0,15	3,786	4,17	19,98	3,59	>100	10,89	26,87	11,78	3,08	3,09
	0,20	4,922	4,51	19,95	3,62	>100	11,44	35,03	12,77	3,08	3,08
0,350	0,05	1,542	3,94	20,02	4,54	>100	11,42	11,08	11,14	3,09	2,94
	0,10	2,678	4,29	19,93	3,66	>100	11,72	19,37	12,13	3,11	3,06
	0,15	3,815	4,63	19,90	3,56	>100	12,14	27,66	13,11	3,12	3,09
	0,20	4,951	4,98	19,89	3,60	>100	12,69	35,97	14,09	3,12	3,09
0,365	0,05	1,551	4,08	19,99	4,52	>100	11,80	11,20	11,54	3,10	2,94
	0,10	2,687	4,43	19,91	3,65	>100	12,11	19,53	12,52	3,12	3,06
	0,15	3,823	4,78	19,89	3,55	>100	12,52	27,86	13,51	3,13	3,09
	0,20	4,960	5,12	19,88	3,60	>100	13,07	36,22	14,49	3,13	3,09
0,380	0,05	1,559	4,22	19,98	4,50	>100	12,18	11,33	11,94	3,11	2,94
	0,10	2,696	4,57	19,92	3,64	>100	12,48	19,70	12,92	3,13	3,06
	0,15	3,832	4,92	19,89	3,55	>100	12,90	28,07	13,90	3,14	3,09
	0,20	4,968	5,26	19,88	3,60	>100	13,45	36,45	14,88	3,15	3,09
0,400	0,05	1,571	4,41	19,97	4,47	>100	12,67	11,49	12,47	3,12	2,94
	0,10	2,707	4,75	19,93	3,63	>100	12,98	19,90	13,45	3,15	3,06
	0,15	3,843	5,10	19,91	3,54	>100	13,40	28,32	14,43	3,16	3,10
	0,20	4,980	5,45	19,90	3,59	>100	13,95	36,74	15,41	3,17	3,09
0,440	0,05	1,594	4,78	19,96	4,44	>100	13,68	11,78	13,53	3,15	2,95
	0,10	2,730	5,13	19,95	3,61	>100	13,99	20,27	14,51	3,19	3,06
	0,15	3,866	5,48	19,94	3,54	>100	14,41	28,76	15,49	3,21	3,10
	0,20	5,003	5,83	19,94	3,59	>100	14,96	37,26	16,47	3,21	3,09
0,450	0,05	1,599	4,88	19,96	4,43	>100	13,93	11,86	13,79	3,16	2,96
	0,10	2,736	5,22	19,95	3,61	>100	14,24	20,36	14,77	3,20	3,07
	0,15	3,872	5,57	19,95	3,54	>100	14,65	28,86	15,76	3,22	3,10
	0,20	5,008	5,92	19,95	3,59	>100	15,20	37,38	16,74	3,23	3,10
0,490	0,05	1,622	5,25	19,97	4,41	>100	14,94	12,12	14,85	3,20	2,96
	0,10	2,759	5,60	19,99	3,61	>100	15,25	20,68	15,83	3,24	3,07
	0,15	3,895	5,95	20,01	3,54	>100	15,66	29,23	16,82	3,26	3,10
	0,20	5,031	6,29	20,02	3,59	>100	16,21	37,80	17,80	3,27	3,10
0,500	0,05	1,628	5,34	19,98	4,41	>100	15,19	12,19	15,12	3,21	2,97
	0,10	2,765	5,69	20,01	3,61	>100	15,49	20,75	16,10	3,25	3,07
	0,15	3,901	6,04	20,02	3,54	>100	15,91	29,32	17,08	3,27	3,10
	0,20	5,037	6,39	20,03	3,59	>100	16,46	37,89	18,06	3,28	3,10

Tabel 42. Perete interior

PERETE , CENTURA , BUIANDRUG , GRINDA DIN BETON ARMAT								
Element de peretele Interior					Per.de var.a temp. T=24 h		Per.de var.a temp. T=3 h	
d,zid	λ	Rcamp	ρ	c	D	χ_i	D	χ_i
m	W/(m•K)	(m ² •K)/W	kg/ m ³	J/kg	[-]	W/(m ² •K)	[-]	W/(m ² •K)
0,065	1,740	0,343	2500,0	840,0	1,05	18,49	2,96	3,17
0,090		0,358			1,28	20,14	3,62	3,13
0,115		0,372			1,51	21,06	4,28	3,09
0,140		0,386			1,75	21,54	4,95	3,06
0,150		0,392			1,84	21,65	5,21	3,05
0,200		0,421			2,31	21,79	6,54	3,03
0,240		0,444			2,69	21,64	7,60	3,03
0,250		0,450			2,78	21,59	7,86	3,03
0,290		0,473			3,15	21,92	8,92	3,04
0,300		0,478			3,25	21,26	9,19	3,04
0,350		0,507			3,72	20,91	10,51	3,04
0,365		0,516			3,86	20,80	10,91	3,04
0,380		0,524			4,00	20,70	11,30	3,04
0,400		0,536			4,18	20,59	11,84	3,04
0,440		0,559			4,56	20,97	12,89	3,05
0,450		0,565			4,65	20,92	13,16	3,05
0,490		0,588			5,03	20,15	14,22	3,06
0,500		0,593			5,12	20,12	14,48	3,06

Tabel 43. Perete interior

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA								
Peretele Interior					Per.de var.a temp. T=24 h		Per.de var.a temp. T=3 h	
d,zid	λ	Rcamp	ρ	c	D	χ_i	D	χ_i
m	W/(m•K)	(m ² •K)/W	kg/ m ³	J/kg	[-]	W/(m ² •K)	[-]	W/(m ² •K)
0,065	0,800	0,387	1800,0	870,0	1,21	16,62	3,43	3,15
0,115		0,450			1,81	19,15	5,12	3,04
0,240		0,606			3,30	19,22	9,34	3,02
0,365		0,762			4,79	18,07	13,55	3,03
0,490		0,918			6,28	17,61	17,77	3,04

Tabel 44. Perete interior

ZIDARIE DIN CARAMIDA CU GAURI VERTICALE (tip G.V.P.)					Per.de var.a temp. T=24 h		Per.de var.a temp. T=3 h	
Peretele Interior					D	χ_i	D	χ_i
d,zid	λ	Rcamp	ρ	c				
m	W/(m·K)	(m ² ·K)/W	kg/m ³	J/kg	[-]	W/(m ² ·K)	[-]	W/(m ² ·K)
0,090	0,750	0,426	1700,0	870,0	1,51	17,91	4,28	3,08
0,115		0,459			1,81	18,84	5,13	3,04
0,140		0,493			2,11	19,29	5,98	3,02
0,240		0,626			3,31	18,95	9,37	3,02
0,290		0,693			3,91	18,43	11,06	3,02
0,440		0,893			5,71	17,43	16,14	3,03
0,090	0,700	0,435	1550,0	870,0	1,50	17,39	4,25	3,08
0,115		0,470			1,80	18,36	5,09	3,04
0,140		0,506			2,09	18,86	5,92	3,02
0,240		0,649			3,28	18,62	9,27	3,02
0,290		0,720			3,87	18,11	10,95	3,02
0,440		0,935			5,64	17,08	15,97	3,03
0,090	0,640	0,447	1450,0	870,0	1,51	16,99	4,28	3,08
0,115		0,486			1,81	17,97	5,13	3,04
0,140		0,525			2,11	18,48	5,98	3,02
0,240		0,681			3,31	18,24	9,36	3,02
0,290		0,759			3,91	17,72	11,06	3,02
0,440		0,993			5,71	16,70	16,14	3,03
0,090	0,580	0,461	1350,0	870,0	1,53	16,56	4,33	3,08
0,115		0,504			1,83	17,54	5,18	3,04
0,140		0,547			2,14	18,06	6,04	3,02
0,240		0,720			3,35	17,81	9,47	3,02
0,290		0,806			3,96	17,28	11,19	3,02
0,440		1,065			5,78	16,28	16,34	3,03
0,090	0,550	0,470	1250,0	870,0	1,52	16,13	4,29	3,08
0,115		0,515			1,82	17,13	5,14	3,04
0,140		0,561			2,12	17,69	5,98	3,02
0,240		0,742			3,31	17,54	9,38	3,02
0,290		0,833			3,91	17,01	11,07	3,02
0,440		1,106			5,71	15,98	16,16	3,02
0,090	0,460	0,502	1150,0	870,0	1,57	15,61	4,44	3,08
0,115		0,556			1,88	16,57	5,33	3,04
0,140		0,610			2,20	17,08	6,22	3,02
0,240		0,828			3,46	16,80	9,77	3,03
0,290		0,936			4,08	16,25	11,55	3,03
0,440		1,262			5,97	15,31	16,89	3,03

Pe baza rezultatelor prezentate în tabelele de mai sus se poate calcula atât pentru elementele exterioare ale anvelopei cât și pentru elementele interioare, capacitatea termică C [W/K]. Așa cum s-a prezentat anterior la sub-capitolul 4.2 atât în standardul internațional EN ISO 13790 cât și în standardul internațional EN ISO 13786, sunt date relații de calcul a capacității termice interioare.

Datele prezentate de autor în tabelele 32-44 au fost determinate utilizând programul de „RENESTL” a cărui algoritm de calcul este prezentat la sub-capitolul 4.3. Rezultatele prezentate au un grad de precizie ridicat în comparație cu valorile determinate cu relațiile din standardele amintite, deoarece au fost determinate pe baza variației sinusoidale a temperaturii aerului exterior. În calculul valorii capacității termice zonale χ s-au respectat pașii de calcul 1-9 prezentați la sub-capitolul 4.3, conform standardului internațional EN ISO 13786 și EN ISO 13790.

Pentru utilizarea practică a tabelor prezentate în vederea determinării valorii lui C pentru elementele exterioare și/sau interioare se parcurg următoarele etape:

- se stabilesc suprafețele zonelor caracteristice din alcătuirea unui panou de perete interior și/sau exterior,
- se extrag din tabele valorile lui χ aferent detaliului constructiv al zonei caracteristice,
- valoarea lui C se obține prin însumarea produselor dintre aria zonei caracteristice și valoarea lui χ aferentă zonei.

Finalizarea calculului constă în obținerea capacității termice interioare a clădirii, ceea ce presupune însumarea valorilor C obținute pentru fiecare element al anvelopei clădirii împreună cu valorile C ale elementelor interioare conform prevederilor standardelor EN ISO 13786 sau EN ISO 13790.

5.2. EXEMPLU DE APLICARE A REȚELELOR TERMICE ECHIVALENTE

Se va realiza o analogie electrică în scopul modelării elementelor clădirii prin folosirea rezistențelor și capacităților termice.

Pentru a se înțelege tehnica rețelei termice aplicată clădirilor se va exemplifica cu cazul prezentat în continuare. Cu ajutorul unei rețele termice se va stabili transferul termic între două zone mai mici și zona adiacentă (sau exterior). De asemenea se va determina căldura suplimentară necesară pentru a menține temperatura constantă.

În exemplul de față se prezintă cazul unei clădiri industriale, respectiv o fabrică de procesare a cărnii cu trei zone termice care trebuie menținute la temperaturile menționate în

figură. Prin suprafața pereților exteriori vor avea loc pierderi de căldură. Prin suprafața pardoselii și a tavanului se consideră că nu vor avea loc pierderi de căldură deoarece zonele de deasupra și de dedesupt sunt menținute la aceeași temperatură. Temperatura exterioară se consideră egală cu -10°C .

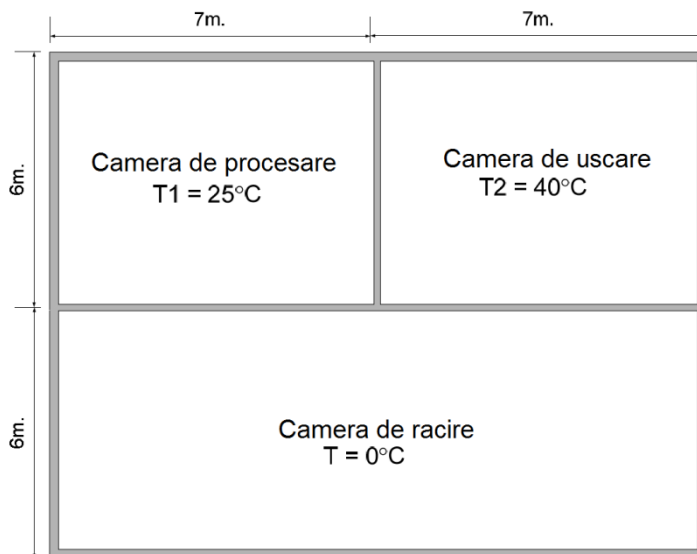


Figura 63. Planul clădirii studiate

Proprietățile peretelui:

- toți pereții se consideră alcătuiți dintrun material uniform cu conductivitate $\lambda=0,03$ W/(m·K);
- grosimea pereților exteriori este de 30 cm;
- grosimea pereților interiori este de 15 cm;
- pentru simplificarea calcului se consideră că ușile sunt etanșe și alcătuite din același material.

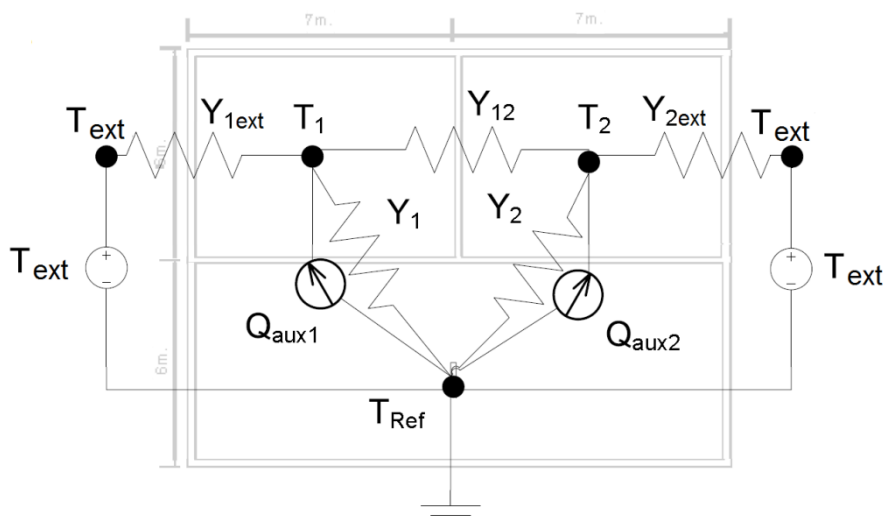


Figura 64. Rețeaua termică a clădirii

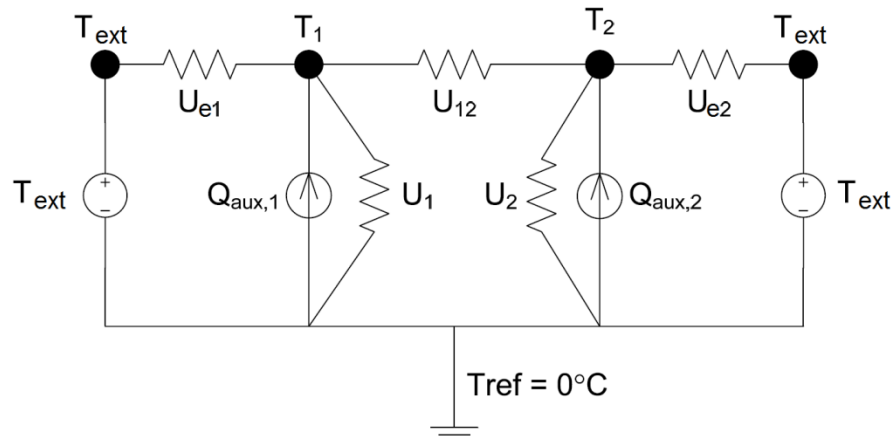


Figura 65. Rețeaua termică echivalentă a clădirii

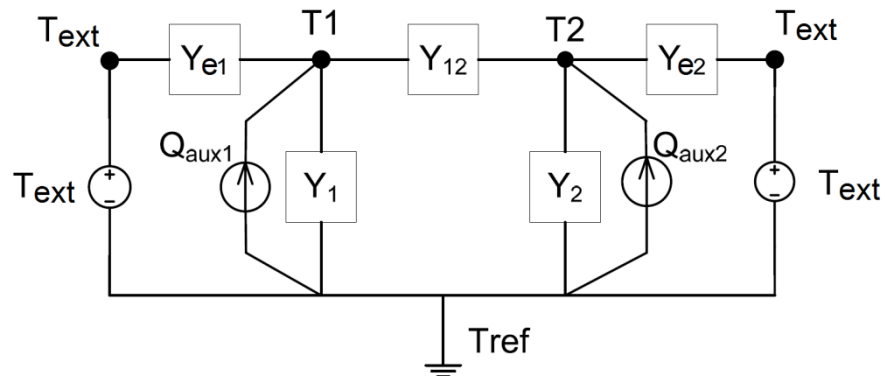


Figura 66. Formularea admitanțelor

Scrierea echilibrul energetic se va face astfel:

Pentru nodul 1 (camera de procesare):

$$\sum q_1 = U_{e1}(T_{ext} - T_1) + U_{12}(T_2 - T_1) + U_1(T_{ref} - T_1) + Q_{aux1}$$

Pentru nodul 2 (camera de uscare):

$$\sum q_2 = U_{e2}(T_{ext} - T_2) + U_{12}(T_1 - T_2) + U_2(T_{ref} - T_2) + Q_{aux2}$$

in formularea matriceală ecuațiile vor arăta după cum urmează:

$$(Y)\{T\} = \{Q_{sursa}\}$$

$$\begin{bmatrix} U_{e1} + U_{12} + U_1 & -U_{12} \\ -U_{12} & U_{e2} + U_{12} + U_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_{aux1} + U_{e1} \cdot T_{ext} \\ Q_{aux2} + U_{e2} \cdot T_{ext} \end{bmatrix}$$

$$\{T\} = (Y)^{-1} \cdot \{Q_{sursa}\}$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{e1} + U_{12} + U_1 & -U_{12} \\ -U_{12} & U_{e2} + U_{12} + U_2 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Q_{aux1} + U_{e1} \cdot T_{ext} \\ Q_{aux2} + U_{e2} \cdot T_{ext} \end{bmatrix}$$

5.3. PROGRAMUL DE CALCUL A TEMPERATURII OPERATIVE A UNUI SPAȚIU ÎN TIMPUL VERII

În prezentul sub-capitol se prezintă algoritmul de validare a programului „TEMOPER” conceput de autor și testul de validare acestuia pe baza metodologiei de calcul a temperaturii prezentate la sub-capitolul 4.4.

Validarea programului de calcul „TEMOPER” se face pe baza metodologiei prezentate la capitolul 4.4 și a procedurii de validare conform punctului 7, subpunctul 7.2 din SR EN ISO 13791. Validarea modelului constă în calcularea temperaturii operative în condiții ciclice, pentru o parte din cazurile prezentate în standard și compararea rezultatelor obținute cu valorile aferente tabelor din standard. Pe baza precizărilor din standard, temperatura operativă se calculează ca media dintre temperatura aerului interior $\theta_{a,i}$ și temperatura radiantă medie θ_{mr} a suprafeței interioare a elementelor încăperii, calculată cu relația:

$$\theta_{mr} = \frac{[\sum_{j=1}^N (\theta_{s,j} \cdot A_j)]}{(\sum_{j=1}^N A_j)} \quad (2.128)$$

unde

N este numărul suprafețelor care delimitează mediul interior;

$\theta_{s,j}$ este temperatura superficială interioară;

A_j este aria suprafeței j

Încercările se vor efectua pe două geometrii diferite, situate în două zone, cu trei tipuri diferite de anvelopă și de ventilare a spațiului.

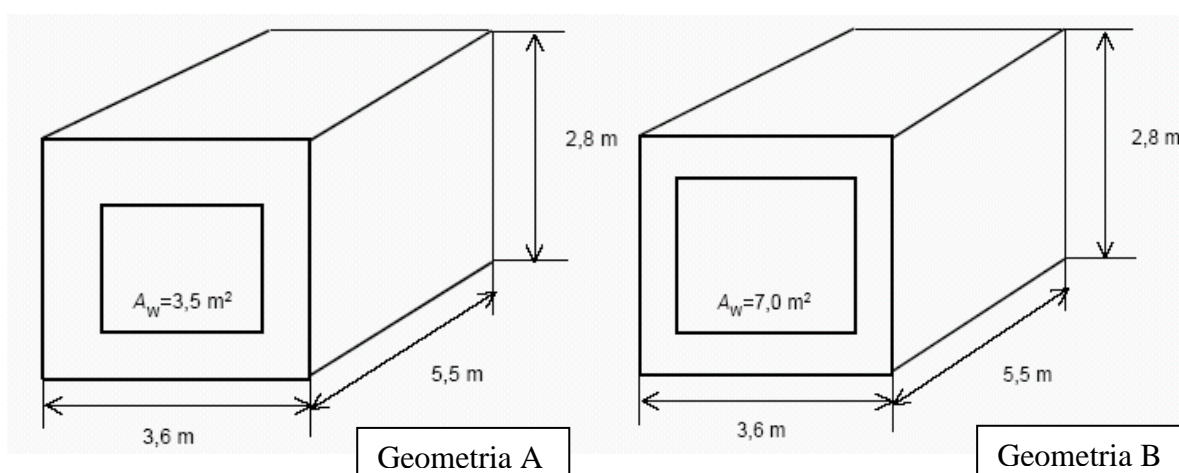


Figura 67. Geometriile studiate

Tabel 45. Caracteristicile geometrice ale încăperii

Element	Geometrie A	Geometrie B
	Arie (m²)	
Perete exterior opac	6,58	3,08
Fereastră	3,50	7,00
Perete despărțitor (stânga)	15,40	15,40
(dreapta)	15,40	15,40
(în spate)	10,08	10,08
Planșeu	19,80	19,80
Tavan	19,80	19,80
Volum (m ³)	55,44	55,44

Tabel 46. Proprietăți termofizice ale elementelor opace

Structura	<i>s</i>	<i>λ</i>	<i>ρ</i>	<i>c_p</i>
	m	W/(m·K)	kg/m ³	kJ/(kg·K)
Tipul nr.1 (perete exterior)				
Strat exterior	0,115	0,99	1800	0,85
Izolație	0,06	0,04	30	0,85
Zidărie	0,175	0,79	1600	0,85
Tencuială interioară	0,015	0,70	1400	0,85
Tipul nr.2 (perete interior)				
Tencuială din gips	0,012	0,21	900	0,85
Izolație	0,10	0,04	30	0,85
Tencuială din gips	0,012	0,21	900	0,85
Tipul nr.3 (tavan/pardoseală)				
Strat de acoperire din plastic	0,004	0,23	1500	1,5
Șapă	0,06	1,40	2000	0,85
Izolație	0,04	0,04	50	0,85
Beton	0,18	2,10	2400	0,85
Tipul nr.4 (tavan/pardoseală)				
Strat de acoperire din plastic	0,004	0,23	1500	1,5
Șapă	0,06	1,40	2000	0,85
Izolație	0,04	0,04	50	0,85
Beton	0,18	2,10	2400	0,85
Izolație	0,10	0,04	50	0,84
Dală acustică	0,02	0,06	400	
Tipul nr.4 (acoperiș)				
Strat exterior	0,004	0,23	1500	1,3
Izolație	0,08	0,04	50	0,85
Beton	0,20	2,1	2400	0,85

Tabel 47. Caracteristici solare ale elementului vitrat și ecranului pentru toate unghiurile de incidență

Element	τ_n	ρ_n
Panou de geam	0,84	0,08
Ecran	0,2	0,50

Pentru determinarea capacității termice a aerului interior, se utilizează capacitatea termică masică a aerului egală cu $1008 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ și densitatea aerului egală cu $1,139 \text{ kg}/\text{m}^3$. Rezistențele termice exterioare, ale stratului de aer și interioare.

$$R_{se} = 0,074 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$R_{cav} = 0,08 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,125 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

Legendă

- 1 Ecran exterior sau oblon
- 2 Geam
- 3

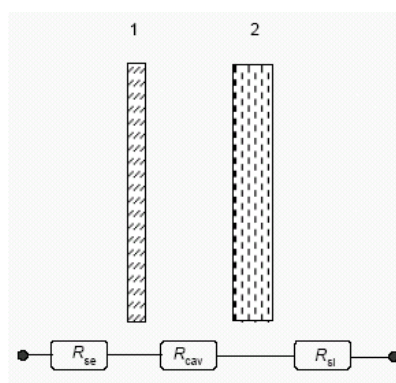


Figura 68. Fereastră cu vitraj simplu

Rezistențele termice exterioare, ale stratului de aer și interioare

$$R_{se} = 0,074 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ec} = 0,08 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$R_{ic} = 0,173 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

$$R_{si} = 0,125 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$$

Legendă

- 1 Ecran exterior sau oblon
- 2 Geam exterior
- 3 Geam interior

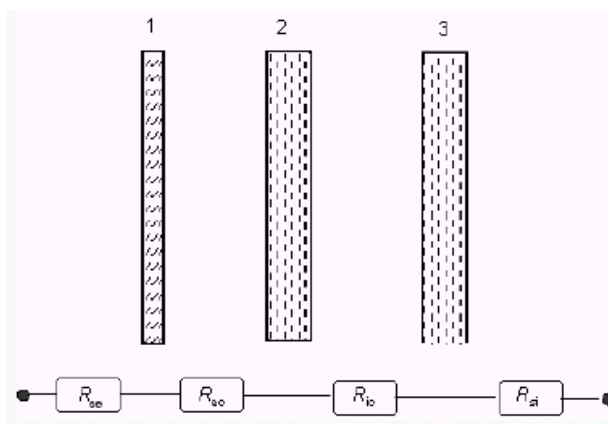


Figura 69. Fereastră cu vitraj dublu cu dispozitiv exterior de umbrire

Parametri solari care se utilizează sunt:

- factor de aport solar al aerului $f_{sa} = 0,10$;
- factor de pierdere solară $f_{sl} = 0,00$;
- factor de repartiție solară pentru:
 - o planșeu $f_d = 0,5$;
 - o tavan $f_d = 0,1$;
 - o ansamblul de pereți verticali (cu excepția ferestrelor) $f_d = 0,4$;
- absorbanta solară a tuturor suprafețelor pereților $\alpha_{sr} = 0,6$;
- absorbanta solară a acoperișului $\alpha_{sr} = 0,9$;

Condițiile la limită considerate în calcul sunt:

- coeficient de schimb convectiv exterior: $h_{c,e} = 8,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- coeficient de schimb convectiv interior:
 - o $h_{c,i} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (flux termic orizontal);
 - o $h_{c,i} = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (flux termic ascendent);
 - o $h_{c,i} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (flux termic descendent);
- coeficient de transfer termic radiativ: $h_{r,e} = 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (toate suprafețele);
(valabil pentru $\varepsilon = 0,93$ și $T_{mr} = 303 \text{ K}$)

Datele climatice sunt redată în tabelele care urmează :

Tabel 48. Elemente de radiație solară pentru configurația geometrică A

Ora	Latitudine de 40° N					
	Orizontal			Vertical, expunere vest		
	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²
4	0	0	0	0	0	0
5	1	3	0	0	2	0
6	106	62	0	0	45	17
7	278	91	0	0	78	37
8	452	105	0	0	103	56
9	606	112	0	0	122	72
10	725	117	0	0	137	84
11	801	119	0	0	145	92
12	827	120	0	0	160	95
13	801	119	0	209	172	92
14	725	117	0	396	180	84
15	606	112	0	539	181	72
16	452	105	0	616	172	56
17	278	91	0	595	146	37
18	106	62	0	418	93	17
19	1	3	0	17	3	0
20	0	0	0	0	0	0

Tabel 49. Elemente de radiație solară pentru configurația geometrică B

Ora	Latitudine de 40° N					
	Orizontal			Vertical, expunere vest		
	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²	direct W/m ²
4	0	0	0	0	0	0
5	35	34	0	0	15	7
6	153	73	0	0	33	23
7	295	93	0	0	42	39
8	435	104	0	0	47	54
9	558	110	0	0	50	67
10	654	114	0	0	51	77
11	714	116	0	0	52	83
12	735	117	0	0	64	85
13	714	116	0	204	78	83
14	654	114	0	387	94	77
15	558	110	0	529	107	67
16	435	104	0	609	115	54
17	295	93	0	606	111	39
18	153	73	0	492	89	23
19	35	34	0	223	41	7
20	0	0	0	0	0	0

Tabel 50. Temperatura aerului exterior pentru configurația geometrică A

Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C
1	23,6	7	22,8	13	32,7	19	29,9
2	23,0	8	23,9	14	33,6	20	28,4
3	22,5	9	25,8	15	34,0	21	27,0
4	22,1	10	27,3	16	33,6	22	25,8
5	22,0	11	29,3	17	32,8	23	24,9
6	22,2	12	31,2	18	31,5	24	24,2

Tabel 51. Temperatura aerului exterior pentru configurația geometrică B

Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C	Ora	θ_{ao} °C
1	14,1	7	13,1	13	26,2	19	22,6
2	13,3	8	14,6	14	27,5	20	20,5
3	12,6	9	16,6	15	28,0	21	18,7
4	12,2	10	19,0	16	27,5	22	17,1
5	12,0	11	21,8	17	26,4	23	15,8
6	12,3	12	24,3	18	24,6	24	14,9

Fluxul termic este transferat către încăperea prin convecție și radiație în proporții egale (50% pentru fiecare).

Tabel 52. Fluxul termic total datorită surselor interioare pe suprafață de planșeu

Ora	Φ_i W/m ²	Ora	Φ_i W/m ²	Ora	Φ_i W/m ²	Ora	Φ_i W/m ²
0 la 1	0	6 la 7	0	12 la 13	10	18 la 19	15
1 la 2	0	7 la 8	1	13 la 14	10	19 la 20	15
2 la 3	0	8 la 9	1	14 la 15	10	20 la 21	15
3 la 4	0	9 la 10	1	15 la 16	1	21 la 22	15
4 la 5	0	10 la 11	1	16 la 17	1	22 la 23	10
5 la 6	0	11 la 12	10	17 la 18	1	22 la 24	0

Valoarea totală zilnică a aporturilor interne este 117 Wh/m².

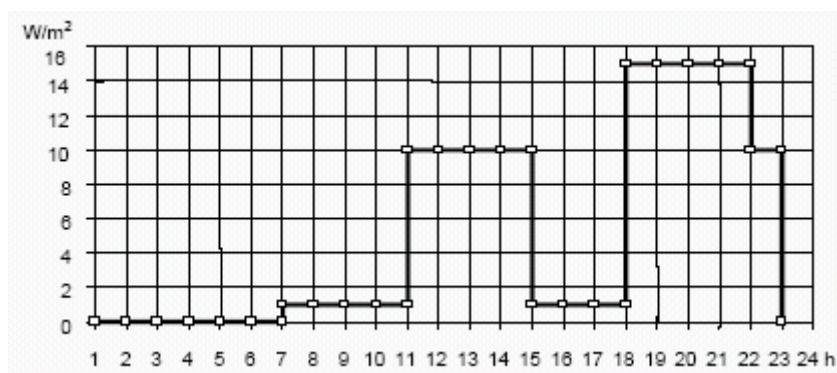


Figura 70. Aporturi interne

În cazul ventilării se vor lua în considerare trei scheme diferite de ventilare prezentate mai jos și în tabel:

- schimburi de aer/h egal cu 1 h⁻¹, constant;
- schimburi de aer/h egal cu 0,5 h⁻¹, constant de la 6:00 a.m până la 18:00 p.m. (inclusiv) – alte schimburi de aer/h egal cu 10 h⁻¹, constant;
- schimburi de aer/h egal cu 10 h⁻¹, constant.

Tabel 53. Schimburi de aer pe oră [h⁻¹]

Ora	a	b	c	Ora	a	b	c
0 la 1	1	10	10	12 la 13	1	0,5	10
1 la 2	1	10	10	13 la 14	1	0,5	10
2 la 3	1	10	10	14 la 15	1	0,5	10
3 la 4	1	10	10	15 la 16	1	0,5	10
4 la 5	1	10	10	16 la 17	1	0,5	10
5 la 6	1	10	10	17 la 18	1	0,5	10
6 la 7	1	0,5	10	18 la 19	1	10	10
7 la 8	1	0,5	10	19 la 20	1	10	10
8 la 9	1	0,5	10	20 la 21	1	10	10
9 la 10	1	0,5	10	21 la 22	1	10	10
10 la 11	1	0,5	10	22 la 23	1	10	10
11 la 12	1	0,5	10	23 la 24	1	10	10

Incercările de validare se vor efectua după cum urmează:

A. *Geometria A*: se vor realiza trei teste așa cum se observă în tabelul 54, unde tipul elementelor se identifică prin numerele utilizate în tabelul 46 și literele utilizate în figura 68. Vitrajul se consideră cu un singur panou de geam cu ecran exterior complet închis expus către vest. Aria peretelui exterior opac 6,58 m² și aria ferestrei 3,5 m².

Tabel 54. Cazurile A de încercări

Încercare nr.	Perete exterior opac	Vitraj	Perete despărțitor vertical către încăperea similară	Tavan către încăperea similară	Planșeu peste încăperea similară	Acoperiș
A.1	1	simplu	2	4	4	-
A.2	1	simplu	2	3	3	-
A.3	1	simplu	2	5	3	5

B. *Geometria B*: se vor realiza trei încercări așa cum se observă în tabelul 55, unde tipul elementelor se identifică prin numerele utilizate în tabelul 46 și literele utilizate în figura 69. Vitrajul se consideră cu două panouri de geam cu ecran exterior complet închis expus către vest. Aria peretelui exterior opac 3,08 m² și aria ferestrei 7,0 m².

Tabel 55. Cazurile B de încercări

Încercare nr.	Perete exterior opac	Vitraj	Perete despărțitor vertical către încăperea similară	Tavan către încăperea similară	Planșeu peste încăperea similară	Acoperiș
B.1	1	dublu	2	4	4	-
B.2	1	dublu	2	3	3	-
B.3	1	dublu	2	5	3	5

Se vor calcula pentru fiecare încercare următoarele date determinate în condiții ciclice:

- valoarea maximă zilnică a temperaturii operative $\theta_{op, max}$
- valoarea medie zilnică a temperaturii operative $\theta_{op, med}$
- valoarea minimă zilnică a temperaturii operative $\theta_{op, min}$

Pentru fiecare caz comparația cu valorile din tabelul 56 pentru geometria A și tabelul 57 pentru geometria B, trebuie să indice o diferență mai mică de 0,5 K. Valorile din tabel sunt cele din tabellele standardului EN ISO 13791.

Tabel 56. Temperatura operativă pentru geometria A

Încercare	Ventilare	$\theta_{op, max}$	$\theta_{op, med}$	$\theta_{op, min}$
		°C	°C	°C
A.1	a)	38,7	35,9	33,6
	b)	34,1	29,4	25,5
	c)	33,5	29,0	25,4
A.2	a)	37,6	35,9	34,4
	b)	32,2	29,5	26,5
	c)	32,4	29,1	26,4
A.3	a)	40,8	38,7	37,1
	b)	35,4	31,6	28,0
	c)	33,8	30,3	27,4

Tabel 57. Temperatura operativă pentru geometria B

Încercare	Ventilare	$\theta_{op, max}$	$\theta_{op, med}$	$\theta_{op, min}$
		°C	°C	°C
B.1	a)	35,9	30,5	27,2
	b)	29,9	21,3	16,4
	c)	28,1	21,5	16,2
B.2	a)	33,7	30,8	28,5
	b)	26,7	22,2	17,9
	c)	26,4	21,7	17,7
B.3	a)	36,0	32,7	30,3
	b)	29,6	24,2	19,2
	c)	27,7	22,7	18,6

În anexa J a standardului EN ISO 13791 sunt date valorile orare ale temperaturii operative obținute pe fiecare interval orar, pentru încercările descrise anterior.

Pentru validarea programului „TEMOPER” dezvoltat se prezintă valorile obținute pentru un caz aferent fiecărei clădiri analizate.

- Tipul de clădire: A și Varianta Climatică: 1

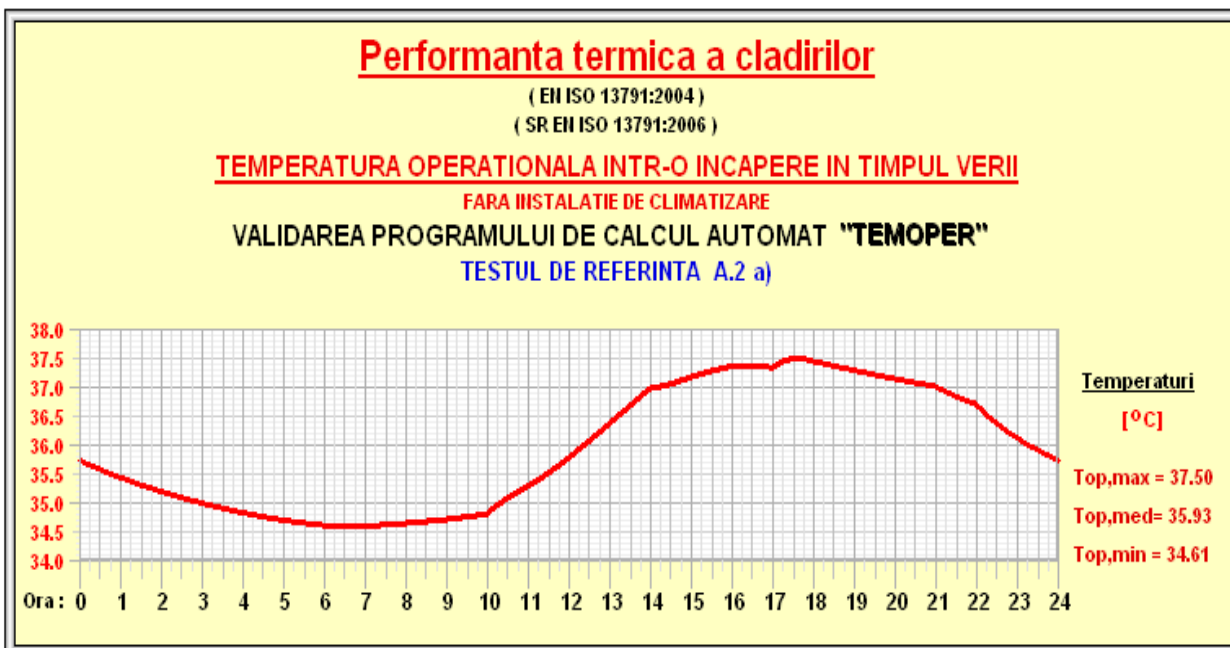
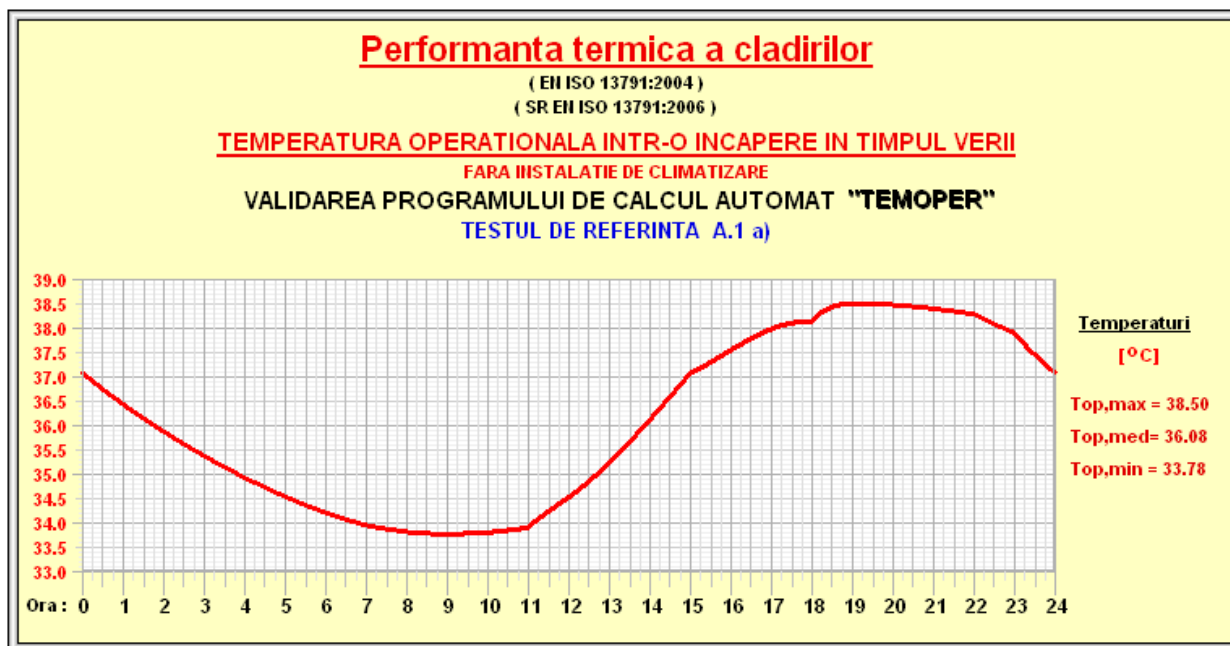
	$\theta_{op, max}$	$\theta_{op, med}$	$\theta_{op, min}$
EN ISO 13791	38,7	35,9	33,6
Prg. „TEMOPER	38,65	35,97	33,50
Condiția de validare $\Delta\theta < 0,5$ [°C]	0,05	0,07	0,10

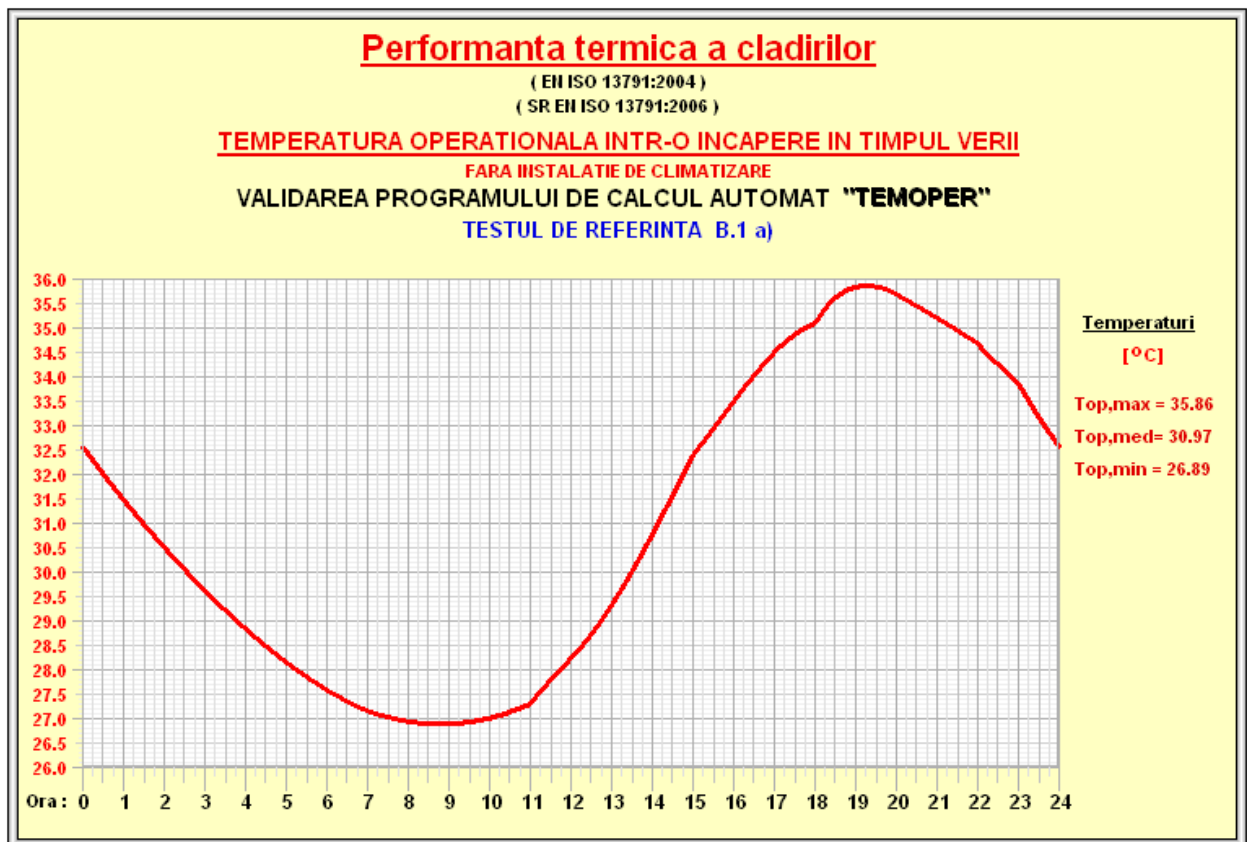
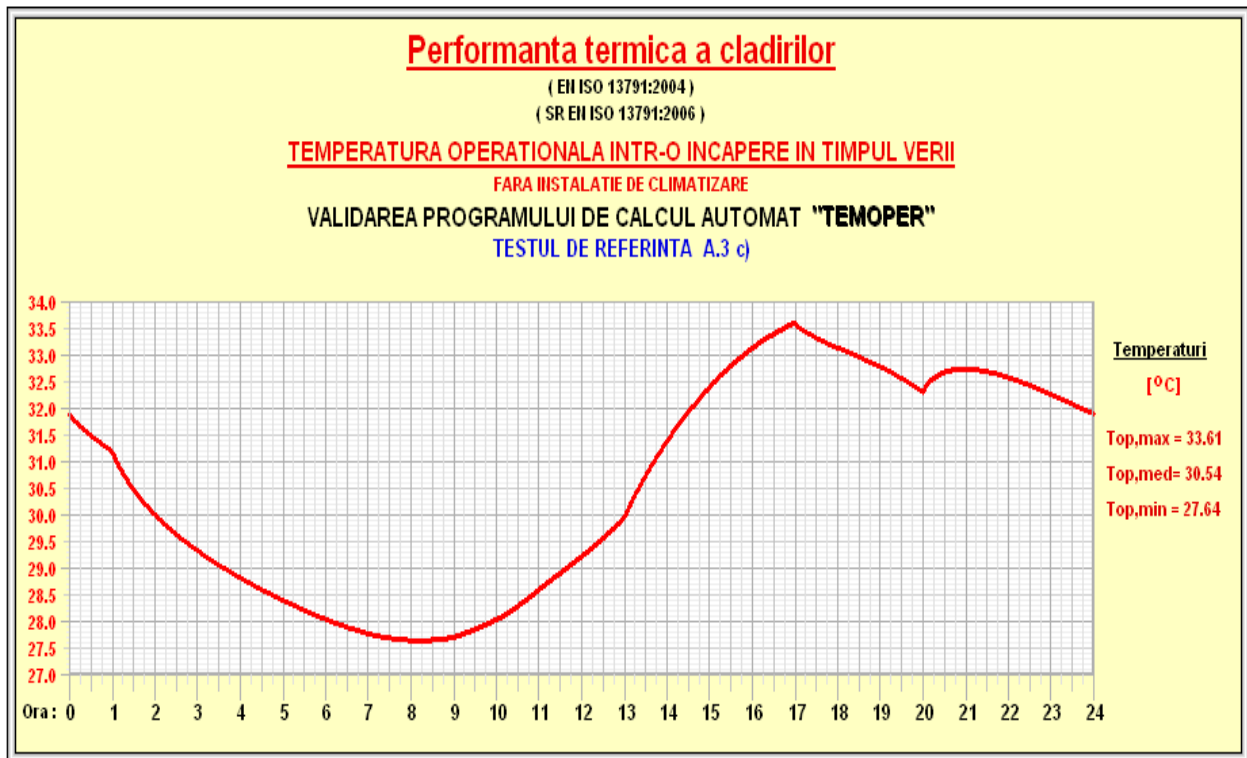
- Tipul de clădire: B și Varianta Climatică: 1

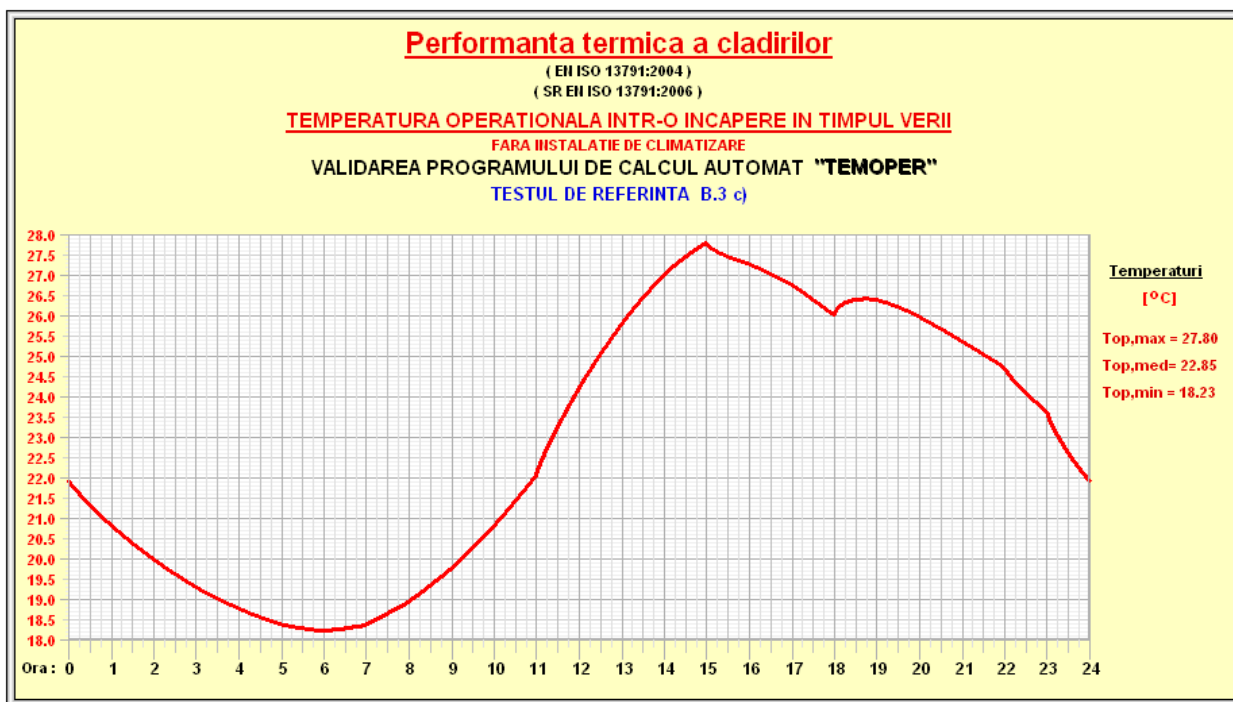
	$\theta_{op, max}$	$\theta_{op, med}$	$\theta_{op, min}$
EN ISO 13791	35,9	30,5	27,2
Prg. „TEMOPER	35,60	30,89	27,16
Condiția de validare $\Delta\theta < 0,5$ [°C]	0,3	0,39	0,04

Analizând rezultatele obținute prezentate în tabele și graficele generate de program se observă respectarea condiției de validare a programului care impune ca temperatura operativă obținută de programul de calcul să trebuie să indice o diferență mai mică de 0,5 K față de valorile amintite în standard în anexa J de validare.

În continuare se prezintă graficele obținute cu programul „TEMOPER” pentru 6 din cele 18 cazuri de validare impuse de standardul EN ISO 13791.







5.4. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL PENTRU LUAREA ÎN CONSIDERAREA A PUNȚILOR TERMICE LA EVALUAREA CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE

Pe baza ideilor prezentate la sub-capitolul 4.6, metodologiile din standardele internaționale EN ISO 13786, EN ISO 13790 și EN ISO 13791, precum și normativul românesc C107/7, nu țin seama de prezența punților termice în stabilirea performanței termice în regim termic nestaționar a elementelor anvelopei clădirii.

Studiul care se prezintă în acest capitol se referă la elaborarea unei metodologii de calcul a caracteristicilor termice dinamice care să țină seama de prezența reală a punților termice în structura elementului de construcție, precum și luarea în considerare a efectului masei punții termice.

Clădirea pe baza a căror elemente s-a realizat studiul este o structură în cadre din beton armat cu stâlpi de 30x40 cm și grinzi de 30x50 cm și planșee de 14 cm grosime. Zidăria de închidere este alcătuită din blocuri ceramice de 25 cm grosime, care este tencuită atât pe suprafața interioară cât și pe suprafața exterioară. Se prezintă cercetările efectuate pentru trei dintre tipurile de elemente de construcție analizate:

- i. perete exterior cu stâlp înglobat

- ii. intersecție orizontală perete exterior cu perete interior
- iii. intersecție planșeu de beton armat cu perețele exterior

Elementele s-au studiat în 4 variante de alcătuire constructivă: cazul neizolat termic, cazul izolat termic cu 10 cm, cazul izolat termic cu 15 cm și cazul izolat termic cu 20 cm de polistiren expandat.

Proprietățile termice amintite în tabelul 58, definesc soluțiile constructive ale celor 3 punți termice în soluții constructive prezentate în figurile 75, 77, 79, valori amintite în stadardele de specialitate din domeniu:

unde

d este grosimea stratului de material în [m]

λ este conductivitatea termică a materialului în $W/(m \cdot K)$

ρ este densitatea aparentă în $[kg/m^3]$

c este căldura specifică a materialului în $[J/(kg \cdot K)]$

Tabel 58. Caracteristicile termice ale materialelor elementului de construcție – perete exterior

Nr.	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul interior		7,692		
1.	Tencuială interioară - mortar	0,020	0,87	1700	840
2.	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
3.	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
4.	Adeziv – mortar	0,025	0,93	1800	840
5.	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10-0,20	0,04	20	1460
6.	Beton armat	cf cazului	2,03	2600	1000
7.	Tencuială exterioară - mortar	0,015	1,00	1800	1000
	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
	Mediul exterior		25		

5.4.1. Determinarea coeficientului liniar de transfer termic ψ și a rezistenței termice corectate R'

Pe baza geometriei reale a fiecărei soluții constructive amintite anterior, s-a determinat valoarea coeficientului de cuplaj termic L^{2D} , coeficientului de transfer termic liniar ψ și valoarea rezistenței termice corectate R' [(m²K)/W], conform formulei (2.127) amintite în capitolul 4:

$$\psi = L^{2D} - \sum_{i=1} U_i \cdot l_i$$

În elaborarea calculului s-a utilizat programul de calcul de tip expert „PSIPLAN” (1995-2014), dezvoltat de colectivul de Fizica Construcțiilor de la Departamentul Construcții Civile și Management al Facultății de Construcții Cluj. Prezentul program utilizează metoda numerică de mare exactitate a bilanțului termic scris în nodurile rețelei de calcul în conformitate cu prevederile SR EN ISO 10211:2008, Anexa A, punctul A.2. (EN ISO 10211, 2007)

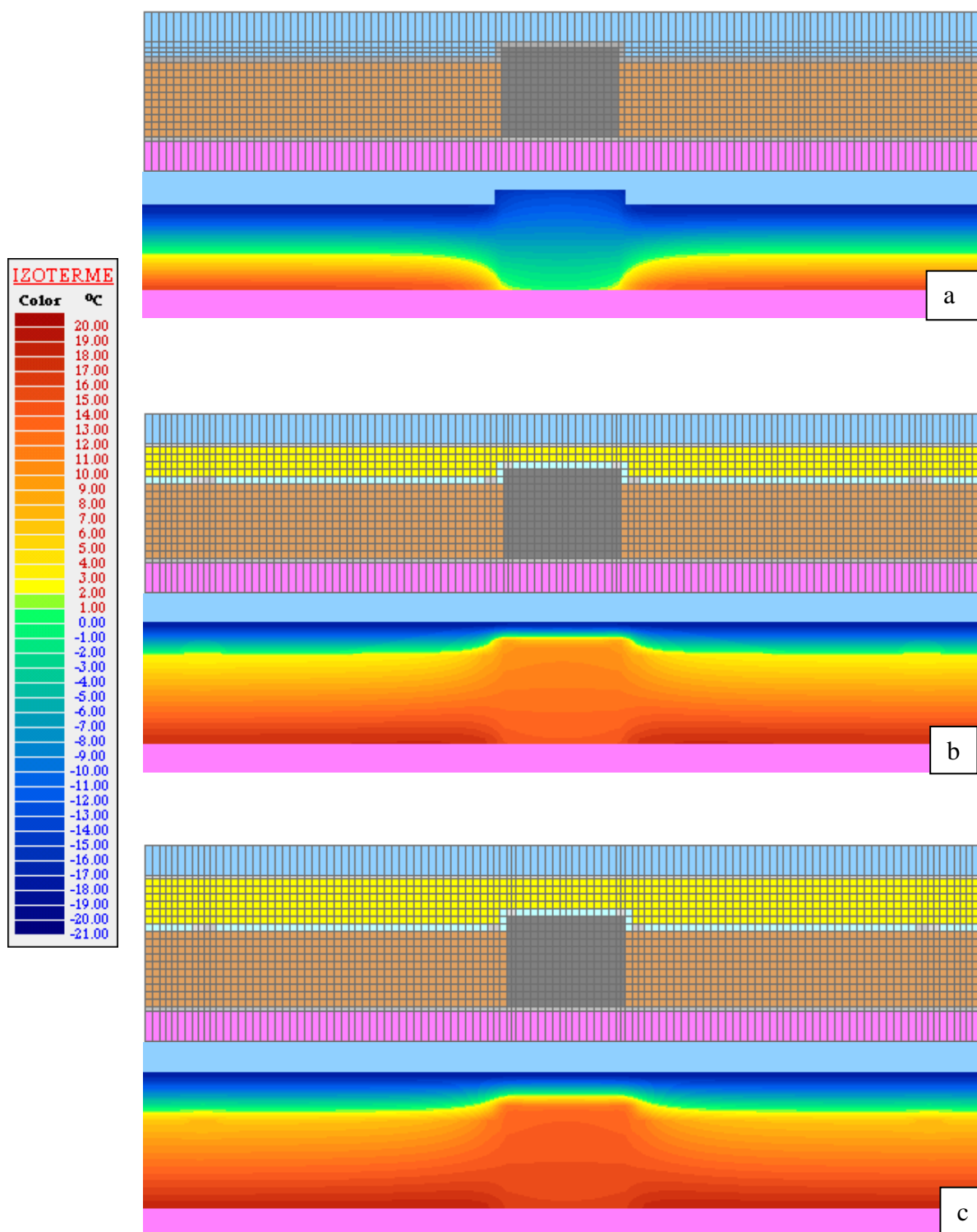
Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al rețelei de calcul. Extinderea gradului de subdivizare al rețelei de calcul este efectuată de către program în mod automat, până când sunt satisfăcute condiții de convergență a rezultatelor obținute în urma rezolvării sistemului de ecuații, prevăzute în standardul SR EN ISO 10211:2008, punctul 12.2.5 - Estimarea erorilor.

Generarea sistemului de ecuații de echilibru energetic, în nodurile rețelei de calcul, se efectuează în mod automat de către programul de calcul. Rețeaua de discretizare cuprinde un număr ridicat de noduri, rezultând sisteme de ecuații cu peste 40.000 de necunoscute, și care se rezolvă prin metode iterative de calcul. Numărul de pași ai rețelei de discretizare este limitat de capacitatea echipamentului de calcul. Numărul tipurilor de materiale care pot fi utilizate de către program pentru descrierea modelului geometric și numărul condițiilor de contur sunt nelimitate.

Pentru simplificarea introducerii datelor de intrare și prelucrării rezultatelor obținute, programul de calcul „PSIPLAN” conține câteva zeci de module de calcul specifice tipurilor de punți termice întâlnite în practica curentă de proiectare a clădirilor noi și de expertizare energetică a clădirilor existente. Librăria programului conține cataloage cu elementele necesare pentru definirea anvelopei clădirii, aranjate pe tipuri constructive și dimensionale.

Programul de calcul „PSIPLAN” este similar cu oricare alt program de calcul validat, care utilizează câmpuri plane de temperatură, rezultatele fiind identice datorită sistemelor de ecuații de echilibru energetic care se scriu în nodurile rețelei și a căror soluții matematice sunt unice, indiferent de structura și tipul programului de calcul utilizat.

I. Perete exterior cu stâlp înglobat



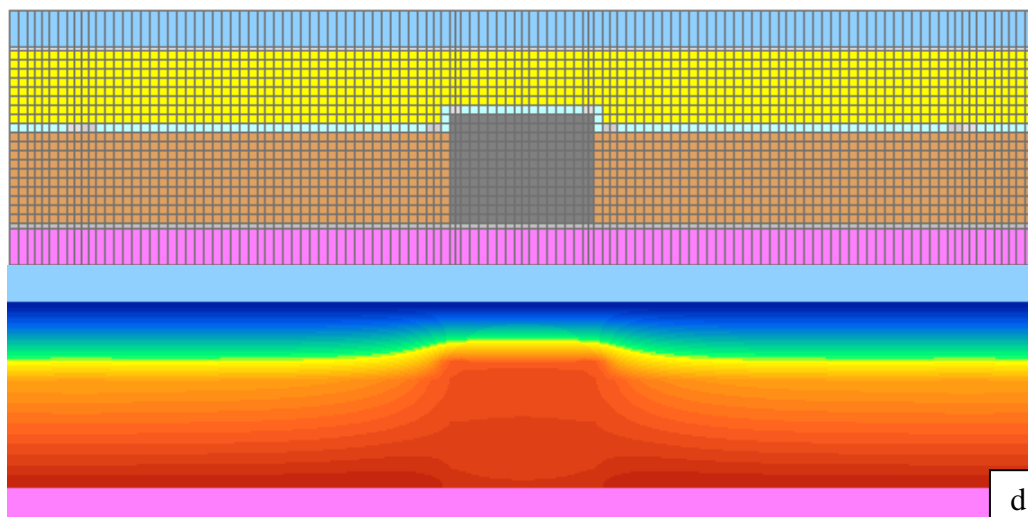


Figura 71. Rețeaua de calcul și izotermele peretelui exterior pentru cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Valorile numerice ale rezultatelor obținute din calcul sunt:

Tabel 59. Valorile coeficienților rezultate din calcul – perete exterior

Coeficienți calculați	Perete exterior			
	Neizolat termic:	Izolat termic		
		10 cm	15 cm	20 cm
L^{2D} [W/(m·K)]	2,563	0,811	0,582	0,459
$\sum_{i=1} U_i \cdot l_i$ [W/(m·K)]	1,520	0,629	0,493	0,405
Ψ [W/(m·K)]	1,043	0,182	0,089	0,054
R' [(m ² ·K)W]	1,112	3,516	4,895	6,202

II. *Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime*

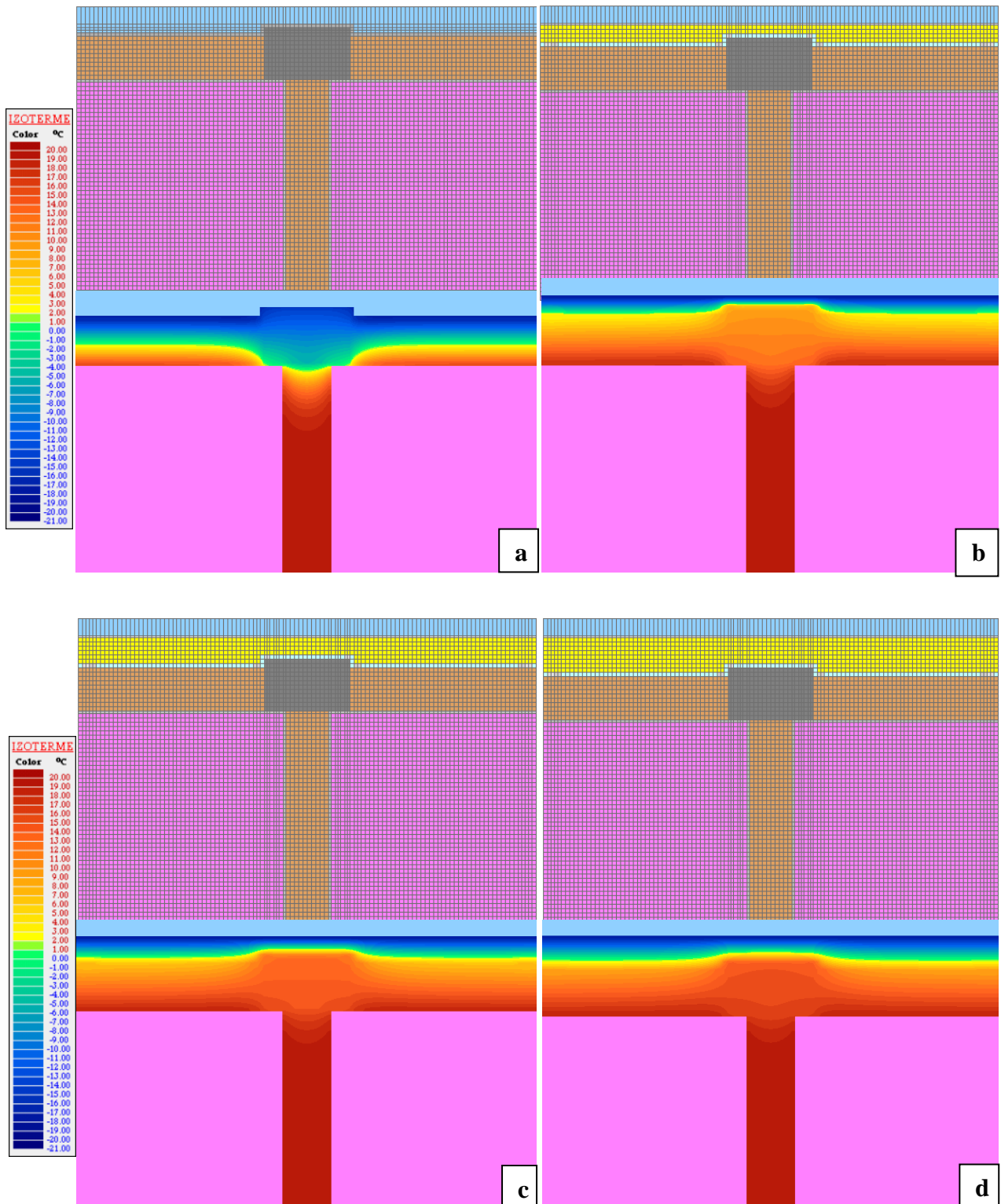


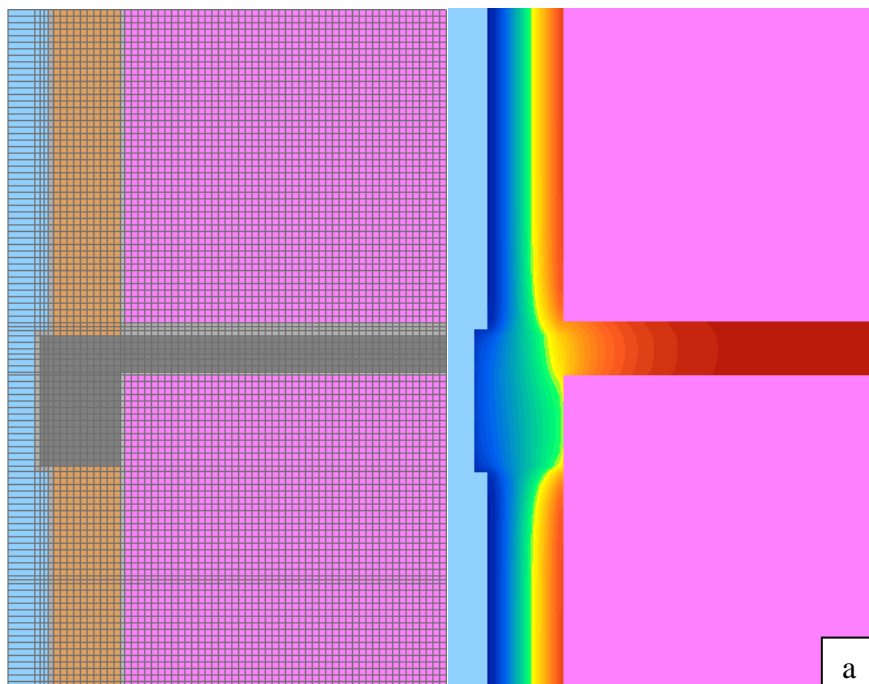
Figura 72. Rețeaua de calcul și izotermele intersecției orizontale perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime pentru cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

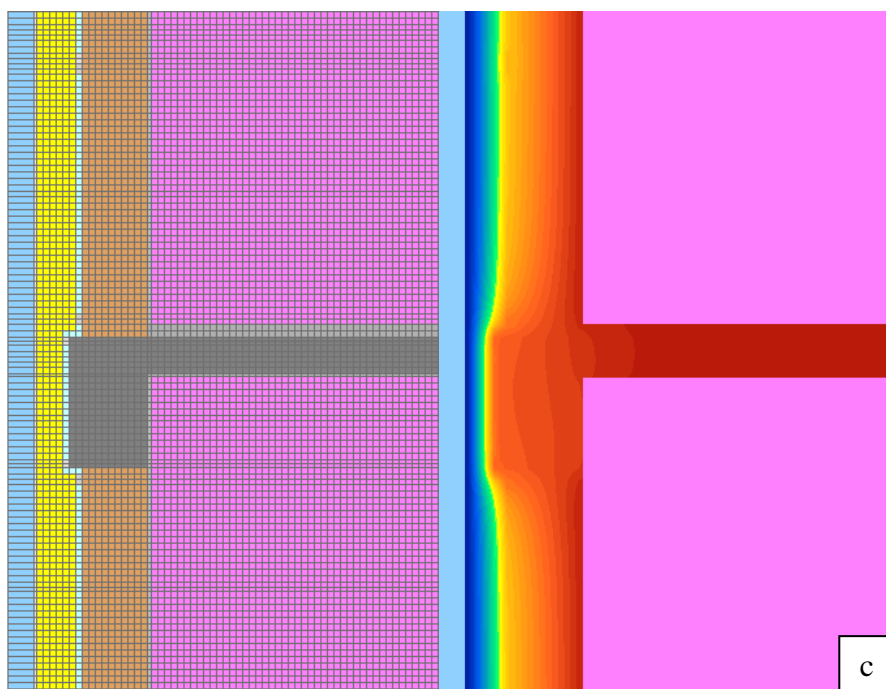
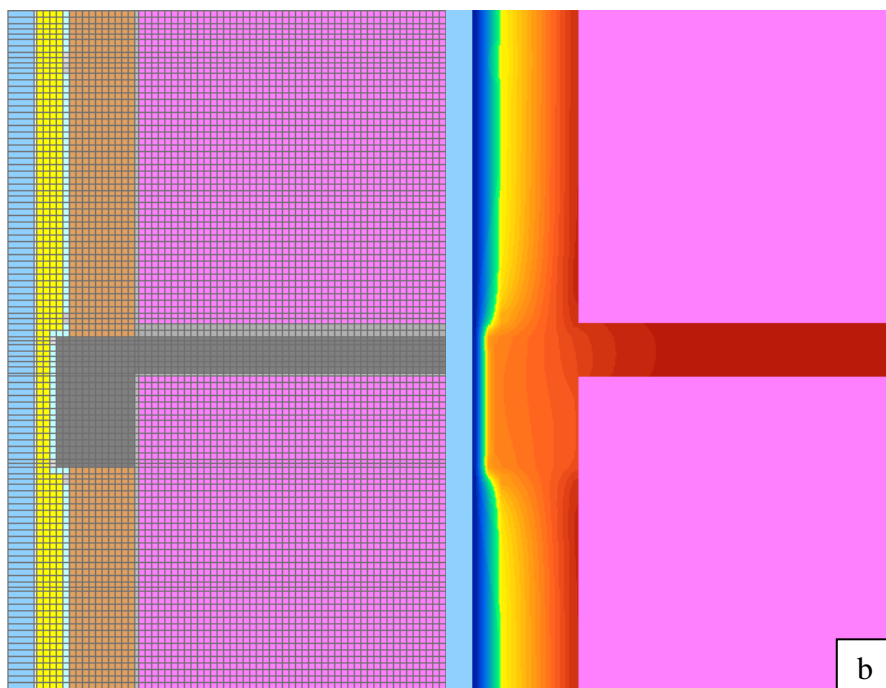
Valorile numerice ale rezultatelor obținute din calcul sunt:

Tabel 60. Valorile coeficienților rezultate din calcul – intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime

Coeficienți calculați	Intersecție orizontală			
	Neizolat termic:	Izolată termic		
		10 cm	15 cm	20 cm
L^{2D} [W/(m·K)]	2,423	0,790	0,561	0,441
$\sum_{i=1} U_i \cdot l_i$ [W/(m·K)]	1,281	0,546	0,425	0,348
Ψ [W/(m·K)]	1,142	0,244	0,137	0,093
R' [(m ² ·K)/W]	0,991	3,036	4,272	5,445

III. Intersecție planșeu de beton armat cu peretele exterior





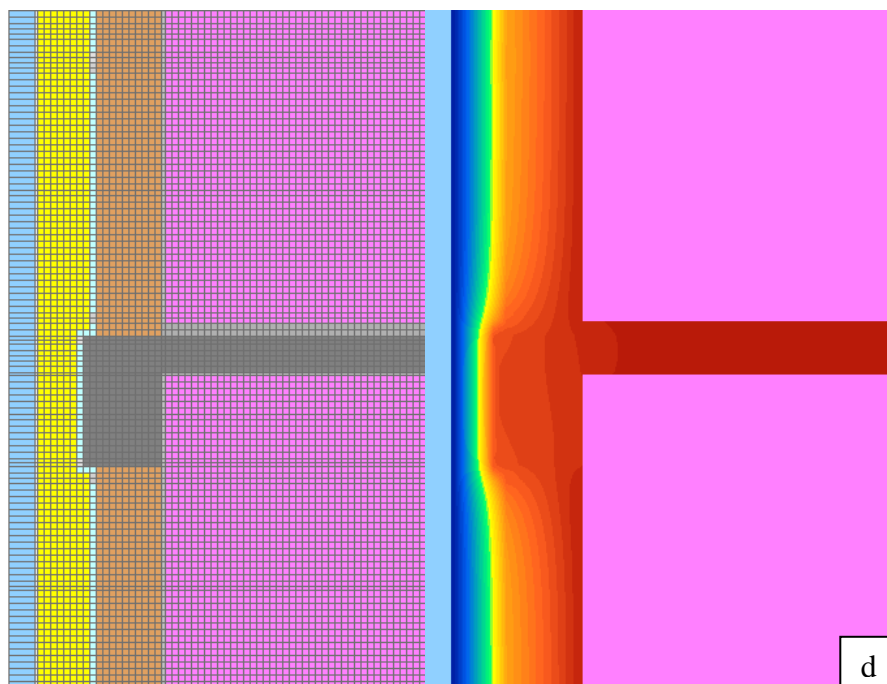


Figura 73. Rețeaua de calcul și izotermele intersecției planșeu beton armat cu perete exterior: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Valorile numerice ale rezultatelor obținute din calcul sunt:

Tabel 61. Valorile coeficienților rezultate din calcul – intersecției planșeu beton armat cu perete exterior

Coeficienți calculați	Intersecție planșeu beton armat cu perete exterior			
	Neizolat termic:	Izolot termic		
		10 cm	15 cm	20 cm
L^{2D} [W/(m·K)]	2,738	0,794	0,557	0,434
$\sum_{i=1} U_i \cdot l_i$ [W/(m·K)]	1,281	0,529	0,415	0,341
Ψ [W/(m·K)]	1,458	0,265	0,142	0,092
R' [(m ² ·K)W]	0,877	3,022	4,313	5,529

5.4.2. *Analiza considerării efectului prezenței punților termice în stabilirea caracteristicilor termice dinamice*

Pentru a include efectului punților termice în evaluare performanței dinamice a elementelor anvelopei clădirii, s-au definit cinci modele de calcul. Pe baza rezultatelor obținute în urma analizei cu aceste modele, se va stabili un modelul adecvat de calcul a fluxului termic unidirecțional care simulează același efect ca și în cazul fluxului termic în regim bi-dimesnional sau tri-dimesnional, în calculul necesarului anual de energie al clădirii.

În continuare se prezintă cele 5 modele de calcul definite:

Modelul 1: calcul se efectuează utilizând caracteristicile geometrice din câmpul curent al elementului, fără luarea în considerare a prezenței punților termice și a inerției termice D a elementului. Pe baza grosimii și a conductivității termice reale a materialelor s-a determinat rezistența termică în câmpul elementului $R_{\text{câmp}}$

Modelul 2: se transformă modelul real într-un model echivalent având straturile cu conductivitate termică omogenă, element pe baza căruia se obține rezistența termică în câmp care trebuie să fie valoric egală cu rezistența termică corectată R' a elementului real (care conține puntea termică)

Modelul 3: se consideră atât elementul în câmpul curent cu rezistența aferentă $R_{\text{câmp}}$ cât și caracteristicile de inerție c și ρ din câmpul curent, fără a se ține seama de prezența punților termice în conformitate cu prescripțiile metodologiilor uzuale în domeniu. (EN ISO 13786, EN ISO 13790, EN ISO 13791 și C107/4)

Modelul 4: conține propunerea autorului privind dezvoltarea unei metode de calcul denumită „Metoda elementului echivalent” în care elementul -modelul real se transformă într-un model echivalent având straturile cu conductivitate termică omogenă, element pe baza căruia se obține rezistența termică în câmp care trebuie să fie valoric egală cu rezistența termică corectată R' a elementului real (care conține puntea termică)

Pe baza grosimii straturilor și a conductivităților termice omogene, se determină noile caracteristici de inerție termică a straturilor, respectiv clădura specifică c și densitatea aparentă, în condițiile asigurării de către noul element a inerției termice D a elementului real.

Calculul numeric pentru modelele 1-4 s-au efectuat cu ajutorul programului RENESTL (1982-2014), prezentat la sub-capitolul 4.3, recomandat în normativul C107/7-2002 (C 107/7, 2002), pentru regimul termic nestanționar, cazul unidirecțional:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

Modelul 5: presupune aplicarea pe geometria reală ce conține puntea termică a calculului dinamic utilizând ecuațiile diferențiale de transfer termic în regim termic netaționar, cazul plan, respectiv:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

prin aplicarea programului de calcul RENESTP (1983-2014), prezentat la subcapitolul 4.3.

Simulările în vederea obținerii fluxului termic interior pentru cele 5 modele, s-au realizat prin considerarea unei temperaturi interioare constantă $\theta_i=20^\circ\text{C}$ și respectiv la suprafața exterioară s-a considerat o variație sinusoidală definită de următoarea relație:

$$\theta_e = \theta_{em} + A_{\theta_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{12} - \varepsilon\right) \quad [^\circ\text{C}]$$

unde

θ_{em} este temperatura exterioară medie în $[^\circ\text{C}]$, pentru Cluj fiind egală cu 2,9 $[^\circ\text{C}]$,

A_{θ_e} este amplitudinea, considerată în calcul cu valoarea de 10 $[^\circ\text{C}]$,

ε este defazajul, considerat în calcul cu valoarea de 9

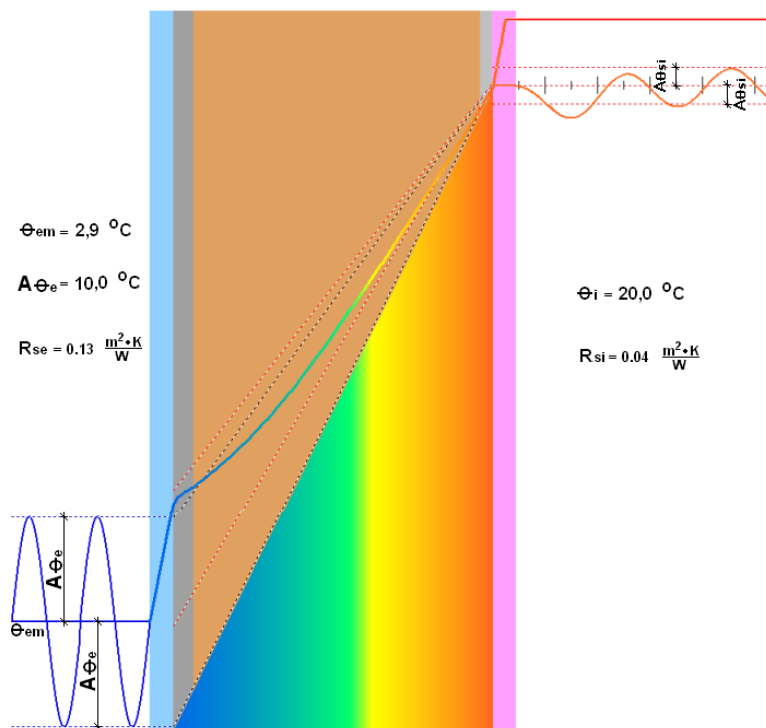


Figura 74. Condițiile de contur pentru modelele comparate

Rezistențele termice superficiale considerate în calcul sunt:

$R_{si}=0,13$ [(m²·K)/W] rezistența termică interioară superficială

$R_{se}=0,04$ [(m²·K)/W] rezistența termică exterioară superficială

I. Perete exterior cu stâlp de beton armat înglobat

Se prezintă rezultatele obținute pentru cele 5 modele studiate.

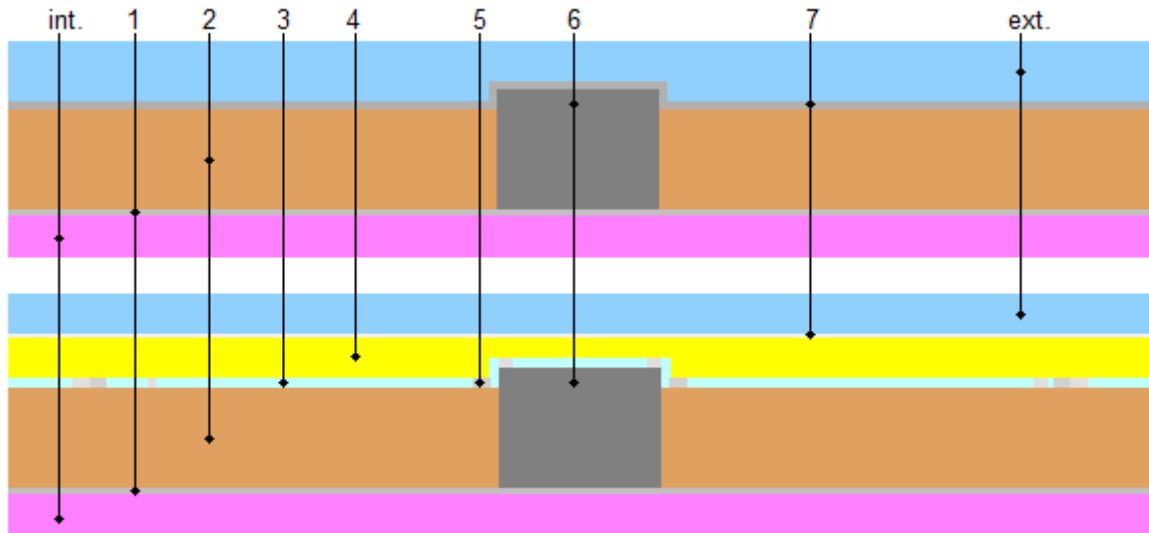


Figura 75. Perete exterior cu stâlp de beton armat de 30x40 cm

Modelul 1:

Tabel 62. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	1,874	[(m²·K)/W]

Tabel 63. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04

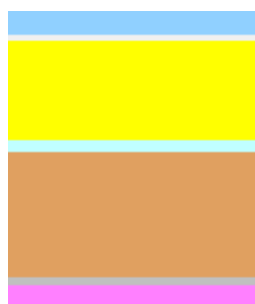
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
R_{câmp}		4,535	[(m²·K)/W]

Tabel 64. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
R_{câmp}		5,785	[(m²·K)/W]

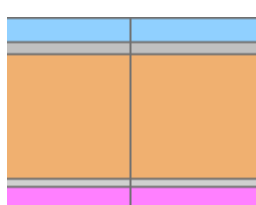
Tabel 65. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativa	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
R_{câmp}		7,035	[(m²·K)/W]

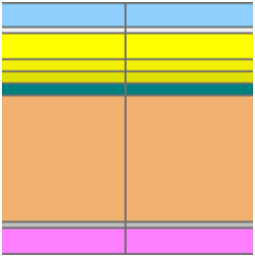
Modelul 2:

Tabel 66. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic



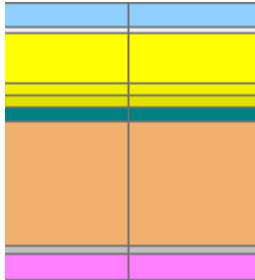
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,070
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,276
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
R'		1,112	[(m²·K)/W]

Tabel 67. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



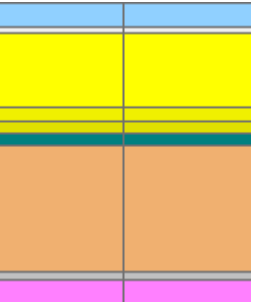
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04
		0,025	0,021
		0,025	0,268
3	Cavitate de aer	0,025	0,4263
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,361
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	3,515	[(m²·K)/W]

Tabel 68. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativa	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
		0,025	0,0186
		0,025	0,266
3	Cavitate de aer	0,025	0,4244
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,359
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	4,895	[(m²·K)/W]

Tabel 69. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativa	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
		0,025	0,0179
		0,025	0,2653
3	Cavitate de aer	0,025	0,4236
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,3570
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	6,202	[(m²·K)/W]

Modelul 3:

Tabel 70. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul interior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00	1800	1000
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul exterior		7,692		
	R_{câmp}	1,874	[(m ² ·K)/W]		
	D_{câmp}	5,875			

Tabel 71. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	4,535	[(m ² ·K)/W]		
	D_{câmp}	6,516			

Tabel 72. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006

2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	5,785	[(m ² ·K)/W]		
	D_{câmp}	6,880			

Tabel 73. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS

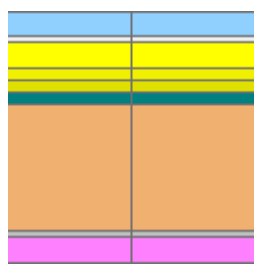
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară- tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	7,035	[(m ² ·K)/W]		
	D_{câmp}	7,245			

Modelul 4:

Tabel 74. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic


	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,070	2443.172	1000
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,276	1477.574	1066,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R'	1,112	[(m ² ·K)/W]		
	D'	5,519			

Tabel 75. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



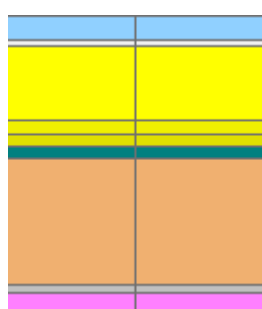
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04	20	1460
		0,025	0,021	68,954	1384,82
		0,025	0,268	479,464	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4263	649,848	991,18
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,361	1451,979	1066,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R'	3,516	[(m ² ·K)/W]		
	D'	6,123			

Tabel 76. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
		0,025	0,0186	68,014	1384,82
		0,025	0,266	472,926	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4244	640,986	991,18
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,359	1432,42 21	1066,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R'	4,895	[(m ² ·K)/W]		
	D'	6,487			

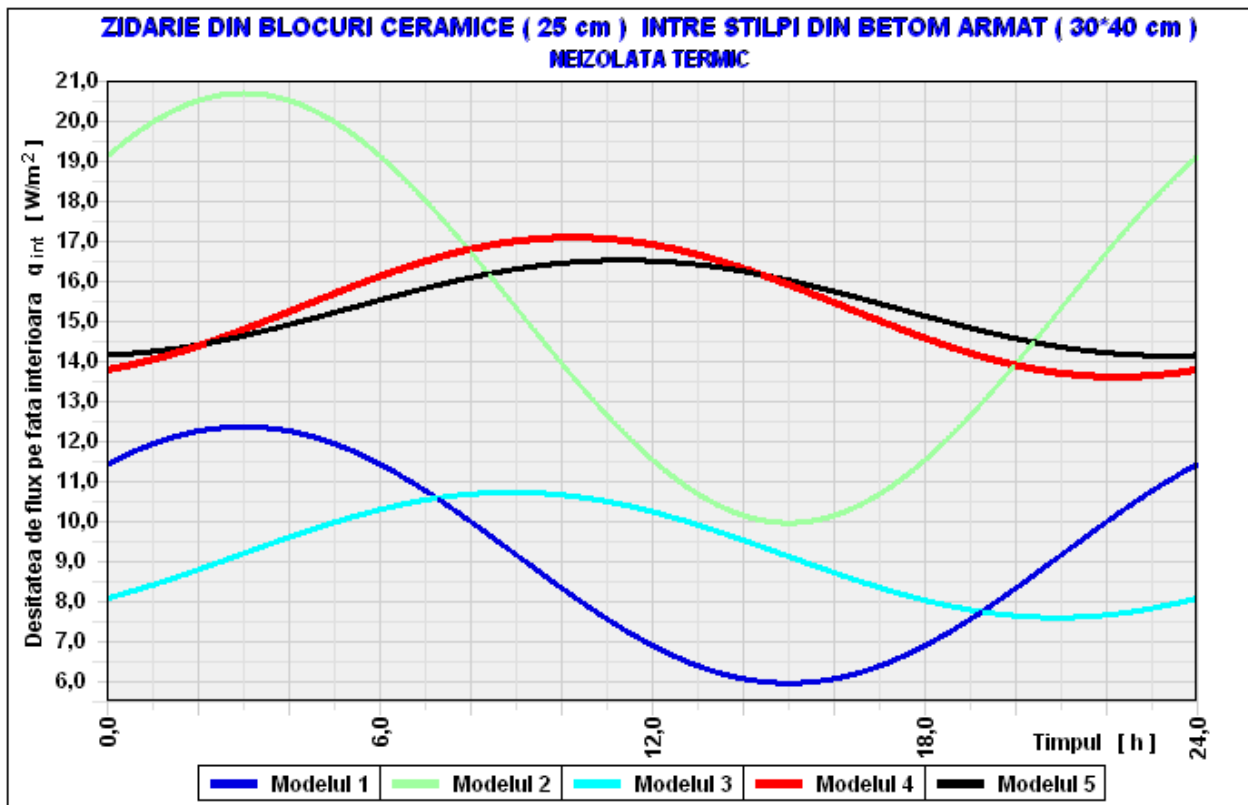
Tabel 77. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS

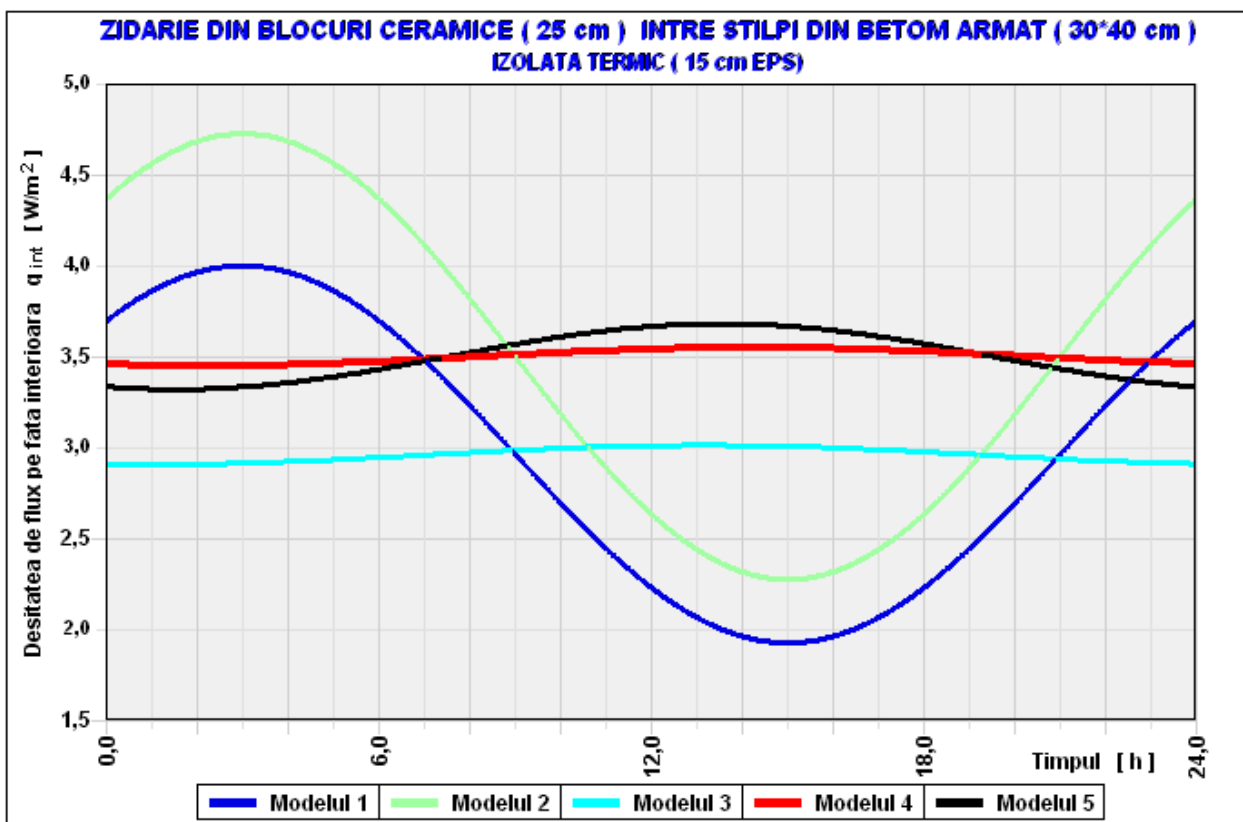
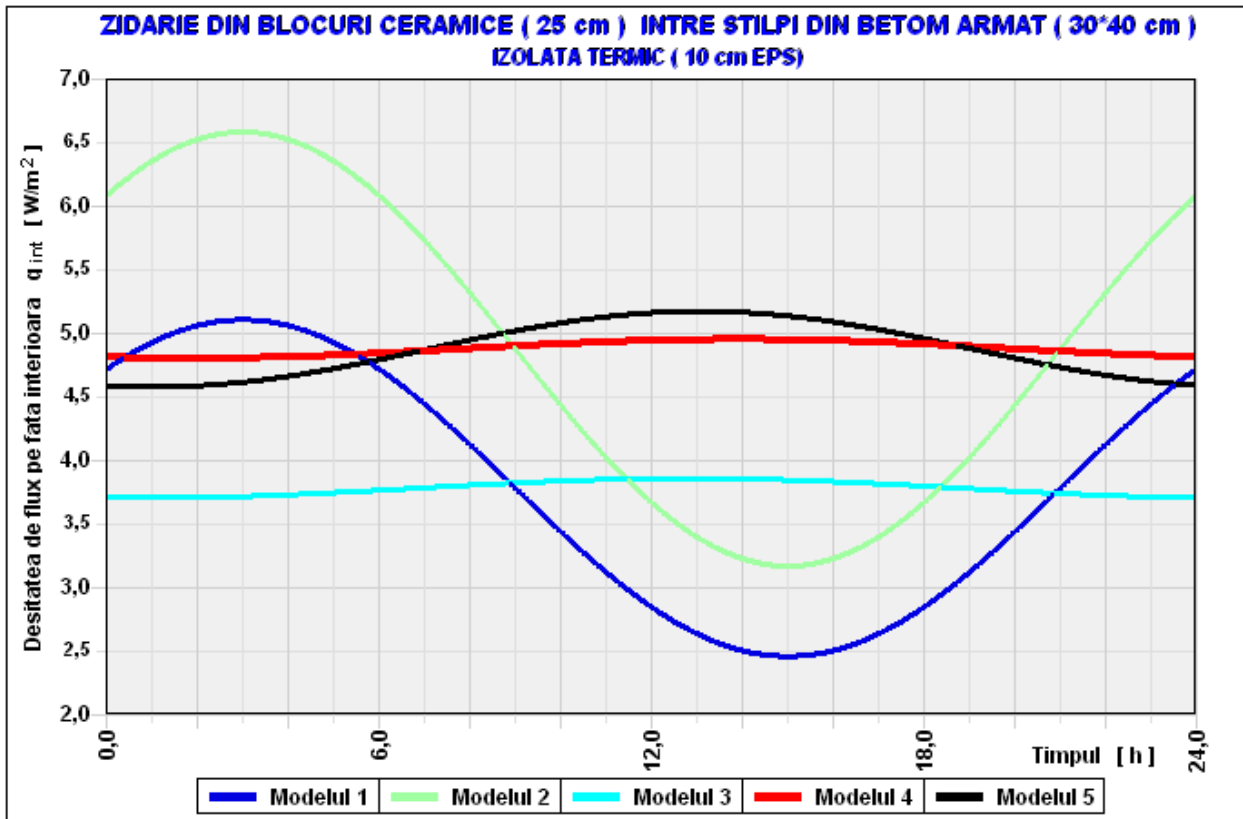


	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
		0,025	0,0179	67,464	1384,82

		0,025	0,2653	469,103	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4236	635,8050	991,18
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,3570	1420,9474	1066,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R'	6,202	[(m²·K)/W]		
	D'	6,851			

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variației sinusoidale a fluxului termic pe suprafața interioară a elementului.





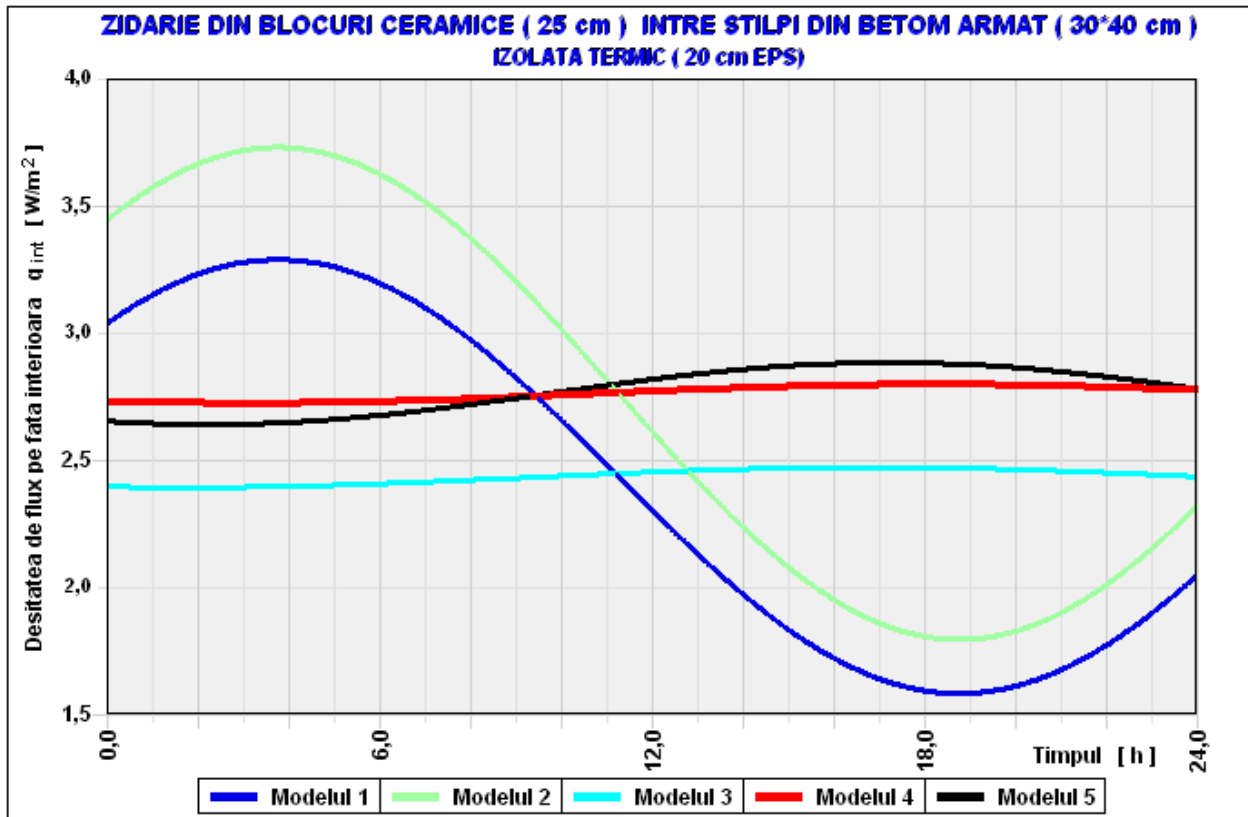


Figura 76. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Pentru un studiu mai cuprinzător a rezultatelor prezentate în figura 76, valori numerice ale q_{max} și ale defazajelor sunt prezentate în tabelul 78. Ca și definiție a termenilor prezentați:

- q_{max} : valoarea maximă a fluxului termic pe fața interioară a elementului
- *Defazajul de undă termică* (ε): timpul, exprimat în ore, după care un maxim de temperatură a aerului exterior care vine în contact cu fața exterioară a elementului se resimte tot la o valoare maximă pe fața interioară a acestuia;

$$\varepsilon = t_{max}^{\theta_{si}} - t_{max}^{\theta_{se}}$$

Tabel 78. Compararea fluxului termic $q_{i,max}$ și a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolant termic					
			10 cm		15 cm		20 cm	
Modelul	$q_{i,max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m ²]	ε [h]
1	12,32	0,00	5,09	0,00	3,99	0,00	3,28	0,00
2	20,66	0,00	6,57	0,00	4,72	0,00	3,73	0,00
3	10,69	5,90	3,85	9,81	3,01	10,12	2,47	10,42
4	17,03	7,24	4,94	10,89	3,54	11,22	2,79	11,54
5	16,97	8,35	5,02	10,08	3,60	10,53	2,82	10,78

II. *Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime*

Pașii de calcul sunt aceiași cu cei prezentați la exemplul anterior. Se prezintă rezultatele obținute pentru cele 5 modele studiate.

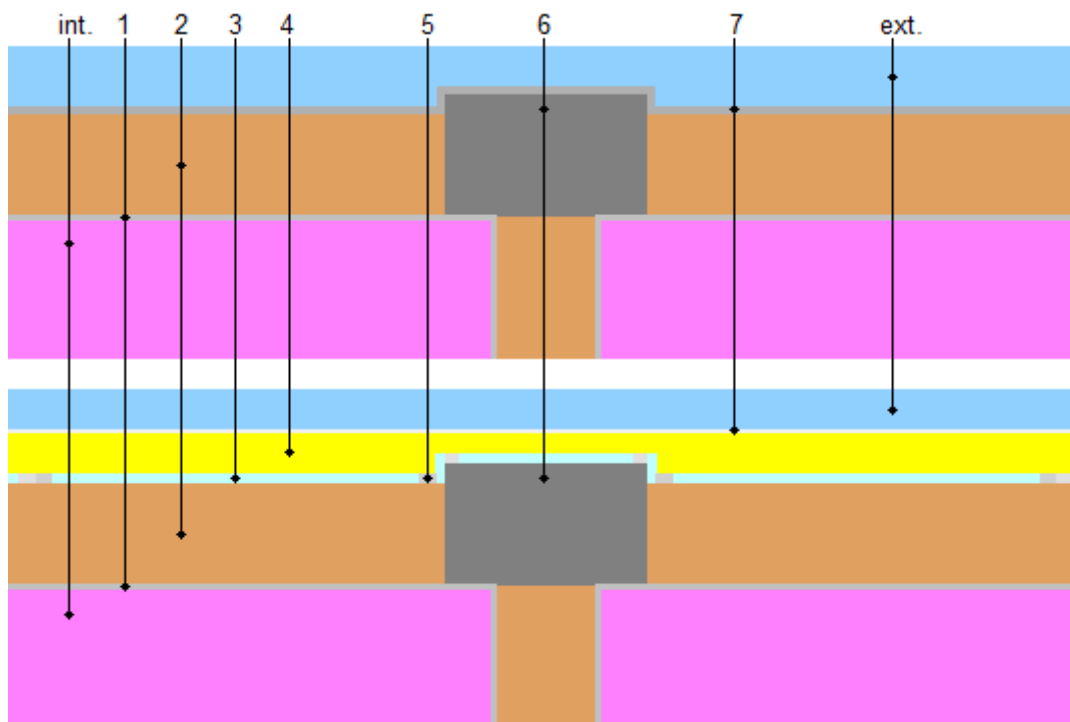


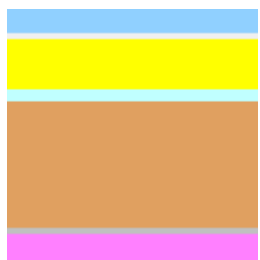
Figura 77. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime

Modelul 1:

Tabel 79. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic

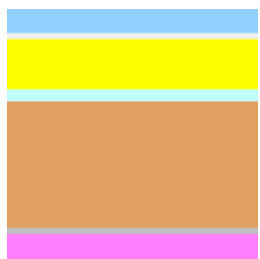
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	1,874	[(m²K)/W]

Tabel 80. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



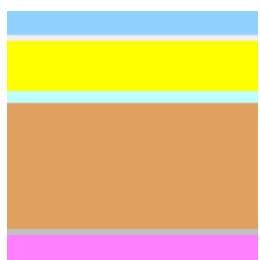
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	4,396	[(m²·K)/W]

Tabel 81. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	5,645	[(m²·K)/W]

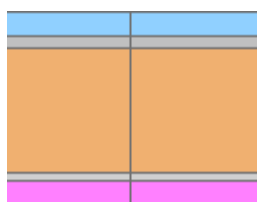
Tabel 82. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	6,895	[(m²·K)/W]

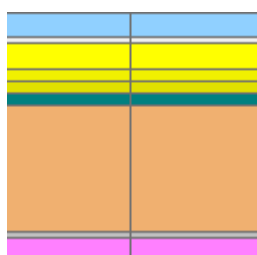
Modelul 2:

Tabel 83. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic



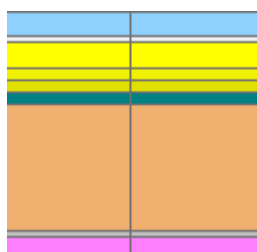
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,013
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,322
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,624
	Mediul interior		7,692
	R'	0,991	[(m²·K)/W]

Tabel 84. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



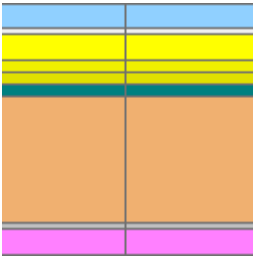
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,361
3	Cavitate de aer	0,025	0,519
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,448
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,692
	R'	3,037	[(m²·K)/W]

Tabel 85. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
		0,025	0,28
		0,025	0,361
3	Cavitate de aer	0,025	0,519
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,448
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,692
	R'	4,273	[(m²·K)/W]


Tabel 86. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
		0,025	0,031
		0,025	0,364
3	Cavitate de aer	0,025	0,521
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,451
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,53
	R'	5,445	[(m ² ·K)/W]


Modelul 3:

Tabel 87. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul interior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00	1800	1000
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul exterior		7,692		
	R_{câmp}	1,874	[(m ² ·K)/W]		
	D	5,875			


Tabel 88. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077

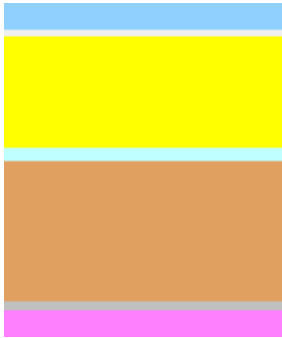
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	4,396	[(m ² ·K)/W]		
	D	6,516			

Tabel 89. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	5,645	[(m ² ·K)/W]		
	D	6,880			

Tabel 90. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	6,895	[(m ² ·K)/W]		
	D	7,245			

Modelul 4:

Tabel 91. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,013	2554,174	1000
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,322	1617,119	1062,63
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,624	2132,348	862,11
	Mediul interior		7,692		
	R'	0,991	[(m ² ·K)/W]		
	D'	5,416			

Tabel 92. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS

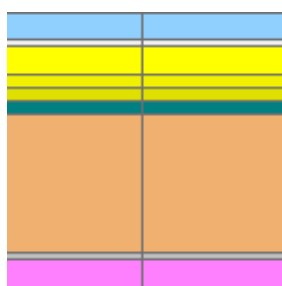
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04	20	1460
		0,025	0,028	79,133	1360,13
		0,025	0,371	709,362	1362,81
3	Cavitate de aer	0,025	0,506	841,244	994,63
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459	1710,05 1	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2407,27 8	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	3,037	[(m ² ·K)/W]		
	D'	6,003			

Tabel 93. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat	0,10	0,04	20	1460

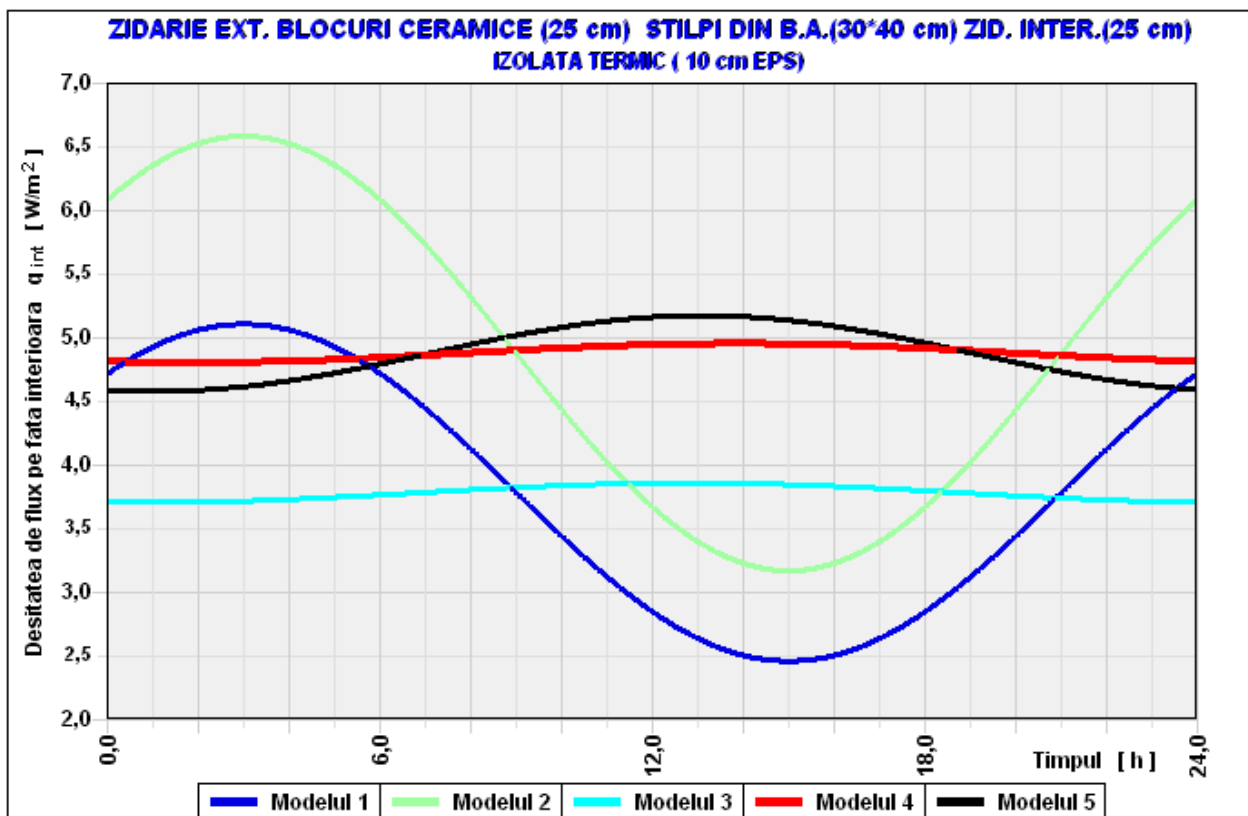
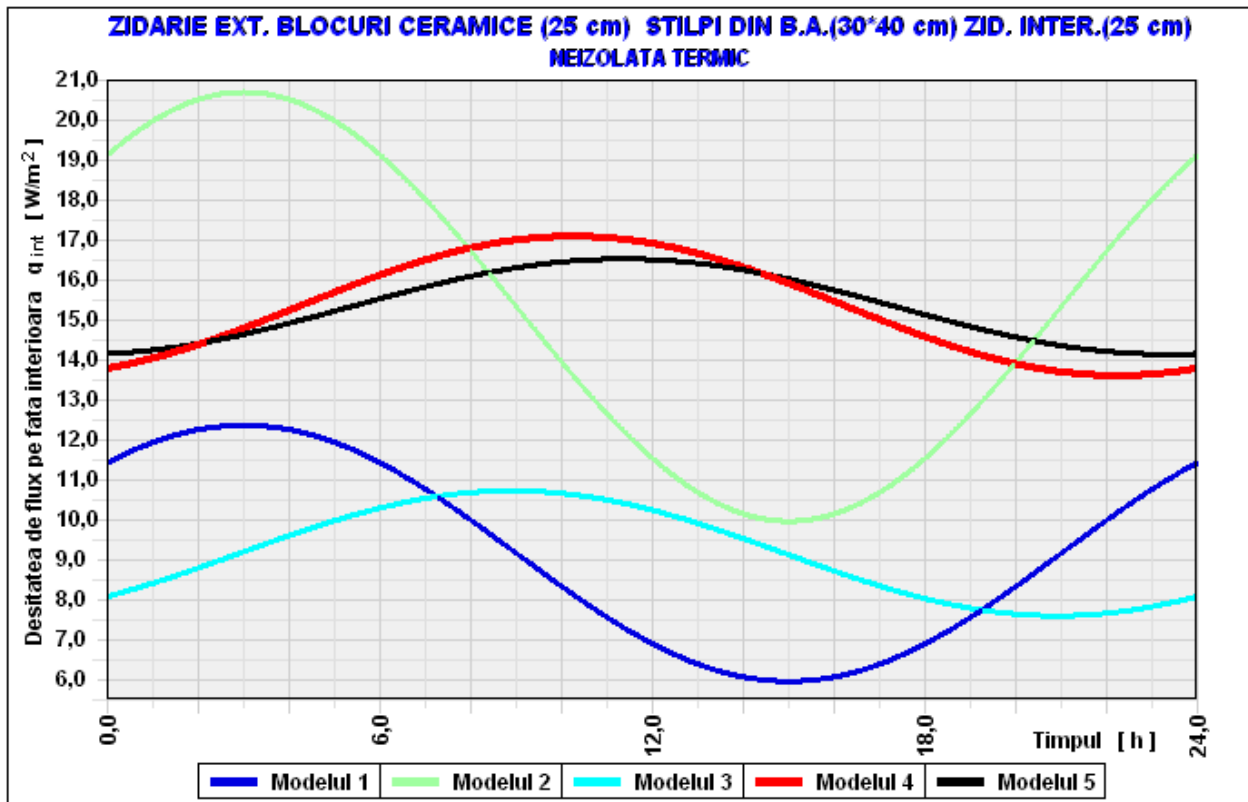
	EPS spumă rigidă	0,025	0,028	77,544	1363,11
		0,025	0,371	688,577	1365,71
3	Cavitate de aer	0,025	0,506	889,471	990,01
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459	1696,25 3	1062,63
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2236,64 5	862,11
	Mediul interior		7,692		
	R'	4,273	[(m²·K)/W]		
	D'	6,367			

Tabel 94. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioră - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
		0,025	0,031	78,518	1363,11
		0,025	0,364	697,228	1365,71
3	Cavitate de aer	0,025	0,521	900,645	990,01
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,451	1717,164	1062,63
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,753	2264,744	862,11
	Mediul interior		7,692		
	R'	5,445	[(m²·K)/W]		
	D'	6,732			

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variației sinusoidale a fluxului termic pe suprafața interioară a elementului.



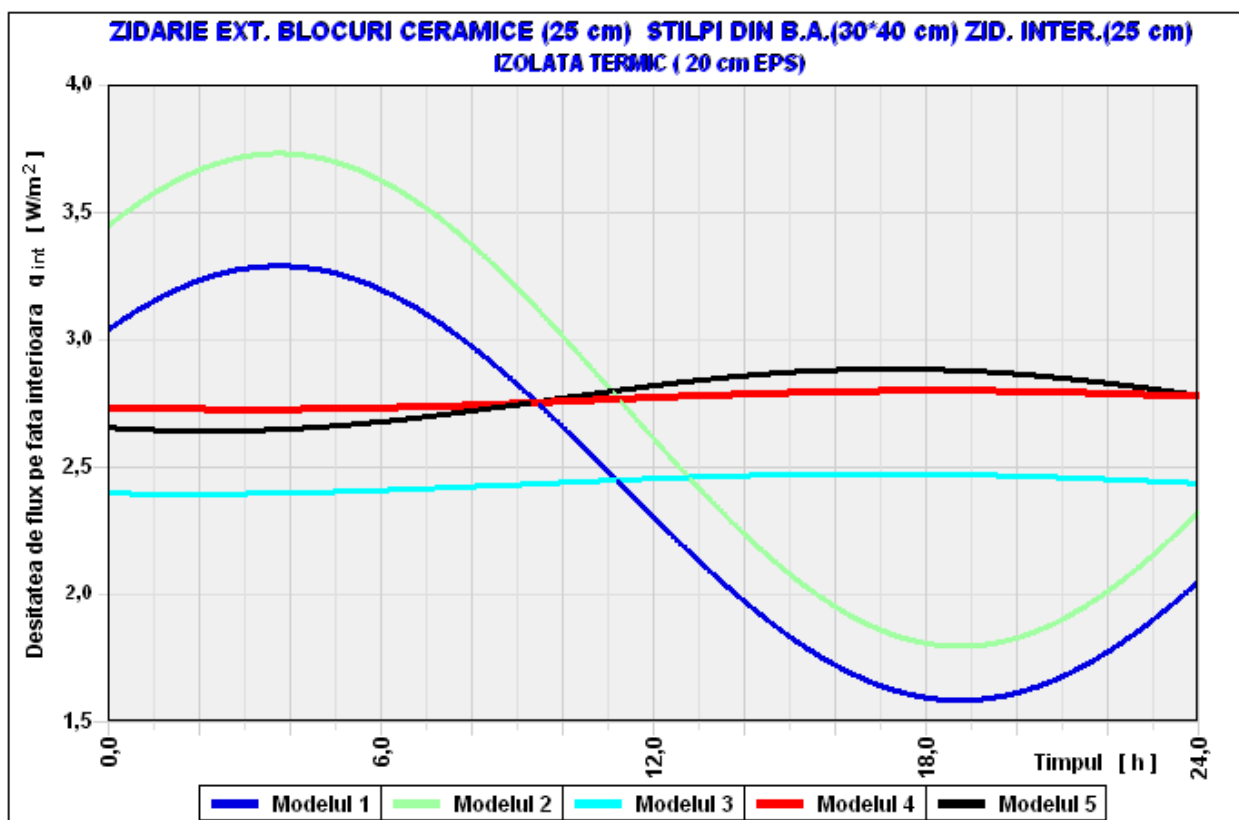
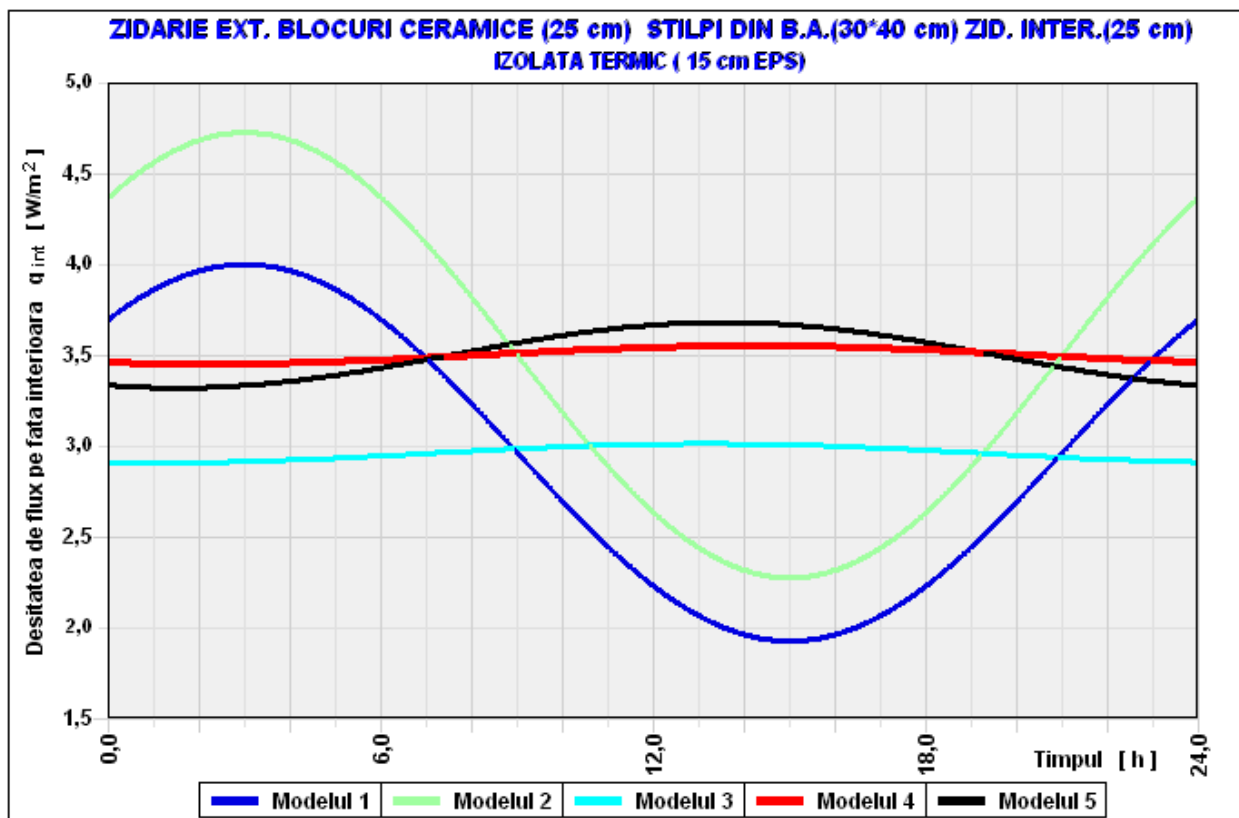


Figura 78. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Tabel 95. Compararea fluxului termic $q_{i, \max}$ și a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolant termic					
			10 cm		15cm		20 cm	
Modelul	$q_{i, \max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i, \max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i, \max}$ [W/m ²]	ε [h]	$q_{i, \max}$ [W/m ²]	ε [h]
1	12,35	0,00	5,09	0,00	3,99	0,00	3,28	0,00
2	26,36	0,00	7,64	0,00	5,36	0,00	4,18	0,00
3	10,59	6,13	3,85	9,82	3,01	10,15	2,47	10,46
4	21,20	7,94	5,73	11,15	4,01	11,44	3,12	11,70
5	21,13	8,65	6,81	9,99	4,409	10,40	3,17	10,63

III. Intersecție planșeu de beton armat cu perete exterior

Pașii de calcul sunt aceiași cu cei prezentați la exemplul anterior. Se prezintă rezultatele obținute pentru cele 5 modele studiate.

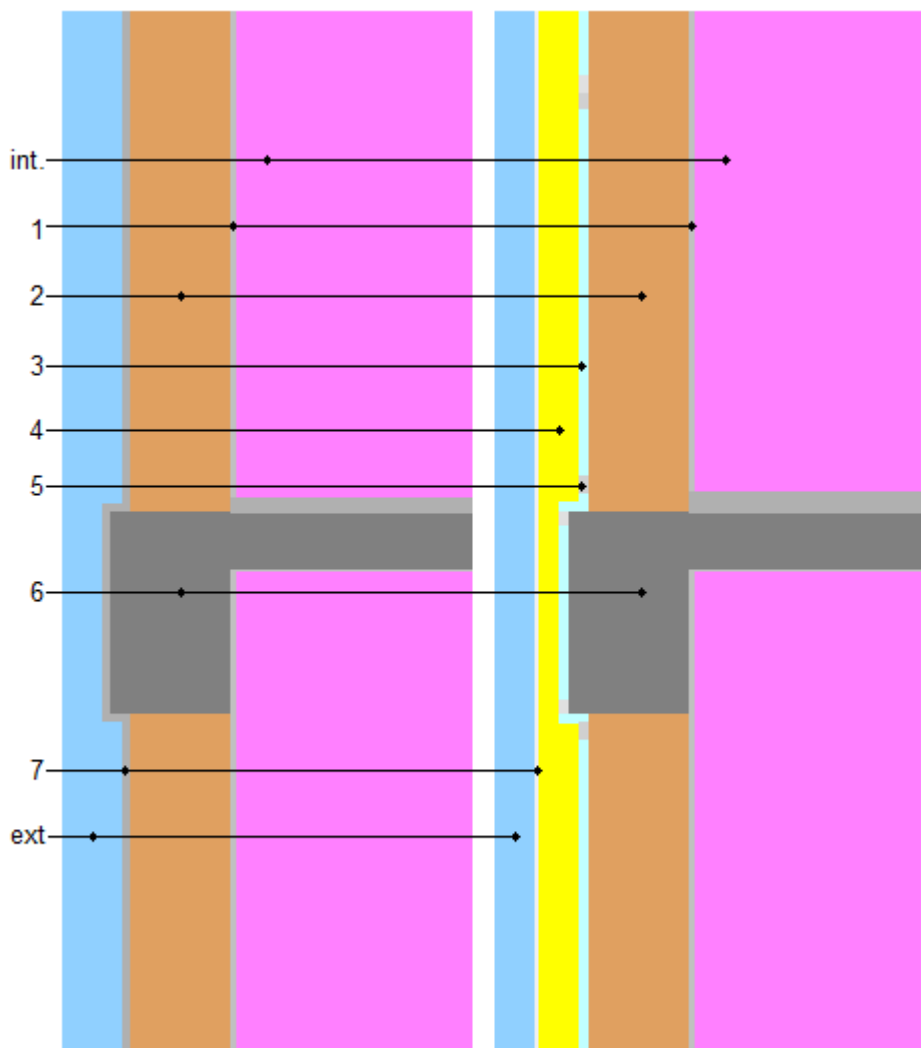



Figura 79. Intersecție planșeu din beton armat cu perete exterior

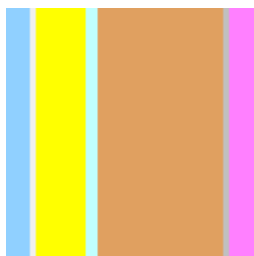
Modelul 1:

Tabel 96. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



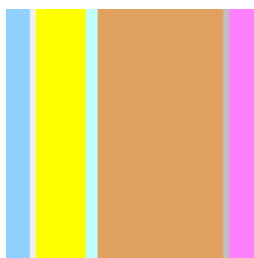
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	1,874	[(m²·K)/W]

Tabel 97. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS




	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	4,535	[(m²·K)/W]

Tabel 98. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	5,785	[(m²·K)/W]

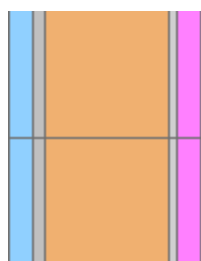
Tabel 99. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R_{câmp}	7,035	[(m²·K)/W]

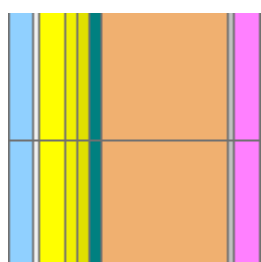
Modelul 2:

Tabel 100. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



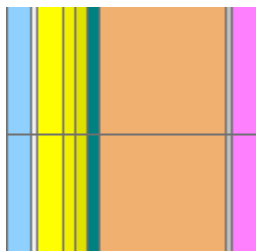
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,060
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,374
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,797
	Mediul interior		7,692
	R'	0,877	[(m²·K)/W]

Tabel 101. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



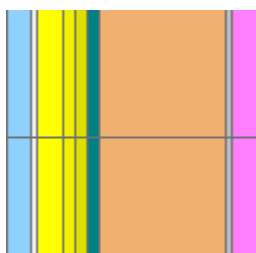
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,371
3	Cavitate de aer	0,025	0,506
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	3,022	[(m²·K)/W]

Tabel 102. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,371
3	Cavitate de aer	0,025	0,506
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	4,313	[(m²·K)/W]


Tabel 103. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,371
3	Cavitate de aer	0,025	0,506
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	5,529	[(m²·K)/W]

Modelul 3:

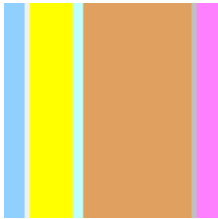
Tabel 104. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul interior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00	1800	1000
2	Bloc de cărămidă cu goluri	0,25	0,15	921	1077

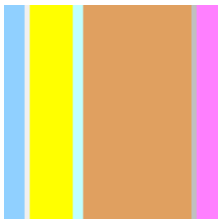
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul exterior		7,692		
	R_{câmp}	1,874	[(m²·K)/W]		
	D	5,875			

Tabel 105. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



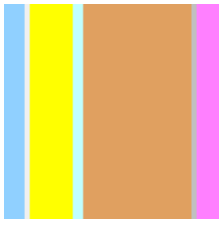
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	4,535	[(m²·K)/W]		
	D	6,516			

Tabel 106. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară-tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	5,785	[(m²·K)/W]		
	D	6,880			

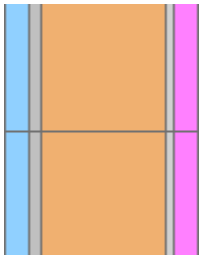
Tabel 107. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R_{câmp}	7,035	[(m ² ·K)/W]		
	D	7,245			

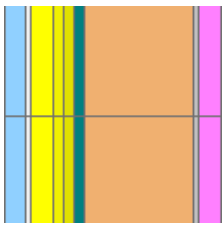
Modelul 4:

Tabel 108. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,060	2907,875	1000
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,374	1851,164	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,797	2605,068	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	0,877	[(m ² ·K)/W]		
	D'	5,386			

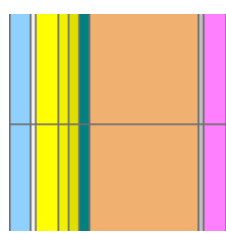
Tabel 109. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară -- tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04	20	1460
		0,025	0,028	79,133	1360,13

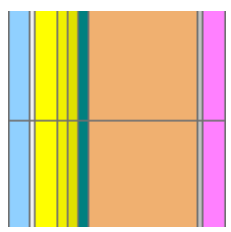
		0,025	0,371	709,362	1362,81
3	Cavitate de aer	0,025	0,506	841,244	994,63
2	Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459	1710,05 1	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2407,27 8	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	3,022	[(m²·K)/W]		
	D'	5,963			

Tabel 110. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
Mediul exterior		25		
7 Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5 Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
	0,025	0,027	78,542	1360,13
	0,025	0,369	704,069	1362,81
3 Cavitate de aer	0,025	0,504	834,966	994,63
2 Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,457	1697,59 7	1062,19
1 Tencuială interioară - mortar	0,015	0,880	2389,31 3	851,69
Mediul interior		7,692		
R'	4,313	[(m²·K)/W]		
D'	6,327			

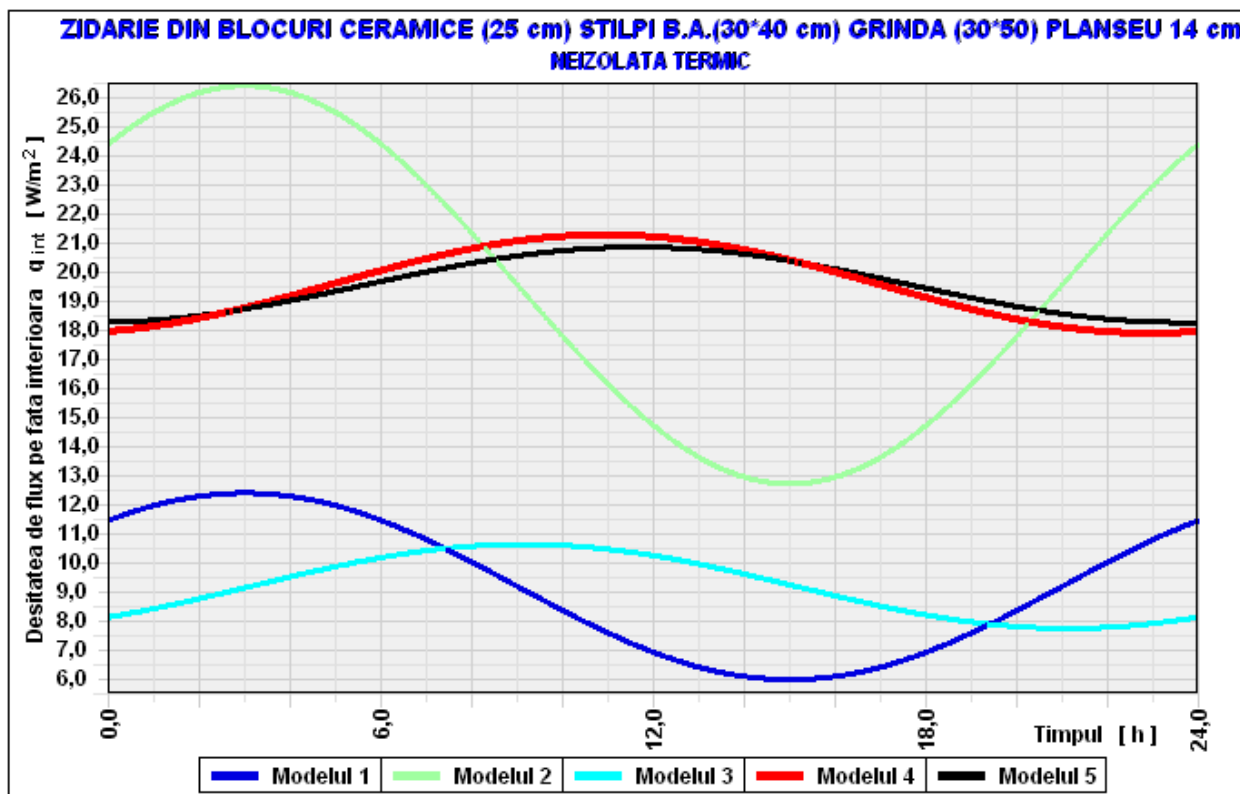
Tabel 111. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS

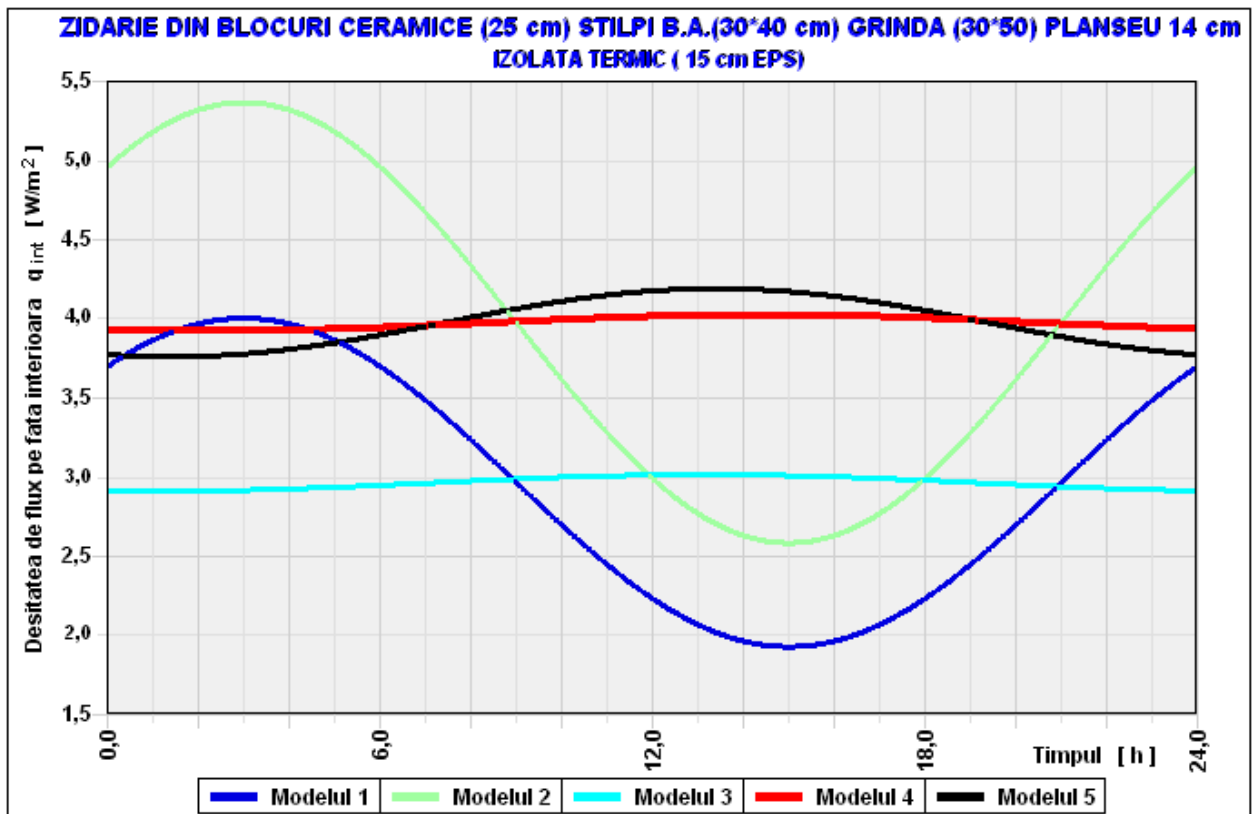
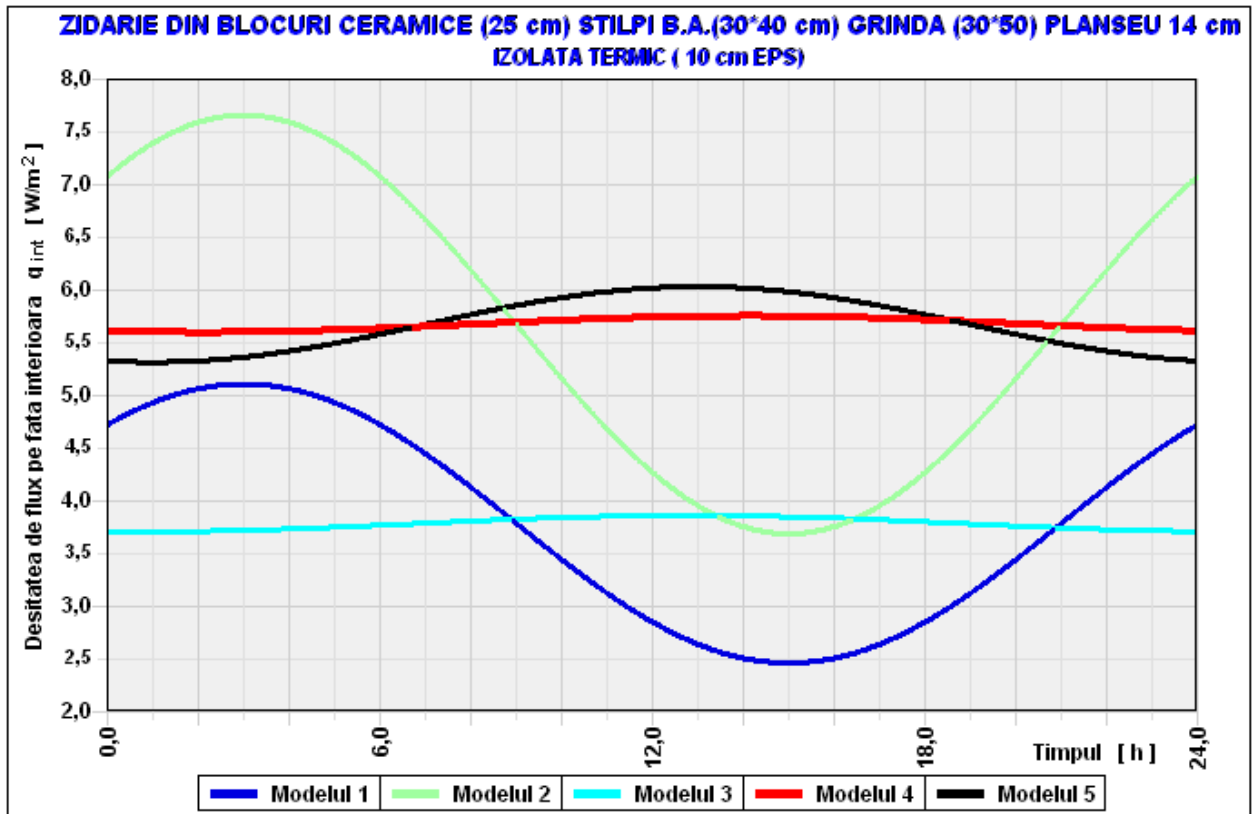


Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m ³]	c [J/(kg·K)]
Mediul exterior		25		
7 Tencuială exterioară - - tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5 Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
	0,025	0,028	79,083	1360
	0,025	0,371	708,919	1362,81
3 Cavitate de aer	0,025	0,506	840,718	994,63
2 Blocuri ceramice Porotherm	0,25	0,459	1708,979	1062,19
1 Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2405,772	851,69
Mediul interior		7,692		

R'	5,529	$[(m^2 \cdot K)/W]$	
D'	6,691		

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variației sinusoidale a fluxului termic pe suprafața interioară a elementului.





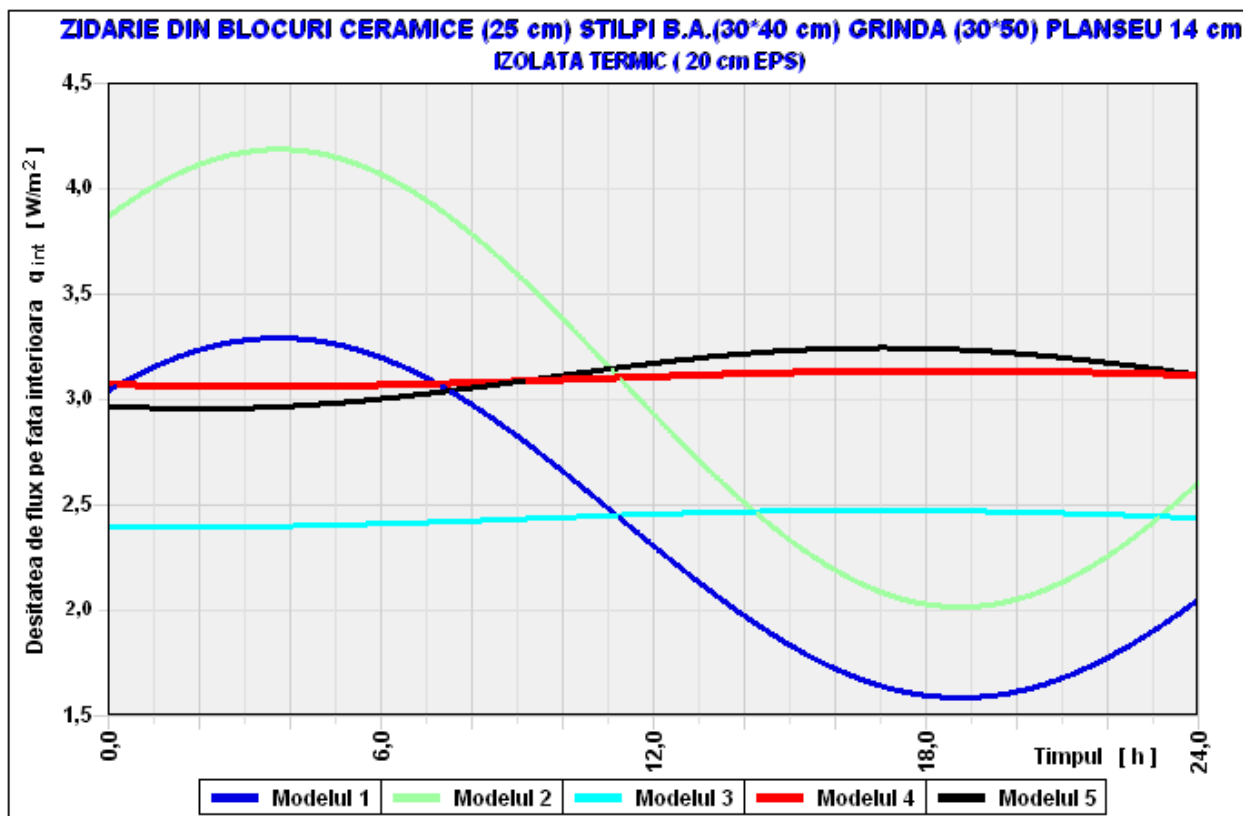


Figura 80. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Tabel 112. Compararea fluxului termic $q_{i,max}$ și a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolot termic					
			10 cm		15cm		20 cm	
Modelul	$q_{i,max}$ [W/m^2]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m^2]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m^2]	ε [h]	$q_{i,max}$ [W/m^2]	ε [h]
1	12,35	0,00	5,09	0,00	3,99	0,00	3,28	0,00
2	26,36	0,00	7,64	0,00	5,36	0,00	4,18	0,00
3	10,59	6,13	3,85	9,82	3,01	10,15	2,47	10,46
4	21,20	7,94	5,73	11,15	4,01	11,44	3,12	11,70
5	21,09	8,65	5,81	9,99	4,06	10,40	3,17	10,63

Din analiza rezultatelor numerice obținute și reprezentate în graficele celor trei elemente cu punți termice, în cele 5 modele de calcul, rezultă următoarele:

- prin luarea în considerare a prezenței punților termice se obțin rezultate sensibil diferite atât în calculul în regim termic staționar cât și în calculul în regim termic dinamic;
- din punct de vedere a intensității densității de flux pe fața interioară a elementului modelul 1, care este utilizat în mod curent în proiectarea performanței termice a elementelor de construcții, are valoarea mai redusă decât în cazul modelului 2 unde

se ține seama de rezistența termică R' , adică de prezența punții termice. Datorită faptului că în cele două modele nu se ține seama de inerția termică, defazajul ε este egal cu $0h$;

- în modelul 3, în care se utilizează rezistența termică în câmpul curent și inerția termică în câmpul curent al elementului, fără a ține seama de prezența punților termice, se obține valoarea fluxului densității de flux termic cea mai scăzută dintre toate modelele studiate. De asemenea defazajul are valoarea cea mai redusă dintre cele 5 modele de calcul;
- în modelul 4 se obține valoarea densității interioare de flux de regulă, mai mare decât a modelului 3 dar mai mică decât a modelului 2. Defazajul rezultă mai mare decât la modelul 3;
- valorile densității de flux interior scad odată cu creșterea gradului de protecție termică a elementului (cu creșterea grosimei termoizolației);
- defazajul este mai ridicat la elementele izolate termic față de cazul elementului neizolat termic, cu diferențe de creștere a defazajelor fiind foarte reduse;
- pentru toate elementele studiate se observă că comportarea modelul 4 se apropie cu diferențe reduse față de comportarea modelului 5 care generează rezultate apropiate de fenomenul real de comportare a elementului.

Actualele programe de simulare a eficienței energetice a clădirilor au două neajunsuri în ceea ce privește includerea efectului dinamic al punților termice. Primul neajuns constă în faptul că fluxul termic bi-dimensional generat de o punte termică este evaluat unidirecțional de către programe. Iar cel de-al doilea neajuns constă în faptul că nu se ia în considerare efectul inerției termice a punții termice.

În consecință se impune necesitatea găsirii unui model de calcul unidirecțional care să aibă același efect în calculul necesarului anual de energie ca și în cazul utilizării modelelor de calcul 2D sau 3D. Astfel modelul 4 este modelul recomandat pentru efectuarea calculelor dinamice cu luarea în considerare a efectelor punților termice și a inerției termice a acestora.

5.5. CALCULUL NECESARULUI DE ENERGIE PENTRU ÎNCĂLZIRE PE BAZA COMPORTĂRII DINAMICE A CLĂDIRII

5.5.1. *Descrierea clădirii*

Pe baza studiilor efectuate în capitolele anterioare, s-a făcut o analiza consumurilor energetice rezultate pentru o clădire de locuit P+4E. Pentru evaluarea performanței energetice a clădirii s-au luat în considerare consumurile energetice pentru încălzire. Calculele s-au efectuat în regim termic nestaționar.

Clădirea evaluată este de tip “bloc de locuințe” fiind situată în Cluj-Napoca. Construcția a fost realizată în anii 1980. Accesul principal în clădire are loc pe fațada orientată sud.

Clădirea este de formă dreptunghiulară cu un regim de înălțime P+4E. Dimensiunile în plan ale clădirii sunt 20,15 m x 12,35 m cu o suprafață totală construită de 248,85 m².

Blocul are 20 apartamente, câte 4 apartamente pe fiecare etaj. Clădirea are o scară interioară și nu este prevăzută cu ascensor. Soluția arhitecturală grupează următoarele funcțiuni pe nivel:

- parter: 4 apartamente (dormitor, bucătărie, baie, hol)
- etaj 1...4: apartamente (dormitor, bucătărie, baie, hol) și uscătorie

Inălțimile de nivel sunt:

- parter: 3,00m
- etajele 1...4 : 3,00m

Fiecare apartament are o suprafață utilă de 44,85 m². Uscătoriile în număr de 4, au fiecare 11,02 m². Pe ansamblul clădirii, apartamentele au suprafața utilă de 896,9 m² și împreună cu uscătoriile au o suprafață de 941,80 m².

Suprafață totală a casei scării este de 93,35 m², rezultând aria apartamentelor, uscătoriilor și aria casei scării cu o valoare egală cu 1035,15 m².

Volumul util pentru fiecare apartament 125,58 m³ și pentru toate apartamentele clădirii 2511,6 m³. Volumul util al fiecărei uscătorii este 30,856 m³ și pentru toate uscătoriile este 123,424 m³. În consecință, volumul util al clădirii este 2635,024 m³.

Volumul casei scării este 261,38 m³.

Suma celor două volume ne va da volumul interior al clădirii 2896,404 m³.

Tâmplăria exterioară a apartamentelor din clădire este cu rama din lemn de rășinoase, de tip cuplată, cu 2 foi de geam simplu, prezentând elemente de degradare. Ușa de intrare în clădire este metalică, neetanșă, prezentând rosturi mari. Aceasta nu este prevăzută cu sistem automat de închidere.

Structura de rezistență este realizată din zidărie portantă tip GVP de 29 de cm, tencuită pe ambele fețe, cu sâmburi din beton armat în toate intersecțiile pereților din zidărie. Planșeul este din beton armat monolit de 14 cm grosime. Accesul pe verticală se realizează printr-o scară cu 2 rampe realizată din beton armat. Planșeul terasă este o soluție clasică, având o termoizolație de 25 de cm din zgură granulară.

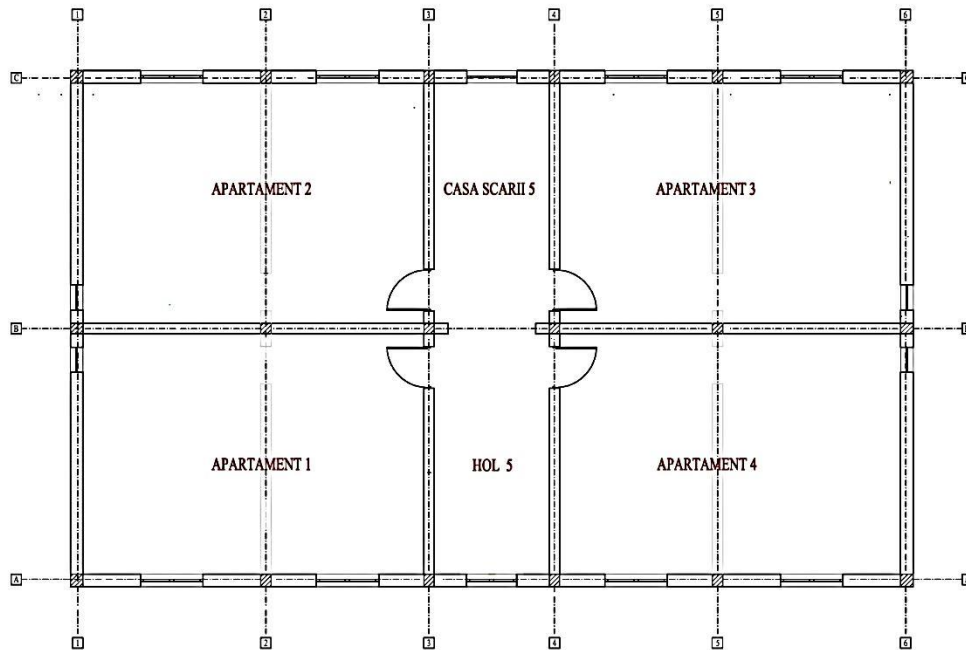


Figura 81. Schema de dispunere a apartamentelor la parter

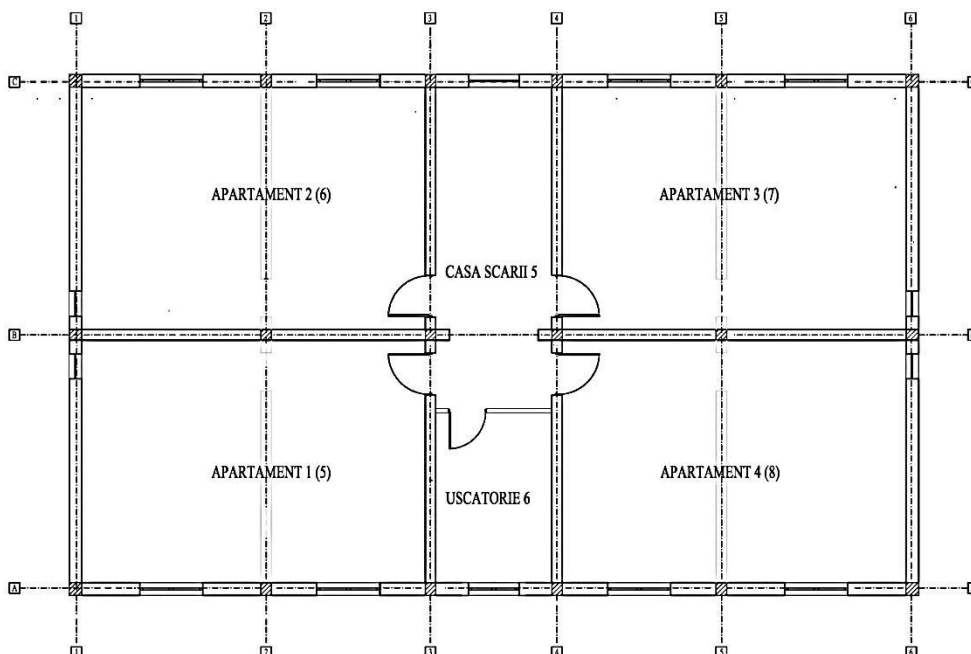


Figura 82. Schema de dispunere a apartamentelor la etaj

5.5.2. Condiții climatice specifice amplasamentului clădirii

Clădirea s-a considerat amplasată în Cluj-Napoca (respectiv zona III climatică) cu orientarea fațadei principale spre sud. Condițiile de climat specifice zone Cluj s-au considerat conform metodologiei Mc001/6. (Mc 001/6, 2013)

Pentru evaluarea pierderilor de căldură prin elementele anvelopei clădirii s-a utilizat variația orară a temperaturii aerului exterior. Pentru a putea fi vizualizată într-un format inteligibil, se prezintă în figura 83 variația medie zilnică a temperaturii exterioare pe perioada de încălzire din timpul unui an.

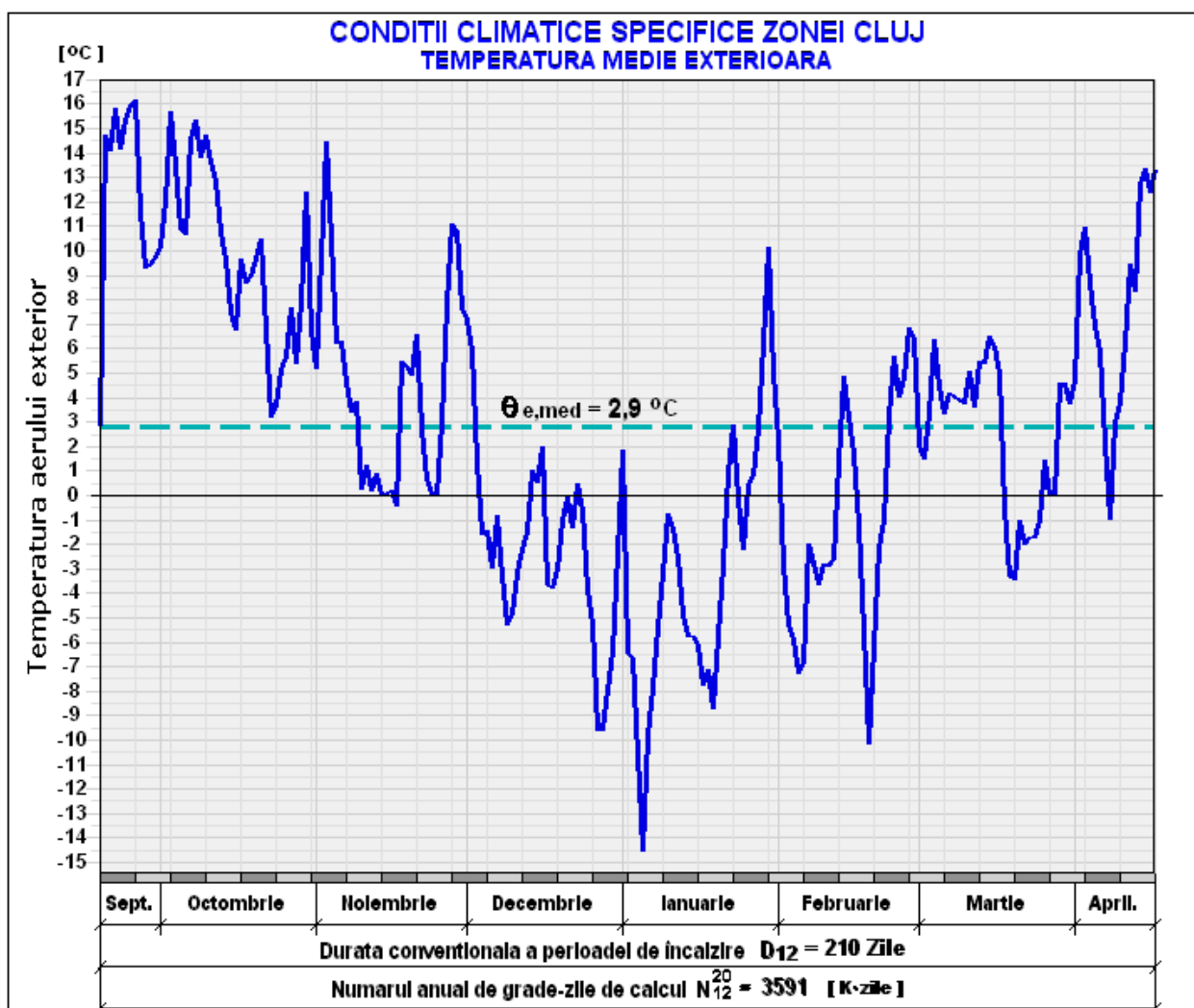


Figura 83. Variația temperaturii aerului exterior pentru zona Cluj

Pentru evaluarea aporturilor de căldură din variația solară s-au utilizat datele cu valorile orare ale intensității radiației solare pentru toate orientările cardinale uzuale, atât pentru radiația directă cât și pentru radiația difuză. Pentru o mai bună vizualizare a variației intensității radiației

solare, se prezintă în figura 84 curbele de variație pentru principalele orientări cardinale, pentru elementele verticale ale anvelopei clădirii.

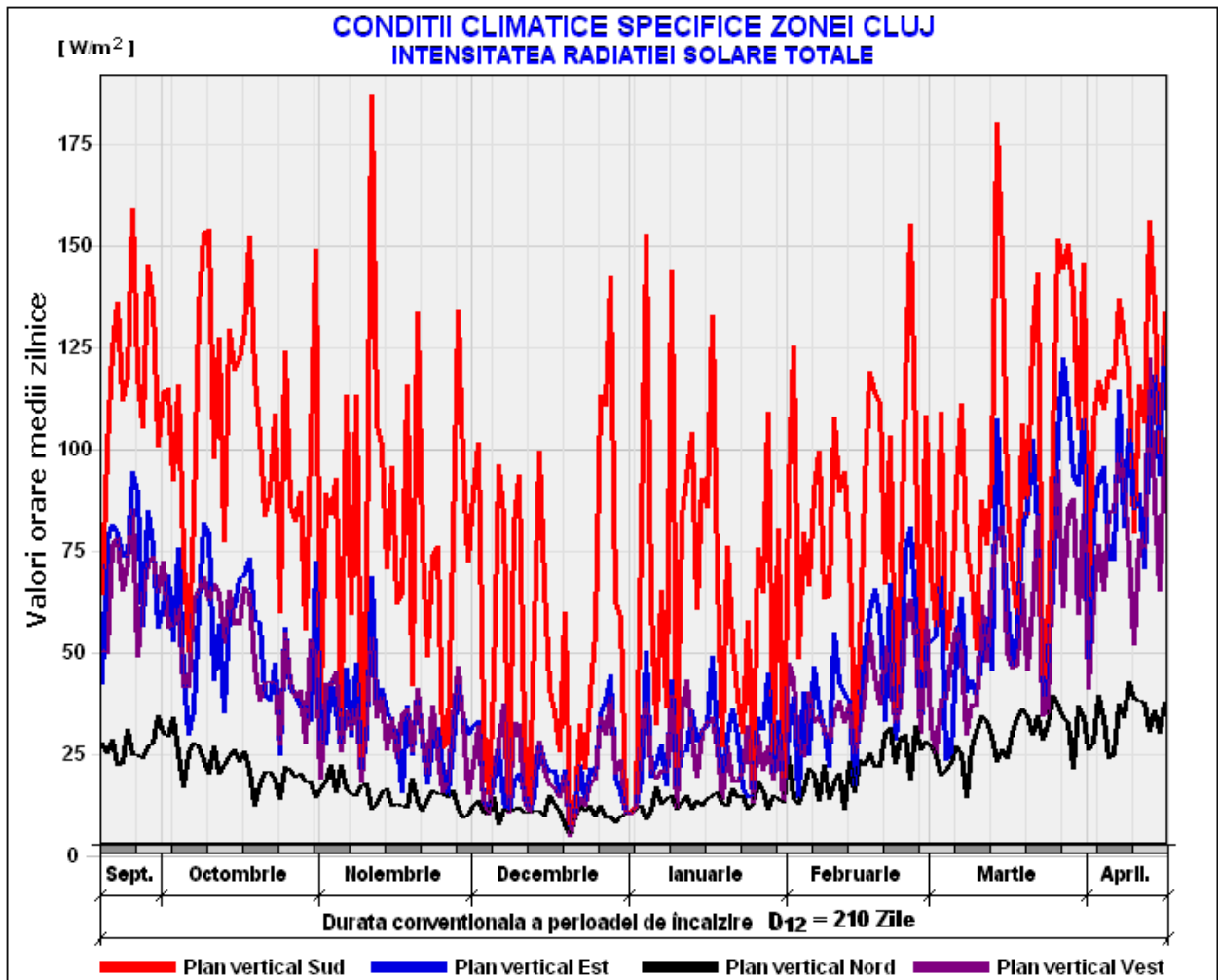


Figura 84. Intensitatea radiației solare totale pentru zona Cluj

O diferență majoră față de calculul clasic în regim termic staționar unde temperatura interioară de proiectare este considerată temperatura aerului interior, în calculul dinamic de evaluare a comportării energetice a clădirii temperatura de proiectare se consideră temperatura operativă, temperatură considerată ca o medie a temperaturii aerului interior și temperaturii medii radiante a elementelor (vezi cap. 4.5). Această temperatură este temperatura de confort resimțită de locatari.

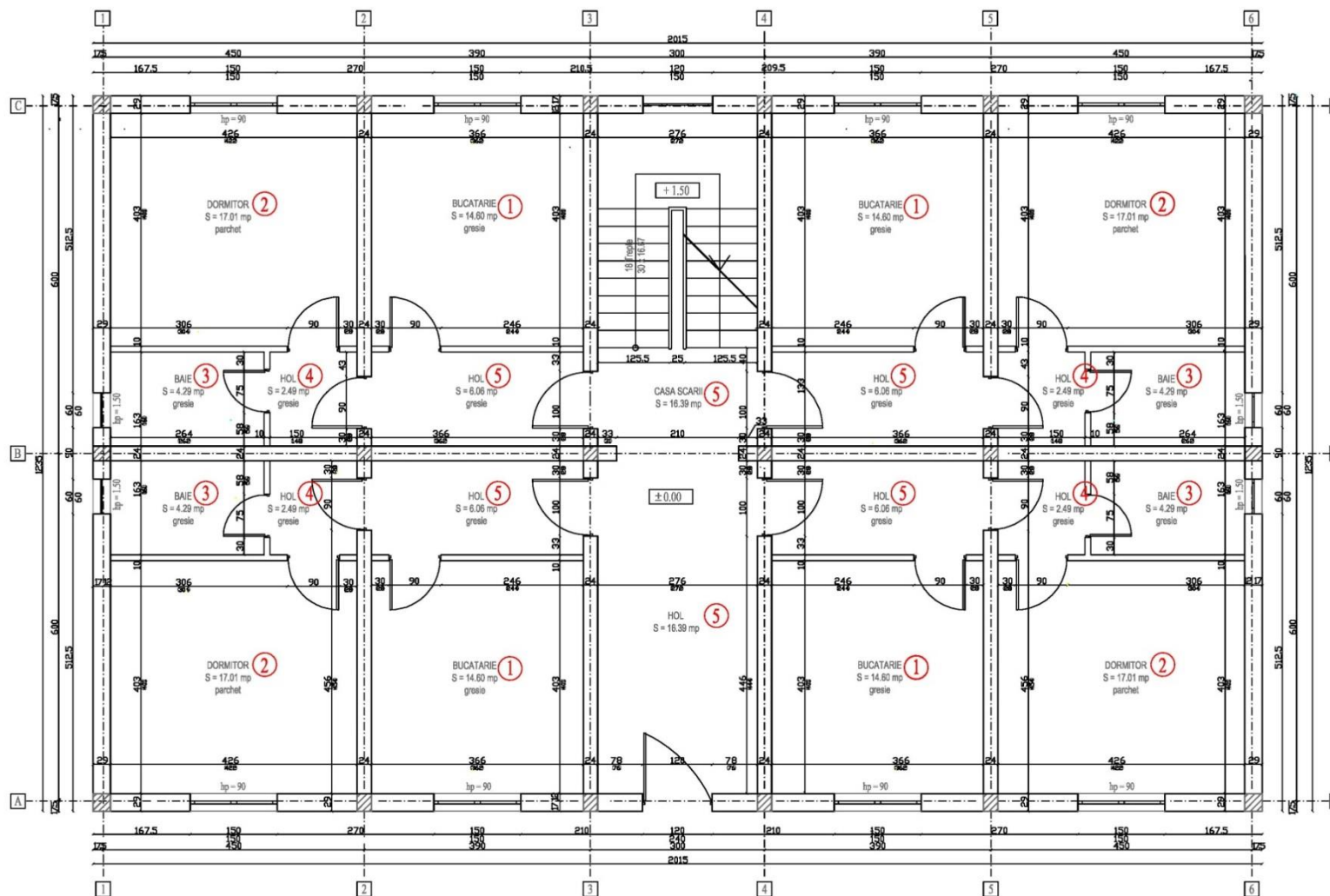


Figura 85. Plan parter

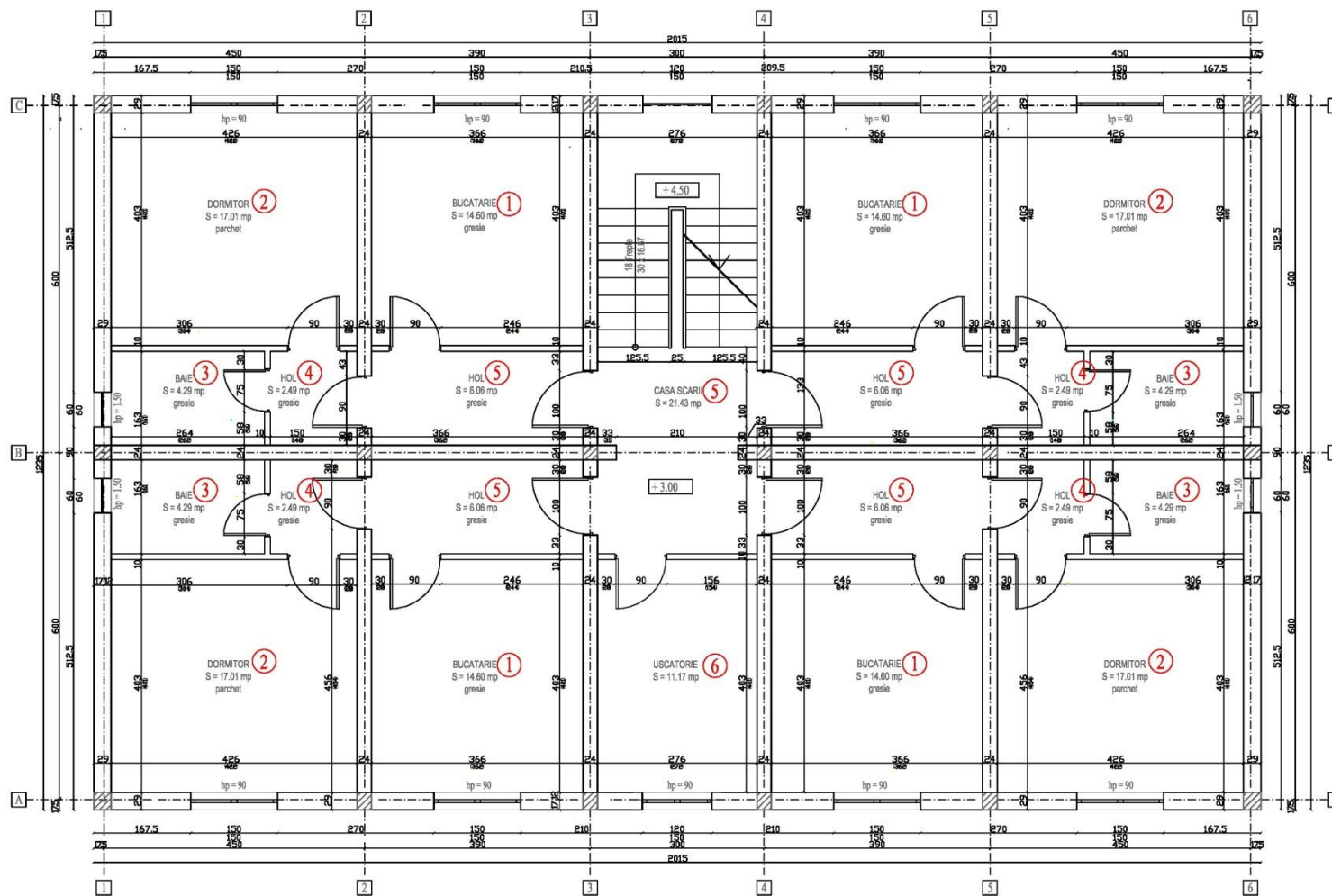


Figura 86. Plan etaj

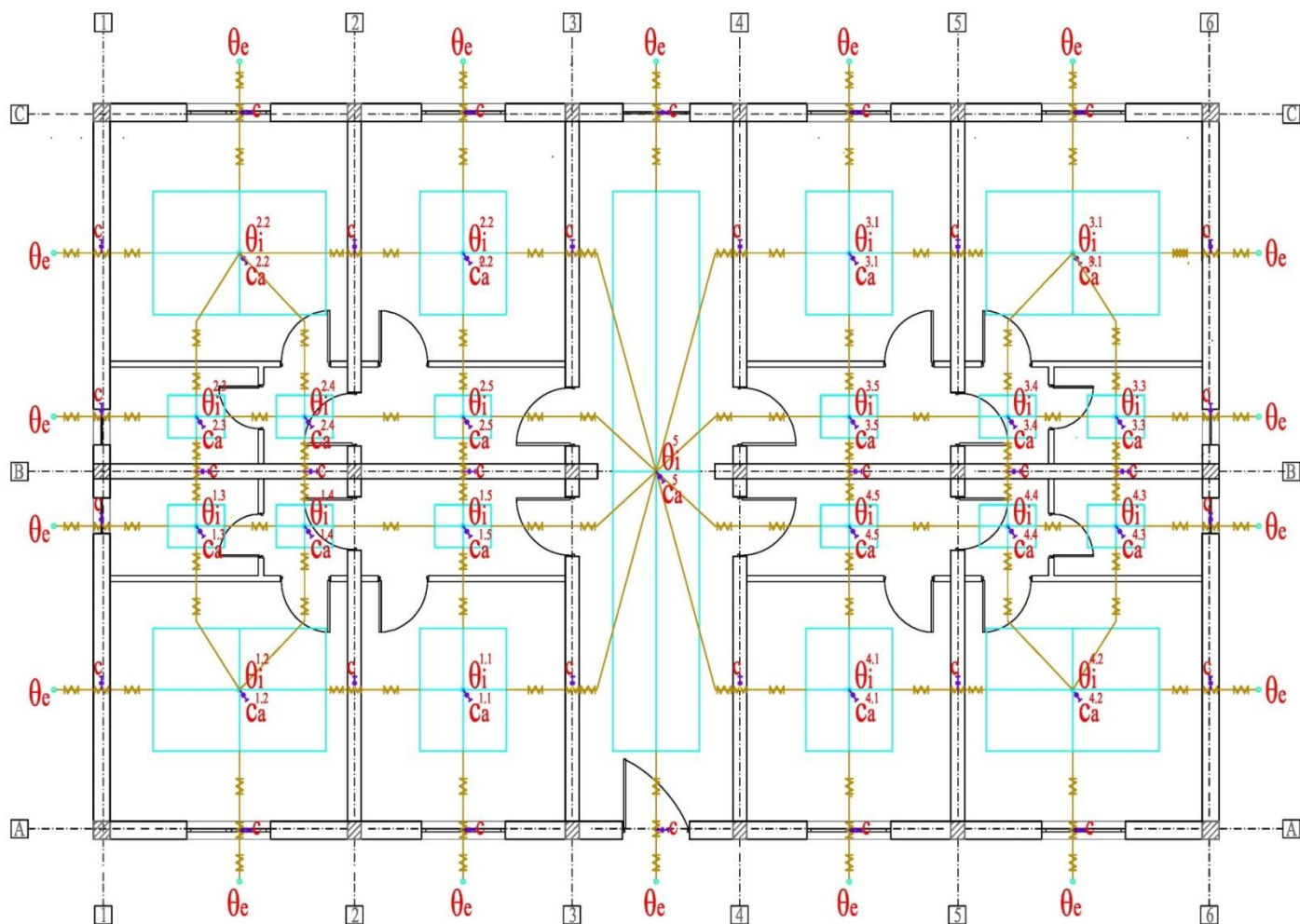


Figura 87. Rețeaua termică echivalentă în zona parterului

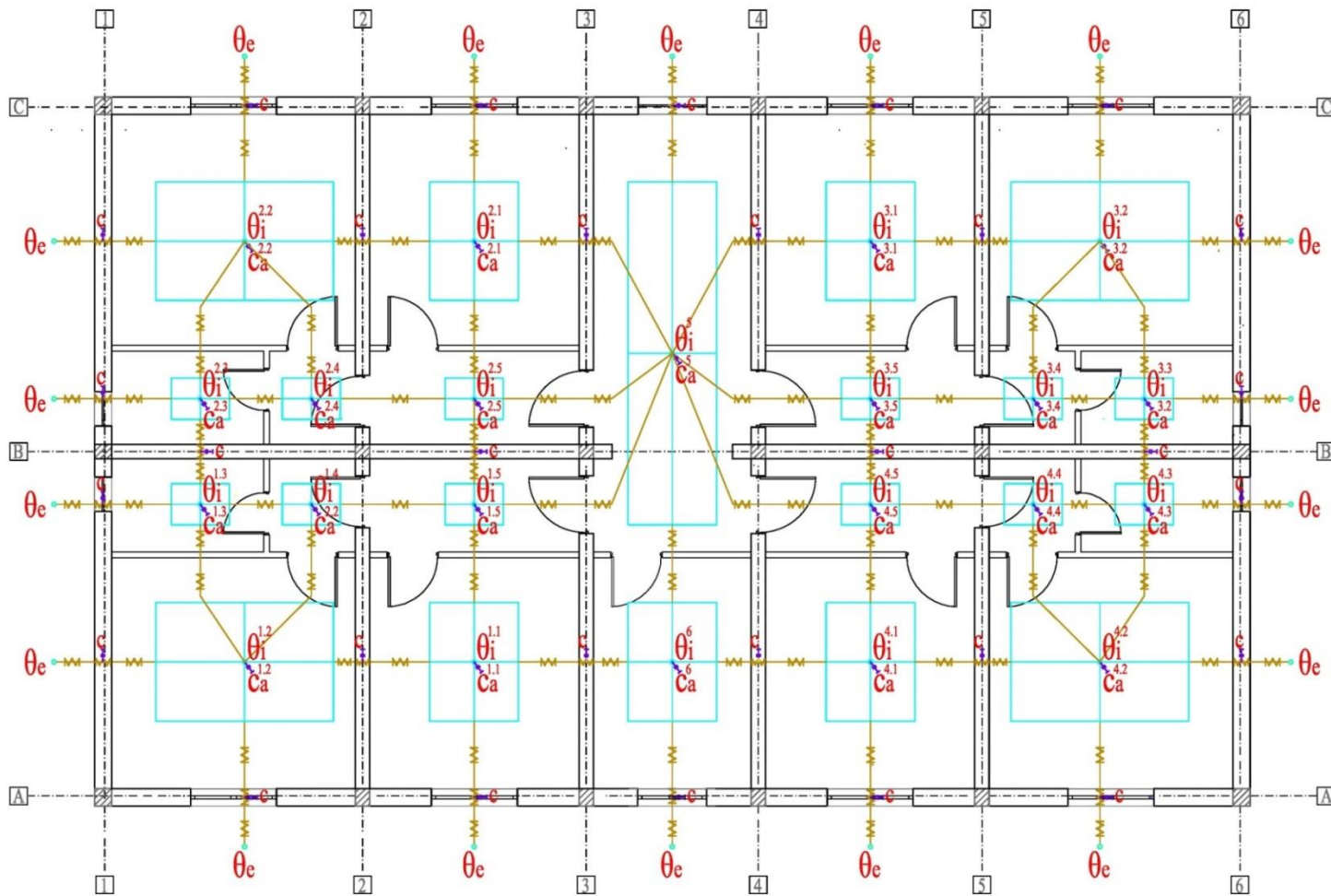


Figura 88. Rețeaua termică echivalentă în zona etajelor curente

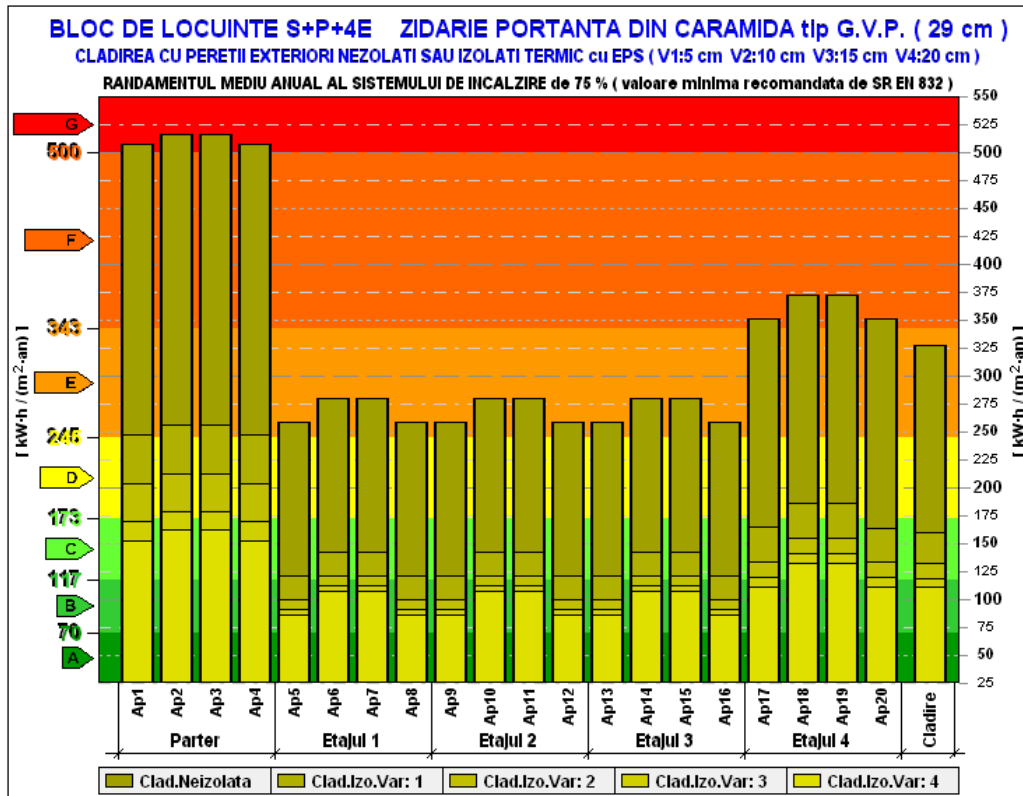


Figura 89. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 75%

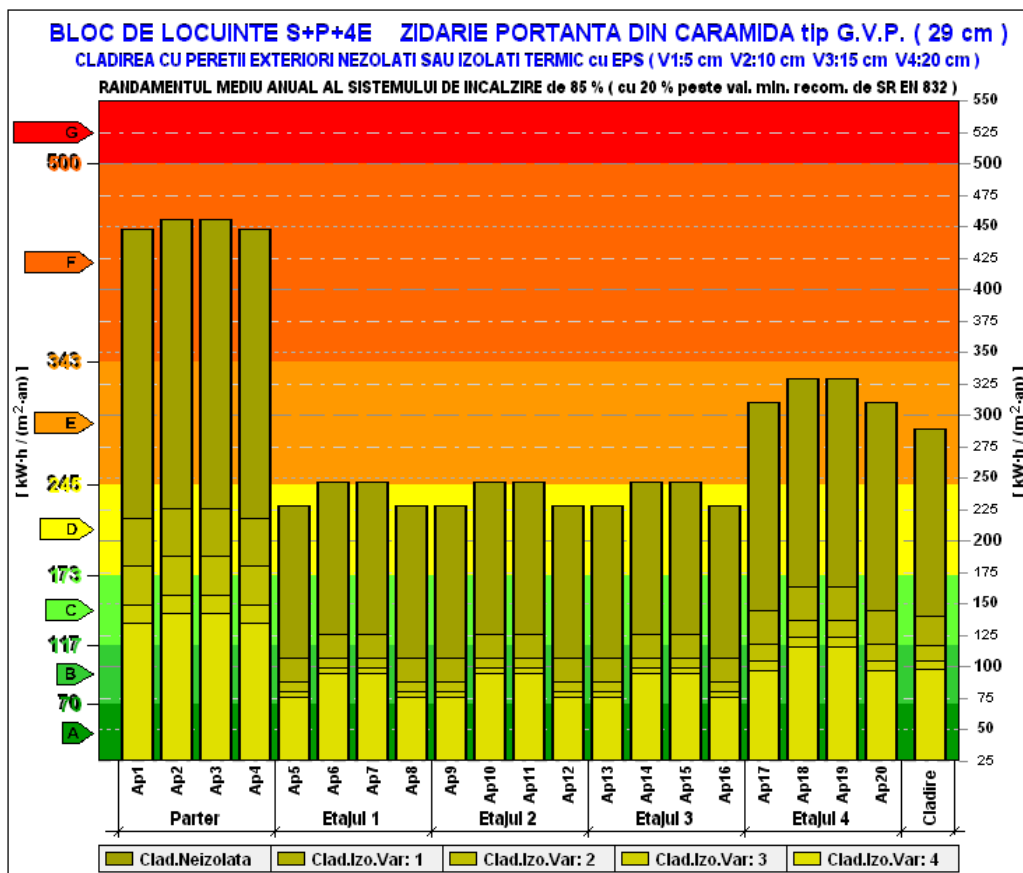


Figura 90. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 85%

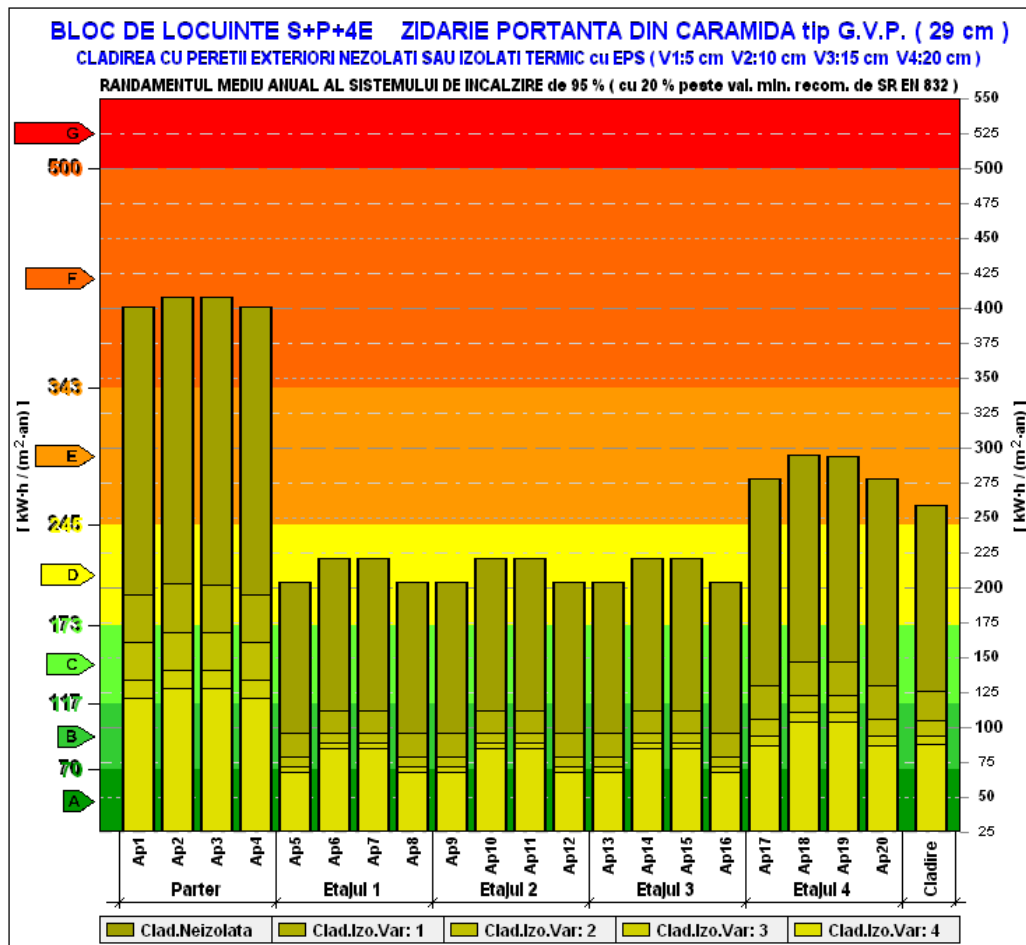


Figura 91. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 95%

5.5.3. Evaluarea necesarului de energie pentru încălzirea clădirii și primenirea aerului

Pe baza principiilor prezentate la capitolele anterioare, s-a stabilit o rețea termică echivalentă spațială. Dispunerea rețelei la parter este prezentată în figura 87 și dispunerea la etaj în figura 88. Pentru o bună înțelegere a acesteia, se prezintă dispunerea rețelei termice echivalente în planul clădirii.

Calculul s-a efectuat cu ajutorul programului „RETEATERM” având algoritmul de calcul dezvoltat pe baza teoriei și algoritmilor prezentați la capitolele anterioare.

Datorită volumului mare de rezultate numerice obținut pe baza calculului, s-a optat pentru o prezentare sintetizată a rezultatelor sub formă grafică. Din variantele obținute s-a optat pentru prezentarea doar a 3 cazuri, respectiv cazurile în care randamentul anual al sistemului de încălzire este de 75%, 85 % și respectiv 95%.

În urma analizei rezultatelor obținute, se constată următoarele:

- consumurile energetice pentru încălzirea clădirii scad odată cu creșterea randamentului sistemului de încălzire.
- consumurile scad semnificativ odată cu creșterea gradului de protecție termică a clădirii
- comparând consumurile pe apartamente în cadrul aceluiași nivel al clădirii se observă că cele amplasate pe fațada sud au necesarul de căldură mai redus datorită aportului solar ridicat,
- comparând consumurile energetice ale apartamentelor amplasate la diverse nivele, se constată că cele mai mari consumuri sunt întâlnite la apartamentele de la parter, urmate de apartamentele de la ultimul nivel, în timp ce apartamentele de la nivelele intermediare, au o comportare similară între ele indiferent de nivelul unde se află (etajul 1,2 sau 3), având consumurile cele mai reduse,
- graficele care prezintă rezultatele sunt sugestive deoarece respectă culorile grilei de clasificare energetică a clădirii în funcție de consumul de căldură anual specific pentru încălzire,
- pentru aceste tipuri de blocuri de locuințe, consumurile rezultate pentru ansamblul clădirii sunt mai reduse decât pentru apartamentele aflate la ultimul nivel, dar mai mari decât apartamentele aflate la nivelele intermediare (etajul 1, 2 și 3).
- pentru acest tip de clădire indiferent de varianta de reabilitare termică aleasă și de randament al sistemului de încălzire, clădirea nu poate fi adusă prin activitatea de reabilitare termică în clasa energetică A (consum sub 70 kWh/m²),
- în cea mai favorabilă ipoteză (vezi fig 91) apartamentele din fațada sudică de la nivelele intermediare pot să intre în clasa energetică A. În toate celelalte variante această condiție nu este asigurată.

O altă concluzie rezultată din această analiză este faptul că în activitatea de certificare a clădirilor și apartamentelor, fiecare soluție este un caz individual de clasă energetică, certificatul neputându-se generaliza de la un apartament la alte apartamente sau la ansamblul clădirii și nici invers, respectiv de la clasa energetică a clădirii să se multiplice pentru fiecare apartament. În acest fel sunt avantajate apartamentele de la parter care și pentru clădirea prezentată se observă că au consumurile cele mai mari, cât și apartamentele de la ultimul nivel care au consumuri sensibil mai ridicate decât clădirea în ansamblu. Dezavantajate vor fi apartamentele de la nivelele intermediare care au consumuri mult mai scăzute față de parter și ultimul nivel

Diferențele între consumurile obținute între regimul staționar și nestaționar au fost reliefate încă în sub-capitolul 5.4, respectiv prin diferențele între modelul 2 și modelul 4, unde modelul 2 este reflectat de calculul în regim staționar ținând seama de prezența punților termice și modelul 4 unde se aplică un calcul dinamic. În funcție de prezența punților termice în alcătuirea anvelopei clădirii și a numărului acestora, diferențele de evaluare între cele 2 moduri este cuprinsă între 15% și 30%. și în mod paradoxal între 30% și 35% la clădirile izolate termic. Așa cum rezultă din tabele 78, 95 și 112 de la capitolul 5.4 aceste diferențe procentuale se referă la consumuri diminuate în funcție nivelul izolației termice.

Realizarea unui calcul dinamic se impune pentru a putea evalua cât mai aproape de realitate consumurile energetice și în consecință pentru a încadra corect energetic clădirea. O altă consecință pozitivă a aplicării calculului dinamic în stabilirea consumurilor energetice a clădirii o reprezintă posibilitatea unei juste proiectări a instalațiilor clădirii analizate. Acest fapt permite un control al emisiilor de CO₂ în natură și păstrarea unui mediu curat. De asemenea, controlul asigurării temperaturii operative în încăperi duce la asigurarea temperaturii de confort cu consecințe pozitive asupra stării de sănătate a populației.

CAPITOLUL 6. CONCLUZII

6.1. CONCLUZII GENERALE

La momentul actual, atât pe plan național cât și la nivelul țărilor membre ale Uniunii Europene, se pune tot mai mult accent pe utilizarea cât mai eficientă a energiei la nivelul clădirilor. Este bine cunoscut faptul ca sectorul clădirilor este responsabil cu 40% din consumul de energie finală. Având în vedere acest aspect, cheltuielile cu eficientizarea energetică ar trebui privite mai degrabă ca o investiție care poate duce la revitalizarea sectorului construcțiilor și, pe termen lung, la o scădere a consumului și, implicit, a costurilor la energie.

Cuantificarea consumului de energie are o importanță majoră deoarece, până în 31 decembrie 2020, toate clădirile noi construite în țările din UE vor trebui să producă aceeași cantitate de energie pe care o consumă, adică, clădirile vor fi cu consum de energie aproape egal cu zero, conform legislației adoptate de Parlamentul European. Una dintre principalele directive ce s-a elaborat este Directiva 2010/31/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică a clădirilor.

La nivel național, în ceea ce privește economisirea energiei în sectorul rezidențial au fost adoptate o serie de reglementări începând din anul 2000. Printre aceste reglementări tehnice se numără și Metodologia de evaluare a performanței energetice a unei clădiri MC001, reglementată prin OM 157/2007; aceasta transpune în România prevederile Directivei 2002/91/CE conform Legii nr. 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor. Tot în cadrul Metodologiei de calcul a performanței energetice a clădirilor Mc 001/1, 2, 3, 4, 5 -2006 și ordinul MDRT nr. 2513/22.11.2010 în care sunt redată valorile normate ale rezistențelor R'_{\min} și U'_{\max} pe tip de element al anvelopei, uniforme pe țară, pentru cele patru zone climatice. de asemenea legea 372 a suferit modificări și a apărut într-o nouă formă la data de 20 iulie 2013 datorită alinierii la ținta de eficientizare energetică a clădirilor impusă de Directiva 2010/31/UE.

În zona de sustenabilitate a clădirilor, la nivel internațional, s-au dezvoltat mai multe metode de evaluare de mediu a clădirilor verzi (de asemenea, cunoscute și sub numele de construcții sustenabile sau construcții durabile), dintre care se amintesc cele mai des aplicate metode: BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency), DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) și GREEN STAR.

În construcții, legile transferului de căldură au anumite particularități de aplicare, generate de forma geometrică, și de alcătuirea constructivă complexă a majorității elementelor

anvelopei clădirilor. Răspunsul clădirilor la transferul de căldură poate fi apreciat prin capacitatea acestora de a păstra oscilațiile temperaturii aerului interior și a temperaturii suprafețelor interioare ale elementelor de închidere în limitele confortului termic. Din punct de vedere tehnic, răspunsul clădirilor la transferul de căldură poate fi apreciat prin debitul de căldură care străbate elementele de închidere sau prin rezistența termică pe care elementele de închidere o opun la propagarea fluxului.

Cunoașterea și înțelegerea transferului de căldură prin elementele anvelopei, prin cele trei moduri elementare care-l definesc, respectiv conducție, convecție și radiație, este vital în stabilirea comportării higrotermice a unui element al anvelopei clădirii. În acest sens este de mare importanță tratarea corespunzătoare a rezolvării numerice atât a transferului de căldură în regim termic staționar cât și în regim termic nestaționar, în cazul elementelor cu alcătuire omogenă și neomogenă.

Clădirea eficientă energetic ar putea fi definită ca o clădire care are raportul dintre calitatea mediului interior dintr-o clădire și cantitatea de energie necesară pentru a obține acel mediu prin utilizarea unui management integrat al resurselor în exploatare și utilizarea unei anvelopei, eficiente din punct de vedere termic. Literatura de specialitate oferă o clasificare a tipurilor de clădiri performante energetic, după cum urmează: Casa pasivă; Casa cu consum zero de energie; Casa „Triplu Zero”; Casa cu energie pozitivă și ECO – construcția sau casa viitorului respectiv Clădirea verde.

Termenul de casă pasivă provine din cuvântul „Passivhaus” din limba germană și se referă la un standard riguros în vederea obținerii unei eficiențe energetice a clădirilor și reducerea impactului asupra mediului, rezultând o clădire cu consum foarte scăzut de energie. Pornind de la trendul caselor pasive se mai definesc Clădirile verzi – Eco clădirile sau clădirile sustenabile, sunt clădiri care se referă la o structură construită și utilizată într-un mod responsabil față de mediul înconjurător, pe tot parcursul ciclului de viață a acestora, începând de la faza de proiectare, construcție, exploatare, întreținere, renovare și modelare. Dintre casele eficiente energetic se mai amintesc Casa Triplu zero și casa cu energie pozitivă.

Clădirile al căror consum de energie este aproape egal de zero „înseamnă clădiri cu o performanță energetică foarte ridicată”, stabilită în conformitate cu anexa I, conform directivei europene Directiva 2010/31/EU a Parlamentului European. Necesarul de energie aproape egal cu zero sau foarte scăzut ar trebui să fie acoperit, într-o foarte mare măsură, cu energie din surse regenerabile, inclusiv cu energie din surse regenerabile produsă la fața locului sau în apropiere.

România încearcă să se alinieze cerințelor europene cu privire la eficiența energetică adoptând legislația în vigoare și încercând să clarifice în cazul clădirilor cu consum aproape zero o definiție cât mai corectă.

Pentru a ne putea alinia la cerințele impuse de Comunitatea Europeană, respectiv construirea obligatorie începând cu 31 decembrie 2020 a tuturor clădirilor cu consum zero energie, este nevoie de rezolvarea aspectelor privind eficientizarea anvelopei clădirii, și în consecință a dimensionării și implementării corecte sistemelor de instalații eficiente în clădire.

În acest sens se impune soluționarea mai multor probleme legate de comportamentul clădirii în regim termic nestaționar, cum ar fi tratarea punților termice în mod corect și implementarea acestor calcule în programe de simulare a eficienței energetice a clădirilor, calcularea temperaturii operative dintr-un spațiu atât în perioada rece cât și în perioada caldă a anului prin considerarea condițiilor tranzitorii și aplicarea unor modele de calcul (e.g. rețele termice echivalente) care să ajute la rezolvarea problemelor complexe de transfer termic în regim nestaționar, precum și implementarea în stabilirea necesarului de încălzire și răcire a condițiilor de comportament nestaționar al clădirii, în vederea evaluării corecte a acestor consumuri.

Teza își propune să aducă un aport efortului general al specialiștilor în domeniu privind dezvoltarea unor abordări și metode de calcul care să ajute la simularea cât mai reală a performanței energetice a clădirilor, în vederea optimizării alcătuirii constructive a elementelor anvelopei clădirilor și implicit a reducerii consumurilor energetice în exploatare în vederea atingerii cerințelor impuse de Directiva 2010/31/EU.

6.2. SINTEZA CONTRIBUȚIILOR AUTORULUI

1. Studiarea și sinteza unui număr important de materiale științifice documentare, de proveniență românească și străină: cărți, teze de doctorat, articole apărute în diverse publicații, lucrări prezentate în cadrul unor conferințe, congrese, articole din editoriale, site-uri de internet, privitoare la probleme specifice calculului performanței termice a clădirilor în regim termic nestaționar.
2. Realizarea unei sinteze privitoare la cadrul legislativ atât pe plan internațional cât și național în domeniul eficientizării energetice a clădirilor.
3. Prezentarea sintetizată a metodelor de evaluare de mediu folosite la ora actuală pe plan internațional și național.
4. Realizarea unei sinteze privitoare la clădirile eficiente energetic construite în mod curent la nivel mondial.

5. Sintetizarea aspectelor teoretice legate de calculul elementelor anvelopei clădirii în regim termic staționar și nestaționar
6. Sintetizarea aspectelor legate de caracteristicile termice dinamice și prezentarea succintă a metodelor de aplicare a acestora.
7. Elaborarea de către autor a unor tabele cu valori care cuprind caracteristicile termice dinamice pentru elemente de construcție exterioare și interioare ale anvelopei clădirii.
8. Elaborarea unui exemplu de aplicare a rețelelor termice echivalente la clădiri.
9. Dezvoltarea unui program de calcul în vederea stabilirii temperaturii operative întrun spațiu în timpul verii.
10. Propunerea unei metode „Metoda elementului echivalent” privitoare la includerea efectului punților termice în vederea evaluării caracteristicilor termice dinamice ale elementului, prin abordarea și rezolvarea acesteia.
11. Realizarea unui studiu privitor la consumurile energetice obținute în cazul comportării în regim termic nestaționar al clădirii.
12. Dezvoltarea unui programul de calcul în vederea stabilirii consumurilor energetice a unei clădiri în regim termic dinamic.

O parte din studiile și cercetările din lucrarea de față au fost publicate și prezentate la o serie de conferințe din țară și străinătate, urmând ca diseminarea să se realizeze în continuare prin participări la conferințele și simpozioane în domeniul energiei clădirilor.

BIBLIOGRAFIE

- Environmental Building News. (1998). *Thermal Mass and R-value: Making Sense of a Confusing Issue*.
- Aciu, C. (2009). *Materiale ecologice în elemente structurale și nestructurale în construcția de locuințe*. Cluj-Napoca: Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții.
- Adevărul. (2010). Preluat pe 07 22, 2012, de pe adevarul.ro: http://adevarul.ro/locale/cluj-napoca/prima-cladire-verde-cluj-cea-mai-inalta-construcție-amera-tower-1_50ae37637c42d5a6639abfd4/index.html
- Asanache, H. (1999). *Higrotermica clădirilor. Elemente fundamentale referitoare la transferul de căldură și vapori de apă prin elementele de anvelopă ale clădirilor*. București: Editura MATRIX ROM.
- Aste, N., Angelotti, A., & Buzzetti, M. (2009). The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. *Energy and Buildings*, 1181–1187.
- Atanasiu, B., & Petran, H. (2012). *Implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero (NZEB) în România. Rezumat*. România: Institutul European pentru Performanța Energetică a Clădirilor (BPIE).
- Bhavin, K., Jayeshkumar, P., & Bhavnaben, S. (2013, Februarie). A study on conceptual approach to zero energy building in modern era. *Global research analysis international*, pp. 69-72.
- Bojic, M., Yik, F., & Sat, P. (2001). Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 569–581.
- Breeam. (2013). Retrieved 07 2012, 2013, from Breeam: <http://www.breeam.org/>
- BREEAM. (2013). Retrieved 7 19, 2013, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/BREEAM>
- Bruma, B. (2010). Theoretical Considerations on thermal bridges and their influence upon closing elements. *11 th International Conference “Automation in Production Planning and Manufacturing “*. Zilina.
- Bruma, B., & Dumitrescu, S. (2009). Noțiuni teoretice ale transferului de căldură prin intermediul radiației termice. *Lucrarile celei de a IX-a Conferințe Nationale Multidisciplinare cu Participare Internațională-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Romanesti*. Sebes.

- Bruma, B., & Dumitrescu, S. (2010). Considerații teoretice privind apariția punților termice și efectul lor asupra elementelor anvelopei clădirii. *Lucrarile celei de a X-a Conferințe Nationale Multidisciplinare cu Participare Internațională-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Românești*. Sebes.
- Buildup. (2013). Preluat pe 10. 10, 2013, de pe <http://www.buildup.eu/communities/epbdcommunity>
- C 107/1. (2005). *Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor*. (M. Georgescu, Ed.) București, București, Romania: Asociația Inginerilor de Instalații din România – AIIR.
- C 107/2. (2005). *Normativ privind calculul coeficienților globali de izolare termică la clădirile cu altă destinație decât cea de locuire*. București.
- C 107/3. (2005). *Normativ privind calculul performanțelor termotehnice*. (M. Georgescu, Ed.) București: Asociația Inginerilor de Instalații din România – AIIR.
- C 107/4. (2005). *Ghid privind calculul performanțelor termotehnice ale clădirilor de locuit*. Asociația Inginerilor de Instalații din România - AIIR.
- C 107/5. (2005). *Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție în contact cu solul*. Asociația Inginerilor de Instalații din România- AIIR.
- C 107/6. (2002). *Normativul privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcție*. Ministerul Lucrărilor Publice, Transportului și a Locuinței.
- C 107/7. (2002). *Normativ pentru proiectarea la stabilitate termică a elementelor*. Ministerul Lucrărilor Publice, Transporturilor și Locuinței.
- C 107-modificat. (2010). *Ordin pentru modificarea Reglementării tehnice "Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor, indicativ c 107-2005, aprobată de Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului nr.2055/2005*. Ministerul dezvoltării Regionale și Turismului.
- Canberra Airport. (2012). Retrieved 01 30, 2013, from Canberra Airport: <http://www.canberraairport.com.au/>
- Capital.ro. (2013, 10 30). *CAPITAL*. Preluat pe 01 16, 2014, de pe <http://www.capital.ro/connie-hedegaard-eficienta-energetica-a-cladirilor-din-bucuresti-este-o-problema-care-trebuie.html>
- Carpenter, S. (2001). *Advances in Modelling Thermal Bridges in Building Envelopes*. Enermodal Engineering Limited.
- CASBEE. (2011). Retrieved 04 10, 2013, from Compressive Assessment System for built Environment Efficiency: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english>

- CASBEE. (2011). Retrieved 03 22, 2012, from CASBEE:
<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>
- Căldură. (2014). Preluat pe 01 13, 2014, de pe Wikipedia:
<http://ro.wikipedia.org/wiki/C%C4%83ldur%C4%83>
- Clay, N., & Anne, S. P. (2009). *Absolute Zero. Net Zero Energy commercial buildings - an inspiring vision for today*. Milwaukee, USA: Johnson Controls - PUBL-6240 (09/09).
- Clădire verde. (2010). Preluat pe 02 06, 2014, de pe Green buildings:
http://ro.wikipedia.org/wiki/C1%C4%83dire_verde
- Clear Glass House is Triple Zero Climate-Friendly. (2010, 01 4). Retrieved 02 14, 2014, from
<http://www.homedesignfind.com/green/clear-glass-house-is-triple-zero-climate-friendly/>
- Cobârzan, N. (2007). *Dezvoltarea durabilă și impactul asupra proiectării clădirilor de locuit* (Vol. I). Cluj-Napoca: UT CLUJ.
- Comisia Europeană. (2013). *Raport al comisiei către parlamentul european și consiliu privind progresele înregistrate de statele membre cu privire la clădirile al căror consum de energie este aproape egal cu zero*. Bruxelles, 7.10.2013: COM (2013) 483 final/2.
- Comsa , E., Moga, I., & Munteanu, C. (1986). *Proiectarea funcțională și constructivă a clădirilor de locuit, Partea I-a*. Cluj-Napoca: Editura I.P.C.-N.
- Comsa , E., Moga, I., & Munteanu, C. (1987). *Proiectarea funcțională și constructivă a clădirilor de locuit, Partea a II-a*. Cluj-Napoca: Editura I.P.C.-N.
- Comsa, E., & Moga, I. (1992). *Construcții civile, vol II.*. Cluj-Napoca: Editura U.T.C.-N.
- Comsa, E., Moga, I., & Munteanu, C. (2004). *Proiectarea higrotermică a clădirilor cu metode normative, Suport pentru cursul postuniversitar de perfecționare "Audit energetic – Construcții", Partea I-a, Breviar teoretic*. Cluj-Napoca: Editura U.T.PRES.
- Conny , R. (2010). *CEPHEUS.DE*. Retrieved 01 27, 2014, from What Is a Passive House?:
<http://www.cephus.de/eng/index.html>
- Consortiu Universitar. (2005, decembrie 13). *C107/3 - 2005. Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor*. București, România: Ministerul Dezvoltării Regionale și Turismului.
- construction21. (2013). Preluat pe 01 31, 2014, de pe Ansamblul rezidențial luceafarul:
<http://www.construction21.eu/romania/case-studies/ro/ansamblul-rezidential-luceafarul-bloc-3.html>
- Construction21.eu. (2012). Preluat pe 02 13, 2014, de pe Soleta zeroEnergy ONE:
<http://www.construction21.eu/romania/case-studies/ro/soleta-zeroenergy-one.html>

- construction21.eu*. (2013). Preluat pe 02 13, 2014, de pe Construction21.eu România:
<http://www.construction21.eu/romania/case-studies/ro/multinvest-business-center.html>
- Council House 2*. (2012). Retrieved 01 30, 2013, from Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Council_House_2
- Despre încălzire*. (2013). Preluat pe 01 10, 2014, de pe [http://infra-solutions.ro/#!/Despre Incalzire](http://infra-solutions.ro/#!/Despre_Incalzire)
- dgnb-system*. (2012). Retrieved 01 30, 2013, from dgnb-system: http://www.dgnb-system.de/en/system/dgnb-sustainability_concept/
- Dimitriu-Vâlcea, E. (1970). *Termotehnica în construcții*. București: Editura Academiei.
- Dimitriu-Vâlcea, E., & Bîrligă, N. (1976). *Îndrumător de proiectare în fizica construcțiilor*. București: Editura Tehnică.
- Directiva 2002/91/CE. (2002). *Directiva privind performanța energetică a clădirilor*. Parlamentul European și Consiliul european.
- Directiva 2010/31/EU . (2010, 06 18). Directiva Parlamentului European și a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanța energetică. *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene*. Parlamentul European.
- Dumitrescu, S., & Bruma, B. (2009). Materiale compozite utilizate la reabilitarea rezervoarelor de apă. *Lucrarile celei de a IX-a Conferințe Nationale Multidisciplinare cu Participare Internațională-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Românești*. Sebes.
- Dumitrescu, S., & Bruma, B. (2010). Current state problems in waste recovery. *11 th International Conference "Automation in Production Planning and Manufacturing "*. Zilina.
- Dumitrescu, S., & Bruma, B. (2010). Stadiul actual al problemelor în valorificarea deșeurilor. *Lucrarile celei de a X-a Conferințe Nationale Multidisciplinare cu Participare Internațională-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Românești*. Sebes.
- Ecomagazin*. (2010, 10 23). Preluat pe 01 20, 2014, de pe Ecomagazin:
<http://www.ecomagazin.ro/eficienta-energetica-in-construc-tii-case-pasive-si-surse-de-energie-regenerabila/>
- Emil, C., & Ioan, M. (1992). *Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustică clădirilor* (Vol. II). Cluj-Napoca: Editura UTPRESS CLUJ.
- EN ISO 10211. (2007). Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures -Detailed calculations.
- EN ISO 10211-1. (1995). Thermal bridges in building construction -- Heat flows and surface temperatures -- Part 1: General calculation methods.

- EN ISO 13370. (2007). *Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods.*
- EN ISO 13786. (2005). *Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods.*
- EN ISO 13790. (2005). *Thermal performance of building components – calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – Simplified methods.*
- EN ISO 13790. (2007). *Thermal performance of building components – calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – Simplified methods.*
- EN ISO 13791. (2006). *Thermal performance of buildings. Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling.*
- EN ISO 13792. (2005). *Thermal performance of buildings. Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling. Simplified methods.*
- EN ISO 6946. (2007). *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method.*
- Energy plus house.* (2013, 10 6). Retrieved 02 14, 2014, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Energy-plus-house>
- ENERGY, U. D. (2008, 11 11). *Building technologies Program.* Retrieved 01 30, 2014, from Zero Energy Buildings: <http://zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?ProjectID=592>
- ENTRANZE.* (2008). Retrieved 01 25, 2014, from ENERDATA: <http://www.entranze.enerdata.eu/total-unit-consumption-per-m2-in-residential-at-normal-climate.html>
- Europe, I. E. (2011). *Performanța energetică a clădirilor. Glosar de termeni.* INTENSE - “Din Estonia până în Croația: măsuri inteligente de economisire a energiei pentru clădiri în țările Europei Centrale și de Est” (2008-2011).
- Focșa, V. (1975). *Higrotermica si acustica clădirilor.* București: Editura didactică și pedagogică.
- Green Building.* (2013). Retrieved 01 15, 2014, from http://en.wikipedia.org/wiki/Green_building#Green_building_by_country
- GREEN STAR.* (2012). Retrieved ianuarie 30, 2012, from Green star: <http://www.gbca.org.au/>
- Gregory, K., Moghtaderi, B., Sugo, H., & Page, A. (2008). Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems. *Energy and Buildings*, 459–465.
- Incalzirea globala.* (2013). Preluat pe 11 12, 2013, de pe Wikipedia: http://ro.wikipedia.org/wiki/%C3%8Enc%C4%83lzirea_global%C4%83

- Institutul National de Statistica. (2013). *Institutul National de Statistica*. Preluat pe 10 11, 2013, de pe insse: www.insse.ro
- Institut, P. (2006). *Passive House or Passivhaus?* Germania: Passive On Project.
- Ionescu, A. M. (2011). *Cercetări privind consumul de energie pentru climatizarea clădirilor*. București: Teză de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor.
- ISOVER . (2010). Preluat pe 01 25, 2014, de pe ISOVER SAINT-GOBAIN: <http://www.isover.ro/eficienta-energetica/izolatie-termica-26.html>
- Izolarea termica*. (2013). Preluat pe 01 13, 2014, de pe <http://www.beneficiarconstructii.com/izolarea-termica>
- Josef, A. (2011, 08 01). *Net Zero Energy Solar Buildings*. Retrieved 01 23, 2014, from <http://www.iea-shc.org/tasks-current>
- Kilkis, S. (2007). A New Metric for Net- Zero Carbon Buildings. *ASME 2007 Energy Sustainability Conference (ES2007) July 27–30, 2007 , Long Beach, California, USA* (pp. 219-224). California: Proceedings of the Energy Sustainability Conference 2007.
- Kilkis, S. (2007). A New Metric for Net- Zero Carbon Buildings. *ASME 2007 Energy Sustainability Conference (ES2007) July 27–30, 2007 , Long Beach, California, USA* (pp. 219-224). California: PROCEEDINGS OF THE ENERGY SUSTAINABILITY CONFERENCE 2007.
- Kośny, J., & Kossecka, E. (2002). Multi-dimensional heat transfer through complex building envelope assemblies in hourly energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 445–454.
- Kosseckaa, E., & Kosny, J. (2002). Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building. *Energy and Buildings*, 321–331.
- LEED. (2012). Preluat pe 01 20, 2013, de pe Leadership in Energy and Environmental Design: http://en.wikipedia.org/wiki/Leadership_in_Energy_and_Environmental_Design
- Legea performantei energetice a cladirilor nr. 372/2005*), republicata la 23 iulie 2013. (2013, 07 23). *Monitorul Oficial*.
- List of countries by carbon dioxide emissions*. (2013). Preluat pe 11 12, 2013, de pe Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_carbon_dioxide_emissions#cite_note-EDGAR-14
- Loes, J., Isolda , S., & Chiel , B. (2006). *Energy Saving Potential*. European Comision: PEP: Promotion of European Passive Houses.

- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Mussal, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2010, Octombrie 19). Zero Energy buildings - A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, p. 8.
- Mârza, C., & Abrudan, A. (2012). *Elemente de termotehnica construcțiilor*. Cluj-Napoca: UTPRESS.
- Mc 001/1. (2006, Decembrie). *Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor*. Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului.
- Mc 001/1. (2006, Decembrie). *Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor*. (U. T. București, Ed.) Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului.
- Mc 001/3 . (2006, 12 12). *Metodologie de Calcul al Performantei Energetice al Cladirilor*. (U. d.–U. Universitatea Tehnică de Construcții București, Ed.)
- Mc 001/4. (2009). *Metodologie de calcul al performantei energetice a cladirilor - Breviar de calcul a performanței energetice a clădirilor și apartamentelor*.
- Mc 001/5. (2009). *Metodologie de calcul al performantei energetice a cladirilor - Model certificat de performanta energetica al apartamentului*.
- Mc 001/6. (2013). *Metodologie de calcul al performantei energetic a clădirilor- Parametrii climatici necesari determinării performanței energetice a clădirilor noi și existente, dimensionării instalațiilor de climatizare a clădirilor și dimensionării higrotermice a element*. Ministerul Dezvoltării regionale și Administrației Publice- MDRAP.
- Mladin, E. C., Georgescu, M., & Dutianu, D. (2011). *Eficenta Energiei in Cladiri – Situatia in Romania și Acquis-ul Comunitar*. *Universitatea Politehnica București*, 12.
- Moga, I. (1987). *Contribuții la optimizarea higrotermică a clădirilor din zona Cluj-Napoca, Teză de doctorat*. Institutul Politehnic Iași.
- Moga, I., & Comșa, E. (1992). *Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor* (Vol. II). Cluj-Napoca: Editura UTPRESS CLUJ.
- Moga, L. (2009). *Contribuții privind optimizarea termoenergetică a clădirilor noi si existente* (Vol. I). Cluj-Napoca: UT CLUJ.
- Moga, L., & Moga, I. (2009). The energetic performance of the building envelope elements-intersection of linear thermal bridges. *The Fifth International Workshop on Energy and Environment of Residential Buildings and The Third International Conference on Built Environment and Public Health EERB-BEPH 2009*. Guilin: University of Hong-Kong and Tsinghua University.

- Molnar, L. M. (2012). *Contribuții privind studiul micro și macroscopic al unor mortare de tencuială ecologice în contextul dezvoltării durabile*. Cluj-Napoca: Facultatea de Construcții, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca.
- Mone, A.-G. (2013). *Contribuții la studiul privind economia de energie în construcții și factorii de influență*. Cluj-Napoca: Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții.
- Multinvest. (2013). Preluat pe 07 11, 2013, de pe Cladirile sustenabile devin populare si in Romania - Bursa Constructiilor: <http://www.multinvest.ro/cladirile-sustenabile-devin-populare-si-in-romania-bursa-construcțiilor.html>
- Munteanu, C. (2006). *Contribuții la studiul privind proiectarea, comportarea și reabilitarea din punct de vedere higrotermic a clădirilor de locuit*. Cluj-Napoca: Teza de doctorat, Facultatea de Construcții și Instalații, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.
- Nakhi, A. E. (1995). *Adaptive Construction Modelling Within Whole Building Dynamic Simulation*. University of Strathclyde.
- Negoită, A., Focșa, V., Pop, I., Tutu, L., Dumitraș, M., & Negoită, I. (1976). *Construcții civile* (Vol. I). Cluj-Napoca: Editura Didactică și Pedagogică București.
- NP 048. (2000). *Normativ pentru expertizarea termică și energetică a clădirilor existente și a instalațiilor de încălzire și preparare a apei calde de consum aferente acestora*. INCERC. Bucuresti: Institutul National de Cercetare - Dezvoltare in Constructii si Economia Constructiilor - INCERC.
- Paraschiv, R. (2012). Eficientizarea energetică a clădirilor existente. Pledoarie pentru "Verde". *Revista Construcțiilor, VIII(79)*.
- passiv.de. (2013). Retrieved 01 28, 2014, from Passivhaus Institute: http://www.passiv.de/de/04_php/04_php.htm
- Passivehaus Datenbank. (2013). Retrieved 01 28, 2014, from Passivehaus Datenbank: http://www.passivehousedatabase.eu/obj_basic_show.php?objID=DE-0047&picSEL=3
- passivhausprojekte.de. (2013). Retrieved 01 28, 2014, from Baza de date Passive House: http://www.passivhausprojekte.de/index.php#d_1770
- Petrea, S.-C. (2012). Atingerea eficienței energetice prin proiectare adecvată și sisteme complete de instalații. *Eficiența Energetică Germană în clădiri și case Pasive Românești* (p. 21). Bucuresti: Editura Econet Romania.
- PSIPLAN. (1995-2014). Program de calcul pentru determinarea coeficienților liniari de transfer termic pentru secțiuni plane cu alcătuire complexă. *Colectiv de Fizica Constructiilor*. Facultatea de Constructii, UTCN.

- RENESTL. (1982-2014). Programul pentru calcul câmpul unidirecțional de temperatură în regim termic nestaționar la elemente de construcții cu structura complexă, Validat în C107/7. *Pachetul de programe "RENEST"*, Colectivul de Fizica Construcțiilor. Facultatea de Construcții, UTCN.
- RENESTP. (1983-2014). Programul pentru calculul și analiza câmpului plan de temperatură în regim termic nestaționar pentru elemente de închidere cu structură complexă. *Pachetul de programe "RENEST"*, Colectivul de Fizica Construcțiilor. Facultatea de Construcții, UTCN.
- Scrigroup. (2012, 06 22). Preluat pe 12 03, 2013, de pe Notiuni fundamentale – transmisia caldurii: <http://www.scrigroup.com/casa-masina/construcții/Notiuni-fundamentale-transmisi24698.php>
- SR EN ISO 6949. (1998). *Părți și elemente de construcție. Rezistență termică și transmitanța termică. Metodă de calcul*. Standard Român.
- Steel Construction. (2012). Preluat pe 03 21, 2012, de pe SteelConstruction.info: <http://www.steelconstruction.info/BREEAM>
- Strategia Europa 20-20-20. (2013). *Strategie și legislație*. Preluat pe 10 1, 2013, de pe europa.eu: http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/construction/en0021_ro.htm
- Taipei 101. (2014, 02 11). Retrieved 02 1, 2014, from http://en.wikipedia.org/wiki/Taipei_101
- The 7 Coolest Existing Green Buildings. (2012). Retrieved 11 17, 2013, from Solar Feeds: <http://www.solarfeeds.com/the-7-coolest-existing-green-buildings/>
- Theodosioua, T., & Papadopoulos, A. (2008). The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. *Energy and Buildings*, 2083–2089.
- Torcellini, P., Pless, S., & Deru, M. (2006, August 14-18). Zero Energy buildings: A critical Look at the definition. *ACEEE Summer Study*, p. California.
- Transmiterea căldurii. (20, 12 2013). Preluat pe 01 13, 2014, de pe WIKIPEDIA: http://ro.wikipedia.org/wiki/Transmiterea_c%C4%83ldurii
- Verzi, C. R. (2013). *Ce înseamnă o casă verde*. Preluat pe 01 22, 2014, de pe Class Bambus Brochure: http://www.rogbc.org/Downloads/Educatie/Class_Bambus-Brochure.pdf
- Wolfgang, F. (2006). 15th Anniversary of the Darmstadt - Factor 10 is a reality. *Passivhouse Institute* (p. 10). Darmstadt : Passivhouse Institute. Retrieved 01 27, 2014, from Passive House: http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house

Zero-energy building. (2010). Retrieved 01 29, 2014, from Wikipedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Zero_energy_building#cite_note-1

LISTĂ FIGURI SI TABELE

Figura 1. Performanța energetică a clădirilor (Buildup, 2013).....	5
Figura 2. Consumul final de energie pe sectoare în România (Insitutul National de Statistica, 2013).....	7
Figura 3. Producerea CO ₂ prin arderea combustibililor fosili	9
Figura 4.Harta emisiilor de CO ₂ datorită arderilor combustibililor fosile pentru toate țările [mii de tone pe an] (List of countries by carbon dioxide emissions, 2013).....	10
Figura 5.Intensitatea în CO ₂ a consumului energetic (Insitutul National de Statistica, 2013)	10
Figura 6. Abordarea conceptului Dezvoltării Durabile	27
Figura 7. Sediul băncii din Statele Unite ale Americii - America Tower, New York (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012)	30
Figura 8. 30 The Bond, Sydney, Australia (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012)	30
Figura 9. Prima clădire verde din România - Multinvest Business Center, Târgu-Mureș ..	31
Figura 10. Clădirea eficientă energetic Amera Tower, Cluj-Napoca (Adevărul, 2010)	31
Figura 11. Centrul de inovatie Eliot Park (Steel Construction, 2012).....	33
Figura 12. Clădiri certificate cu platină după standardul LEED (LEED, 2012)	34
Figura 13. Reprezentarea celor două categorii de evaluare: Q - Calitatea și performanța mediului interior și L: Impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător (CASBEE, 2011)..	35
Figura 14. Etichetă standard GREEN STAR (GREEN STAR, 2012)	36
Figura 15. Aeroportul Internațional Canberra și Council House 2 Melbourne din Australia (Council House 2, 2012), (Canberra Airport, 2012).....	36
Figura 16. Conceptul de sustenabilitate conform DGNB (dgnb-system, 2012).....	37
Figura 17. Clădiri certificate DGNB Germania (dgnb-system, 2012)	38
Figura 18. Transferul căldurii prin conducție, convecție și radiație (Scrigroup, 2012)	39
Figura 19. Transmiterea căldurii prin conducție la un element omogen (Mârza & Abrudan, 2012)	43
Figura 20. Transferul căldurii prin convecție în interiorul încăperii (Despre încălzire, 2013)	49
Figura 21. Transmiterea căldurii prin convecție la suprafața elementelor de construcție (Negoiță, și alții, 1976)	50

Figura 22. Transferul căldurii prin radiație în interiorul încăperii (Despre încălzire, 2013)	51
Figura 23. Transmiterea căldurii prin radiație la suprafața elementelor de construcții (Focșa, 1975)	52
Figura 24. Transmiterea căldurii printr-un perete exterior alcătuit din 3 straturi (Izolarea termica, 2013)	56
Figura 25. Transmisia căldurii prin conducție la un perete omogen (Focșa, 1975)	57
Figura 26. Câmpul termic constant în planurile paralele cu peretele (Focșa, 1975)	58
Figura 27. Transmisia globală a căldurii printr-un element omogen	60
Figura 28. Transmisia căldurii prin conducție la structuri în mai multe straturi paralele; a. Variația temperaturii la scară geometrică, b. Variația temperaturii la scara rezistențelor termice (Moga & Comșa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992)	62
Figura 29. Variații sinusoidale ale fluxului termic și ale temperaturii elementelor de construcție	67
Figura 30. Amortizarea oscilațiilor termice în elementele de construcție	69
Figura 31. Definierea eficienței energetice a unei construcții (Petrea, 2012)	80
Figura 32. Consumul total de energie pe m^2 în cazul clădirilor rezidențiale	83
Figura 33. Consumul de energie pe m^2 pentru toate țările Uniunii Europene (pentru un climat normal) [kWh/(m^2 an)] (ENTRANZE, 2008)	84
Figura 34. Consumuri pentru o clădire rezidențială din România (ISOVER, 2010)	84
Figura 35. Casa Unifamilială. Urbana, Illinois, America de Nord, 2003	87
Figura 36. Principii de alcătuire ale unei case pasive (passiv.de, 2013)	89
Figura 37. Casă multi – familială, Hamburg; Germania (Passivehaus Datenbank, 2013)	90
Figura 38. Locuință individuală unifamilială, Kärnten; Austria	91
Figura 39. Centru sportiv și de recreere, Gent; Belgia	92
Figura 40. Locuință individuală unifamilială, Kriessern	93
Figura 41. Locuință individuală unifamilială, Laholm	94
Figura 42. Locuință individuală unifamilială, Cluj-Napoca, România	96
Figura 43. Locuință individuală unifamilială, Wisconsin; SUA (passivhausprojekte.de, 2013)	97
Figura 44. Centrul de Tehnologie a Mediului de la Universitatea de Stat Sonoma, Statele Unite ale Americii	104
Figura 45. Centrul de Energie Gateway din Hawaii (ENERGY, 2008)	105
Figura 46. Soleta zeroenergy ONE (Construction21.eu, 2012)	107

Figura 47. Ansamblul Rezidențial Luceafărul (construction21, 2013)	111
Figura 48. Multinvest Business Center, Târgu Mureș (construction21.eu, 2013).....	111
Figura 49. Moliere Residence, București (construction21.eu, 2013)	112
Figura 50. Taipei 101 (Taipei 101, 2014).....	113
Figura 51. Casa Triplu zero (Clear Glass House is Triple Zero Climate-Friendly, 2010)	113
Figura 52. Casa cu energie pozitivă.....	114
Figura 53. Curba de încălzire pentru clădiri grele și clădiri ușoare (EN ISO 13790, 2005)	117
.....	
Figura 54. Caracteristicile admitanței termice. (EN ISO 13786, 2005)	120
Figura 55. Caracteristicile factorului de amortizare. (EN ISO 13786, 2005).....	121
Figura 56. Defazajul. (EN ISO 13786, 2005).....	122
Figura 57. Caracteristicile factorului de suprafață. (EN ISO 13786, 2005)	122
Figura 58. Factorul de amortizare f vs masa elementului pe unitate de suprafață pentru 24	
de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009).....	125
Figura 59. Defazajul Δt_f vs masa elementului pe unitate de suprafață pentru 24 de detalii	
constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009).....	125
Figura 60. Discretizarea elementului de calcul, cazul a.) si b.) (Moga I. , 1987).....	134
Figura 61. Câmpul de temperatură plan în regim termic staționar într-o zonă interioară a	
domeniului studiat (Moga I. , 1987)	137
Figura 62. Suprafața exterioară a unui element studiat (EN ISO 13791, 2006).....	144
Figura 63. Planul clădirii studiate.....	160
Figura 64. Rețeaua termică a clădirii.....	160
Figura 65. Rețeaua termică echivalentă a clădirii.....	161
Figura 66. Formularea admitanțelor	161
Figura 67. Geometriile studiate	162
Figura 68. Fereastră cu vitraj simplu	164
Figura 69. Fereastră cu vitraj dublu cu dispozitiv exterior de umbrire	164
Figura 70. Aporturi interne.....	167
Figura 71. Rețeaua de calcul și izotermele peretelui exterior pentru cele 4 cazuri studiate:	
a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic	
cu 20 cm EPS	176
Figura 72. Rețeaua de calcul și izotermele intersecției orizontale perete exterior cu perete	
interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime pentru cele 4 cazuri studiate: a) neizolat	

termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS	177
Figura 73. Rețeaua de calcul și izotermele intersecției planșeu beton armat cu perete exterior: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS	180
Figura 74. Condițiile de contur pentru modelele comparate	182
Figura 75. Perete exterior cu stâlp de beton armat de 30x40 cm	183
Figura 76. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS	191
Figura 77. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime	192
Figura 78. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS	200
Figura 79. Intersecție planșeu din beton armat cu perete exterior	201
Figura 80. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS	210
Figura 81. Schema de dispunere a apartamentelor la parter	213
Figura 82. Schema de dispunere a apartamentelor la etaj	213
Figura 83. Variația temperaturii aerului exterior pentru zona Cluj	214
Figura 84. Intensitatea radiației solare totale pentru zona Cluj	215
Figura 85. Plan parter	216
Figura 86. Plan etaj	217
Figura 87. Rețeaua termică echivalentă în zona parterului	218
Figura 88. Rețeaua termică echivalentă în zona etajelor curente	219
Figura 89. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 75%	220
Figura 90. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 85%	220
Figura 91. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 95%	221

LISTĂ TABELE

Tabel 1. Valori normate și valorile limită apreciate, ale rezistențelor termice la clădirile de locuit noi (Mc 001/1, 2006)	19
Tabel 2. Rezistențe termice minime R'_{\min} ale elementelor de construcție, pe ansamblul clădirii - la clădiri de locuit (Mc 001/1, 2006).....	19
Tabel 3. Pentru clădiri de categoria 1	21
Tabel 4. Pentru clădiri de categoria 2	21
Tabel 5. Rezistențe termice minime R'_{\min} ale elementelor de construcție al clădirilor (Consortiu Universitar, 2005)	22
Tabel 6. Valorile normate pe țară și valori diferențiate pe cele patru zone climatice (Mone, 2013)	23
Tabel 7. Valorile coeficienților a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 1	24
Tabel 8. Pentru clădiri de categoria 2	24
Tabel 9. Izolații termice standardizate în Europa (Mladin, Georgescu, & Dutianu, 2011). 25	
Tabel 10. Strategia dezvoltării durabile în România	28
Tabel 11. Clasificare Green Star Australia (Mone, 2013).....	36
Tabel 12. Simboluri și unități de măsură.....	40
Tabel 13. Valori ale coeficientului de transfer termic λ (C 107/3, 2005).....	45
Tabel 14. Valori ale coeficientului de radiație a corpului negru h_{ro}	53
Tabel 15. Coeficienții de transfer termic superficial $[W/(m^2 \cdot K)]$ și rezistențele termice superficiale $[(m^2 \cdot K)/W]$ (C 107/3, 2005)	55
Tabel 16. Coeficienți globali normați de izolare termică GN $[W/(m^2 \cdot K)]$ la clădiri de locuit (C 107-modificat, 2010).....	73
Tabel 17. Valorile coeficienților de control a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 1 ^x) pentru partea de cazare se aplică prevederile din normativ (C 107-modificat, 2010)	78
Tabel 18. Valorile coeficienților de control a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 2 ^x) pentru partea de cazare se aplică prevederile din normativ (C 107-modificat, 2010)	79
Tabel 19. Valori ale caracteristicilor energetice (Mc 001/3 , 2006).....	81
Tabel 20. Necesarul anual de căldură pentru încălzire termică (Bhavin, Jayeshkumar, & Bhavnaben, 2013)	86
Tabel 21. Caracteristicile clădirii.....	90
Tabel 22. Caracteristicile clădirii.....	91
Tabel 23. Caracteristicile clădirii.....	92

Tabel 24. Caracteristicile clădirii	93
Tabel 25. Caracteristicile clădirii	95
Tabel 26. Caracteristicile clădirii	96
Tabel 27. Caracteristicile clădirii	97
Tabel 28. Necesarul de energie necesar încălzii și respectiv răcirii caselor noi construite conform cerințelor minime ale standardelor în vigoare și conform standardului casei pasive - Passivehaus (Institut, 2006).....	98
Tabel 29. Metodologii cu privire asupra sistemului metric, perioadei și tipului de echilibru, tipuri de utilizare a energiei incluse, cu diverse tipuri de alimentare regenerabile (Marszal, et al., 2010).....	102
Tabel 30. Definiții nZEB propuse pentru România (Atanasiu & Petran, 2012).....	106
Tabel 31. Analogia termo-electrică	128
Tabel 32. Perete exterior – zona câmpului curent	150
Tabel 33. Perete exterior – zona planșeului din beton armat.....	151
Tabel 34. Perete exterior – zona centurii și a buiandrului din b.a.	151
Tabel 35. Perete exterior – zona stâlpișorilor din b.a.	152
Tabel 36. Perete exterior – zona șapei planșeului.....	152
Tabel 37. Perete exterior	153
Tabel 38. Perete exterior	153
Tabel 39. Perete exterior	154
Tabel 40. Perete exterior	155
Tabel 41. Perete exterior	156
Tabel 42. Perete interior.....	157
Tabel 43. Perete interior.....	157
Tabel 44. Perete interior.....	158
Tabel 45. Caracteristicile geometrice ale încăperii.....	163
Tabel 46. Proprietăți termofizice ale elementelor opace	163
Tabel 47. Caracteristici solare ale elementului vitrat și ecranului pentru toate unghiurile de incidență	163
Tabel 48. Elemente de radiație solară pentru configurația geometrică A.....	165
Tabel 49. Elemente de radiație solară pentru configurația geometrică B.....	166
Tabel 50. Temperatura aerului exterior pentru configurația geometrică A	166
Tabel 51. Temperatura aerului exterior pentru configurația geometrică B	166
Tabel 52. Fluxul termic total datorită surselor interioare pe suprafața de planșeu.....	167

Tabel 53. Schimburi de aer pe oră [h^{-1}]	167
Tabel 54. Cazurile A de încercări	168
Tabel 55. Cazurile B de încercări	168
Tabel 56. Temperatura operativă pentru geometria A.....	169
Tabel 57. Temperatura operativă pentru geometria B.....	169
Tabel 58. Caracteristicile termice ale materialelor elementului de construcție – perete exterior	173
Tabel 59. Valorile coeficienților rezultate din calcul – perete exterior	176
Tabel 60. Valorile coeficienților rezultate din calcul – intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime	178
Tabel 61. Valorile coeficienților rezultate din calcul – intersecției planșeu beton armat cu perete exterior	180
Tabel 62. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic	183
Tabel 63. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	183
Tabel 64. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	184
Tabel 65. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	184
Tabel 66. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic	184
Tabel 67. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS....	185
Tabel 68. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS....	185
Tabel 69. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS....	185
Tabel 70. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic	186
Tabel 71. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	186
Tabel 72. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	186
Tabel 73. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	187
Tabel 74. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic	187
Tabel 75. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS....	188
Tabel 76. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS....	188
Tabel 77. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS....	188
Tabel 78. Compararea fluxului termic $q_{i, \max}$ și a defazajului la modelele studiate.....	191
Tabel 79. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic	192
Tabel 80. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	193

Tabel 81. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS.....	193
Tabel 82. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS.....	193
Tabel 83. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic	194
Tabel 84. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS.....	194
Tabel 85. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS.....	194
Tabel 86. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS.....	195
Tabel 87. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic	195
Tabel 88. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS.....	195
Tabel 89. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS.....	196
Tabel 90. Intersecție orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS.....	196
Tabel 91. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic	197
Tabel 92. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS.....	197
Tabel 93. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS.....	197
Tabel 94. Intersecție orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS.....	198
Tabel 95. Compararea fluxului termic $q_{i, \max}$ și a defazajului la modelele studiate	201
Tabel 96. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic.....	202
Tabel 97. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	202

Tabel 98. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	202
Tabel 99. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	203
Tabel 100. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic	203
Tabel 101. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	203
Tabel 102. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	204
Tabel 103. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	204
Tabel 104. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic	204
Tabel 105. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	205
Tabel 106. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	205
Tabel 107. Intersecție perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	206
Tabel 108. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic	206
Tabel 109. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS	206
Tabel 110. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS	207
Tabel 111. Intersecție echivalentă perete exterior cu planșeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS	207
Tabel 112. Compararea fluxului termic $q_{i, \max}$ și a defazajului la modelele studiate.....	210