Investeşte în oameni!
FONDUL SOCIAL EUROPEAN
Programul Operaţional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013
Axa prioritară: 1 „Educaţia şi formarea profesională în sprijinul creşterii economice şi dezvoltării societăţii bazate pe cunoaştere”
Domeniul major de intervenţie: 1.5 „Programe doctorale şi 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 CONSTRUCŢII

fiz. **Bogdan BRUMĂ**

TEZĂ DE DOCTORAT

STUDII NUMERICE COMPARATIVE PRIVIND PERFORMANȚA TERMICĂ A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII

Conducător Stiinţific,
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 PE PLAN EUROPEAN ȘI NAȚIONAL....10

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....27

1.4.1. Standardul BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)....32

1.4.2. Standardul LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)....34

1.4.3. CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency)....35

1.4.4. GREEN STAR....36

1.4.5. DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)....38

CAPITOLUL 2. FENOMENELE DE TRANSFER TERMIC 40

2.1. GENERALITĂȚI....40

2.2. MĂRIMI HIGROTERMICE....41

2.2.1. Termeni, simboluri și unități de măsură....41

2.3. TRANSFERULUI DE CĂLDURĂ PRIN ELEMENTELE ANVELOPEI....43

2.3.1. Transferul căldurii prin conducţie....43

2.3.2. Transferul căldurii prin convecție....49

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....57

2.4.1. Elemente de închidere cu alcătuire omogenă 57

2.4.2. Transmisia căldurii prin conducţie la structuri în mai multe straturi omogene paralele perpendiculare pe fluxul termic 62

2.4.3. Elemente de închidere cu alcătuire neomogenă 65

2.5. TRANSMISIA CĂLDURII ÎN REGIM TERMIC NESTAŢIONAR 66

2.5.1. Ecuaţia diferenţială a conducţiei termice în regim termic nestaționar 66

2.5.2. Criterii aproximative privind caracteristicile termice ale elementelor de construcții în regim nestaționar 68

2.5.3. Alți coeficienți care se calculează în stabilirea comportării higrotermice a unei clădiri 72

CAPITOLUL 3. CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC 82

3.1. EFICIENȚA ENERGETICĂ A UNEI CONSTRUCȚII 82

3.2. CASA PASIVĂ 89

3.3. CLĂDIRI CU CONSUM DE ENERGIE APROAPE EGAL CU ZERO 102

3.3.1. Generalități 102

3.3.2. Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel internațional ... 103

3.3.3. Conceptul de “Clădire cu consum de energie zero” la nivel național 108

3.4. CLĂDIRILE VERZI 111

3.5. ALTE TIPURI DE CLĂDIRI EFICIENTE ENERGETIC 116

CAPITOLUL 4. EVALUAREA PERFORMANŢELOR TERMICE A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII ÎN REGIM DINAMIC 118

4.1. INTRODUCERE 118

4.2. ELEMENTE DE TEORIE ALE CALCULULUI DINAMIC ÎN LITERATURA INTERNAŢIONALĂ 119

4.3. REȚELE TERMICE ECHIVALENTE LA CLĂDIRI 131

4.4. FUNDAMENTAREA TEORETICĂ A ALGORITMULUI DE CALCUL ÎN REGIM TERMIC NESTAŢIONAR 134

4.4.1. Transferul undirecţional în regim termic nestaţionar 134

4.4.2. Transferul plan în regim termic nestaţionar 138

4.5. METODOLOGIE DE CALCUL A TEMPERATURII INTERIOARE A UNEI INCĂPERI 141

4.6. CONSIDERAREA IN CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE A PUNŢILOR TERMICE 148

CAPITOLUL 5.CALCULE TERMOTEHNICE UTILIZÂND CARACTERISTICI DINAMICE 151

5.1. CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE PENTRU DIFERITE ALCĂTUIRI CONSTRUCTIVE 152

5.2. EXEMPLU DE APLICARE A REŢELELOR TERMICE ECHIVALENTE 162

5.3. PROGRAMUL DE CALCUL A TEMPERATURII OPERATIVE A UNUI SPAŢIU ÎN TIMPUL VERII 165

5.4. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL PENTRU LUAREA ÎN CONSIDERAREA A PUNŢILOR TERMICE LA EVALUAREA CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE 175

5.4.1. Determinarea coeficientului liniar de transfer termic ψ şi a rezistenţei termice corectate R’ 176

5.4.2. Analiza considerării efectului prezenţei punţilor termice în stabilirea caracteristicilor termice dinamice 184

5.5. CALCULUL NECESARULUI DE ENERGIE PENTRU ÎNCĂLZIRE PE BAZA COMPORTĂRII DINAMICE A CLĂDIRII 214

5.5.1. Descrierea clădirii 214

5.5.2. Condiţii climatice specifice amplasamentului clădirii 216

5.5.3. Evaluarea necesarului de energie pentru încălzirea clădirii şi primenirea aerului 224

CAPITOLUL 6. CONCLUZII .227

6.1. CONCLUZII GENERALE 227

6.2. SINTEZA CONTRIBUŢIILOR AUTORULUI 229

BIBLIOGRAFIE 231

LISTĂ FIGURI SI TABELE 241

INTRODUCERE

Energia este considerată a fi un elemente cheie ale prosperittăţii, securităţii şi păcii unei ţări. Deoarece o mare parte din consumurile sectoarelor importante ca transport, industrie, comerţ şi clădiri se basează pe utilizarea rezervelor de combustibili fosili, creşterea consumurile de energie a devenit o problemă globală. Sectorul clădirilor este considerat ca fiind unul din principalii consumatori de energie conform Agenţiei Internaţionale a Energiei (AIE). Conform AIE un procent de 32% din consumul total final de energie este consumat de sectorul clădirilor, şi respectiv un procent de aproximativ 40% din punct de vedere a consumului de energie primară. (iea, 2014)

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 (CO_2).

Fondul de clădiri existent în tările Uniunii Euroene, Elveţia şi Norvegia reprezintă aproximativ 30000 de kilometrii pătraţi de suprafaţă construită conform Institutului European BPIE (Buildings Performance Institute Europe). În timp ce fondul de clădiri din ţările din Europa centrală şi de vest reprezintă un procent de 50%, ţările din centrul şi estul Europei unde se găseşte şi România reprezintă doar un procent de 14% din totalul acestei suprafeţe, restul de 36% fiind reprezentat de ţările din sudul Europei. Din punct de vedere a tipului de clădiri, 75% reprezintă sectorul rezidenţial, respectiv 36% blocuri de locuit şi 64% case unifamiliale. Sectorul non-rezidenţial (terţiar) este reprezentat cu un procent de 25% de clădiri de tip spaţii comerciale, birouri, şcoli, săli de sport, piscine interioare, hoteluri, restaurante, spitale şi altele. (BPIE, 2011)

Confort raportului BPIE mai mult de 40% din clădirile rezidenţiale au fos construite înainte de perioada anilor 1960 o perioadă caracterizată de puţine reglementări în domeniul comportării energetice a unei clădiri. Pe baza celor studiate s-a observat o devoltare imobiliară puternică în perioada 1961-1990, în unele zone chiar dublându-se fondul de clădiri construit faţă de perioada anterioară. În plus, 18% a fondului de clădiri existent a fost realizat după anii 1990. Acest fapt explică consumurile foarte ridicate ale clădirilor europene care sunt caracterizare de un consum energetic mediu în jurul valorii de 190 kWh/(m^2·an).

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, cerinţă în curs de implementare obligatoriu începând cu 31 Decembrie 2018 pentru clădirile publice şi 31 decembrie 2020 pentru toate tipurile de clădiri. (Directiva 2010/31/EU , 2010)

Astfel, prin reducerea consumurilor în clădiri, o naţiune poate să-şi reducă dependenţa de energie importată şi să-şi întărească poziţia strategică la nivel internaţional. Criteriul de „eficienţă energetică" este înţeles de Uniunea Europeană ca fiind o bună modalitate de stabilire a securităţii energetice pe termen lung. Prin reducerea consumurilor energetice se va obţine şi o reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, şi implicit şi o reducere a nivelului de poluare la nivelul ţintelor propuse pe plan naţional. (Strategia Europa 20-20-20, 2013)

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

Teza de faţă se înscrie în preocuparea specialiştilor pentru implementarea în proiectarea curentă a directivelor europene privind eficienţa energetică a clădirilor. În acest sens, prezenta lucrare analizează comparativ performanţa termică a elementelor anvelopei clădirii în regim static şi 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 piaţa 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 internaţional EN ISO 13786 şi modul de aplicare a „metodei admitanţelor" în vederea rezolvării problemelor de transfer termic complex. Problematica stabilirii temperaturii operative pe timp de vară într-un spaţiu fără climatizare abordat în standardul EN ISO

13791 şi EN ISO 13792 a fost analizată şi însuşită de autor, fapt ce i-a permis elaborarea unui program de calcul specific prezentat în capitolul 5. În acest capitol se mai prezintă şi definirea algoritmul de calcul în regim termic nestaţionar pentru calculul unidirecţional şi calculul plan, precum şi modul de evaluarea a prezenţei punţilor termice în alcătuirea elementelor anvelopei clădirii şi în calculul caracteristicilor termice dinamice.

Capitolul cinci prezintă aplicaţii cu rezultate numerice obţinute în urma calculelor efectuate pe baza principiilor teoretice amintite la capitolele anterioare. Se prezintă rezultatele numerice şi grafice obţinute pentru răspunsul termic dinamic al elementelor exterioare şi interioare ale clădirii. De asemenea, se prezintă modul de aplicare a reţelelor termice echivalente la clădiri şi un program de calcul pentru stabilirea temperaturii operative a unui spaţiu în timpul verii, validat conform standardului EN ISO 13791. Problematica luării în considerare a prezenţei punţilor termice în alcătuirea constructivă a elementelor clădirii sub aspectul rezultatelor obţinute în urma unor calcule dinamice, a reprezentat o preocupare importantă a autorului în lucrarea de faţă. In 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 iniţial cu punţi termice, obţinându-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 locuinţe nereabilitată termic şi în 4 variante de reabilitare termică, consumuri energetice obţinute pe baza analizei comportării dinamice a clădirii.

Capitolul şase conţine concluziile generale ale lucrării de faţă şi contribuţiile 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, respectiv vânt, ploaie, zăpadă, radiație solară aşa cum este amintit de (Negoiță, și alții, 1976). Condiții fiziologice ale clădirilor sunt strâns legate dedualismul zilnic al vieții omenești care este caracterizată de starea catabolică şi anabolică a omului. Catabolismul are loc în perioada de activitate a omului, stare caracterizată de eliberarea rezervelor de energie din organism. Pentru ca această stare să nu aibă loc în exces este nevoie de realizarea unui confort termic interior corespunzător în spaţiul în care acea persoană îşi desfăsoară activitatea. În contrast cu catabolismul, anabolismul are loc în perioada de repaus – odihnă a corpului omenesc şi care se caracterizează prin aceea că organismul acumulează energie pentru menţinerea cosntantă a temperaturii corpului şi pentru a răspunde cerinţelor oricărui alt proces anabolic. In consecinţă, cele două stări ale corpului sunt puternic influenţate de caracteristicile higrotermice ale elementelor de construcție ale anvelopei clădirii pecum şi de condițiile de climat interior și exterior.

Confortul termic definește o stare de bine, respectiv o armonie dintre om și mediul înconjurător, din punct de vedere al schimbului de căldură și umiditate. Confortul termic este influențat de mai mulți parametrii, cum ar fi temperatura aerului, temperatura radiantă a suprafeţelor cu care corpul uman efectuează un schimb radiativ, viteza aerului interior, umiditatea relativă aerului interior și tipul activității pe care o întreprind ocupanţii clădirii. (Moga & Comsa, 1992)

O altă definiție cu privire la confortul termic poate fi starea generală de satisfacție a ocupanților unei clădiri față de mediul înconjurător. Această definiție este amintită în Standardul 55 realizat de către ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) care menționează faptul că confortul termic reprezintă o cerință obligatorie ce trebuie luată în considerare încă din faza inițială de proiectare. (ASHRAE, 2013)

În consecinţă, realizarea confortului termic interior are implicaţii directe asupra consumurilor energetice din faza de exploatare a unei clădiri. Deoarece percepția confortului

termic este diferită pentru fiecare ocupant al clădirii în funcţie de vârstă, sex, stare psihică şi alţi factori care influenţează nivelul de apreciere a confortului termic, există pe parcusul unui an o nevoie continuă de creştere a valorii temperaturii interioare cu ajutorul instalaţiilor de încălzire sau de scădere a temperaturii interioare prin instalaţiile de climatizare. Acest comportament cauzează creşteri semnificative ale consumurilor de energie pentru încălzirea şi răcirea clădirii. Astfel indiferent de destinaţia clădirilor toate sunt mari consumatoare de energie. La nivel mondial dintre toate sectoarele consumatoare de energie se consideră că potenţialul cel mai ridicat şi în acelaş timp rapid din punct de vedere a implementării unor soluţii de reducere a consumurilor energetice, există în sectorul clădirilor. (BPIE, 2011). Implementarea soluţiilor de eficientizare energetică a clădirilor are efect pozitiv extins, atât prin reducerea impactului clădirii asupra mediului înconjurător prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cât şi prin reducerea consturilor de întreţinere ale clădirii.

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 şi iluminatul. (Directiva 2002/91/CE, 2002). Aşa cum a fost menţionat anterior sectorul clădirilor rezidenţiale şi non-rezidenţiale sunt cele mai mari consumatoare de energie atât datorită necesităţii menţinerii unui climat interior optime cât şi datorită utilizării energiei pentru aparaturile electrocansice, sistemele de climatizare şi iluminatul interior. (Moga L. , 2009). Din acest considerent atât la nivel european cât şi mondial se pune accent pe eficientizarea energetică a clădirilor, respectiv a anvelopei clădirii şi a instalaţiilor acesteia, astfel încât confortul termic să poată fi asigurat cu cheltuieli minime şi implicit să se reducă impactul asupra mediului.

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

In ultimii ani au avut loc diferite sesiuni de programe de informare şi parteneriate între ministere, institute de cercetare şi bănci care au avut ca scop educarea investitorilor, beneficiarilor şi constructorilor privitor la oportunitatea pe care o crează activităţile de eficientizare energetică a clădirilor. Crearea unor noi pieţe de materiale, tehnologii, tipuri de clădiri sustenabie (verzi) şi sisteme de certificare a clădirilor dau şansa unor investiţii semnificative benefice./pozitive pentru actorii implicaţi, atât prin beneficiile financiare pe care le obţin cât şi printro sustenabilizare a modului în care clădirile sunt construite şi energia este consumată în faza de construcţie şi în faza de exploatare a clădirii.

Situaţia clădirilor la nivel european este diferită datorită faptului că țările din Europa de Vest au implementat imediat după crizele energetice (1973, 1979) programe naționale de creştere a eficienţei energetice a clădirilor, programe care au avut un impact pozitiv datorită şi a facilităţilor fiscale pe care le ofereau. În ţările din Europa Centrală şi de Est nu au existat programe în acest sens. Acest fapt a dus la creşterea fondului de clădiri şi sisteme ineficiente energetic, şi în acelaş timp la creşterea problemelor de poluare şi a celor economice. (Paraschiv , 2012).

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%.

In vederea sustenabilizării fondului de clădiri existent şi a clădirilor noi prin scăderea consumurilor energetice şi a impactului asupra mediului, în cadrul stategiei Uniunii Europene denumită „Europe 2020" dezvoltată pentru o perioadă de 10 ani (2010-2020), au fost definite cinci obiective ambiţioase printre care şi unul legat de climat şi energie. Politica energetică promovată de Uniunea Europeană se bazează pe securitate energetică, dezvoltare durabilă şi competitivitate. Obiectivele importante ale acestei politici cunoscute si sub numele de „20-20-20" prezentate în „Strategia Energetică a României pentru perioada 2007-2020" (MEF & MMDD, 2007) sunt următoarele:

- Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu 20% (sau chiar 30%) până în anul 2020, în comparație cu cele din anul 1990;
- Creșterea utilizării surselor de regenerabile de energie la 20% din totalul consumului de energie al UE până în 2020, în comparaţie cu valoarea de mai puțin de 7% din anul 2006;
- Reducerea consumului global de energie primară cu 20% până în anul 2020.

În urma aderării României la Uniunea Europeană, s-a 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 2.) 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.

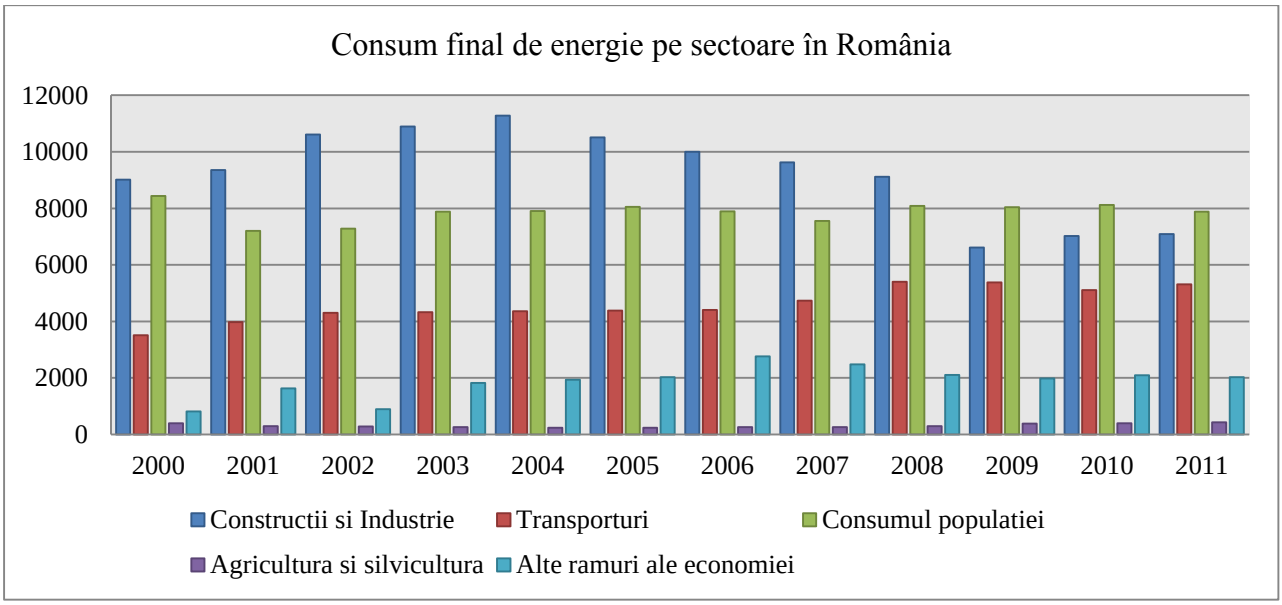


Figura 2. Consumul final de energie pe sectoare în România (Insitutul National de Statistica, 2013)

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:

- *„emisii 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 CO_2 este agravată de defrișări, care se datorează tot activității omului, defrișări care reduc cantitatea de CO_2 absorbită de plante);
- *emisii 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;
- *emisii de N_2O* ca urmare a folosirii îngrășămintelor chimice și a arderii combustibililor fosili;
- *emisii 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". (Incălzirea globală, 2013)

S-a constat faptul că de la începutul revoluției industriale concentrația de dioxid de carbon a crescut cu un procent de 32 %, niveluri mult mai mari față de cele măsurate în cadrul programelor de monitorizare a nivelelor de poluare.

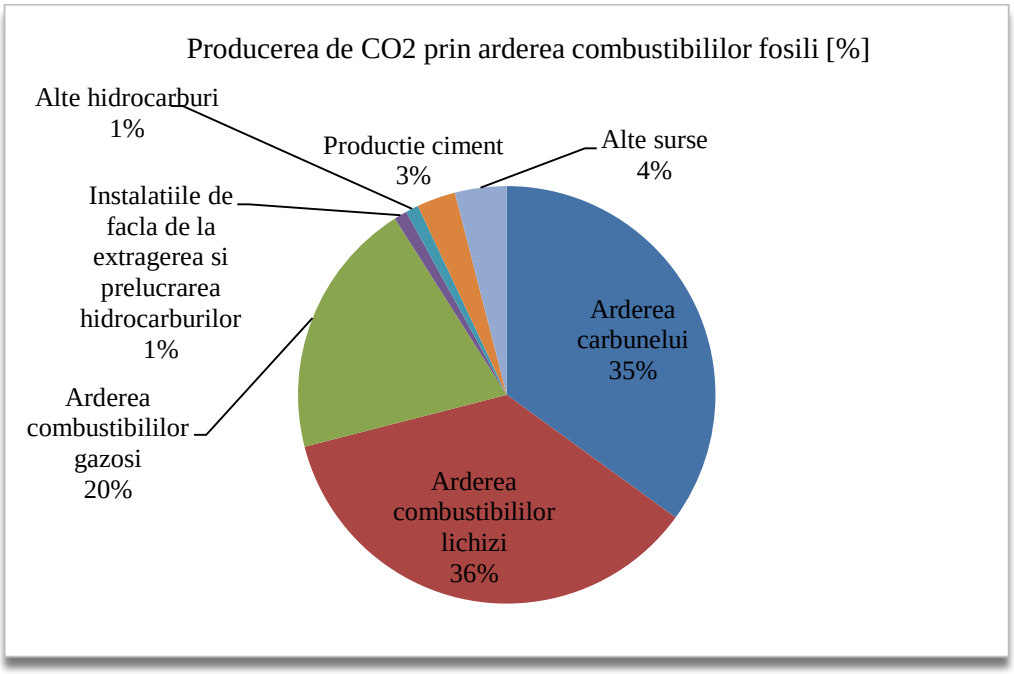


Figura 3. Producerea CO2 prin arderea combustibililor fosili perioada 2000-2004 (Raupach, 2007)

Dintre țările cu cele mai mari emisii de CO_2 le putem aminti pe Statele Unite ale Americii datorită consumurilor amri de petrol, China şi Rusia datorită industriilor energetice care sunt bazate pe arderea cărbunilor, India şi Japonia.

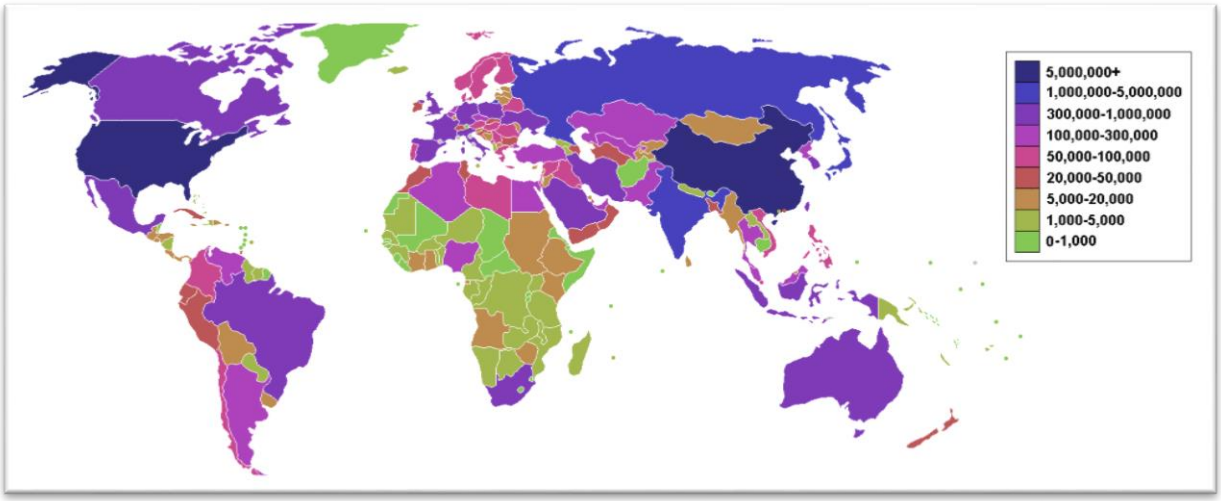


Figura 4.Harta emisiilor de CO2 datorită arderilor combustibililor fosile pentru toate țările [mii de tone pe an] (List of countries by carbon dioxide emissions, 2013)

Conform datelor prelevate de către Institutul Național de Statistică a României, în figura de mai jos este prezentată variaţia emisiilor de CO_2 datorate consumurilor energetice începând din anul 2000 până în anul 2011.

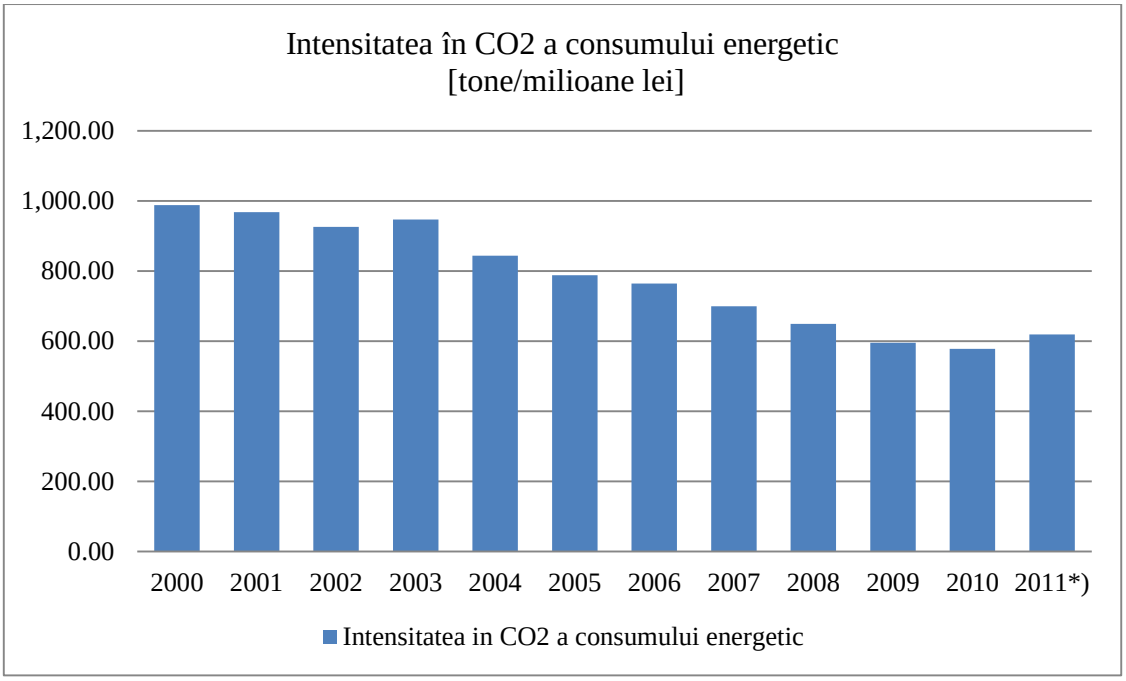


Figura 5.Intensitatea în CO_2 a consumului energetic (Insitutul National de Statistica, 2013)

Se poate observa faptul că această intensitatea are o ușoară creștere în anul 2011 față de anul 2010 (Insitutul National de Statistica, 2013).

1.2. CADRU LEGISLATIV PE PLAN EUROPEAN ȘI 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, fapt pentru care se dorește reducere consumului de energie și creşterea utilizării 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 (CO_2). Tot în cadrul Protocolului de la Kyoto s-a stabilit menținerea creșterii temperaturii globale sub 2°C și de asemenea reducerea emisiilor globale cu efect de seră cu cel puțin 20% sub nivelurile din 1990 și cu 30% în eventualitatea încheierii unui acord internațional. (CE, 2010)

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

Conform ultimei Directive Europene din 2010 a Uniunii Europene, toate clădirile noi vor trebui să se alinieze la cerinţele de eficientizare energetică care impun ca acestea să devină clădiri cu consum zero energie, începând cu 31 Decembrie 2018 pentru clădirile deținute de autoritățile publice şi respectiv 31 Decembrie 2020 pentru toate clădirile. (Directiva 2010/31/EU , 2010)

În documentul Comisiei Europene privind „Strategia Europeană a securităţii energetice" (CE, 2014) se pune accent pe faptul că trebuie reduse semnificativ emisiile de dioxid de carbon astfel încât să putem asigura o economie competitivă. De asemenea, se impune o moderare a cererii de energie prin aplicarea directivelor prevăzute pentru eficientizarea energetică în sectoarele prioritare, sectorul construcţiilor fiind cel mai important dintre acestea. Asemenea acţiuni vor duce implicit la scăderea dependenţei de import a căror prognoze sunt pesimiste conform documentului Carta Verde /769 din 29 Noiembrie 2000 care prevedeau creşterea dependenţei până în anul 2030-2050 peste valoare actuală de 70%. Se impune diversificarea surselor şi furnizolrilor de enrgie, precum şi arutelor pe care această este primită. Se impune accelerarea luării măsurilor de eficientizare energetică a clădirilor prin acordarea unui accent sporit anvelopei clădirii şi eficientizării instalaţiilor de încălzire. Creşterea utilizării surselor regenerabile de energie este prioritară astfel încât să se atingă obiectivul pentru anul 2020 precum şi sprijinirea sistemelor naţionale de promovare a utilizării energiei din surse regenerabile. Introducerea pe piaţă a unor tehnologii energetice noi şi eficiente care să ajute sectoatere mari consumatoare de energie. Implementarea unui sistem de monitorizare a securităţii aprovizionării cu energie la nivelul UE este necesar pentru a creşte transparenţa în acest sens şi pentru a asigura un comerţ corect în domeniul energiei. Pe plan local se impune o mai bună coordonare a politicilor energetice, deoarece alegerile privind infrastructura energetică şi mixul de energie au un efect asupra celorlalte state membre ale Unuiunii Europene.

Directivele europene includ aspecte legate de economia de energie în sectorul clădirilor și posibile măsuri care să conducă la exploatarea potențialului important existent în acest sector. (Moga L. , 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 şi a Consiliului Europei din 19 mai 2010 privind performanţa 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 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului Europei din 25 octombrie 2012 privind eficienţa energetică;.
- Directiva 93/76/EEC privind imitarea 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 eficientei în Comunitatea Europeană;
- Directiva 2006/32/EC privind eficientă 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.
- Raportul 2014/330 (COM) , Comunicarea Comisiei către Parlamentul European şi Consiliu privind Strategia europeană a securității energetice,

Printre cele cinci obiective esențiale pe care si le-a propus Uniunea Europeană In cadrul Strategiei Europa 2020 se aminteşte utilizarea eficientă a energiei şi obiectivul reducerii impactului schimbărilor climatice prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. Strategia Europa 2020 cuprinde şapte inițiative majore în domeniile prioritare ca ocuparea forței de muncă, inovare, economia digitală, tineret, politica industrială, combaterea sărăciei și eficiență energetică.

Această strategie încearcă să aducă politici şi structuri de guvernanţă noi care au fost deja puse în aplicare în începând cu anul 2010. Se doreşte furnizarea unui cadru de reforme şi orientări politice, precum şi recomandări pe specificul fiecărei ţări care să fie aprobate în cadrul Consiliului European. Politicile şi bugetele naţionale se conturează apoi pe baza recomandărilor cadru aprobate de Consiliul European. (Strategia Europa 20-20-20, 2013).

Una dintre principalele directive elaborate în scopul strategiei europene este ***Directiva 2010/31/UE*** a Parlamentului European şi a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanţa 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, şi altele.

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

Directiva aminteăte de importanţa asigurării finanţării potrivite şi de necesitatea existenţei altor instrumente care să catalizeze toate eforturile înspre obţinerea unor performanţe energetice sporite ale clădirilor, precum şi să ajute în tranziţia spre clădiri cu consum aproape zero energie. Implementarea cerinţelor minime de performanţă energetică trebuie realizată la un nivel de cost optim pentru a se putea vorbi de soluţii fezabile şi in acelas timp sustenabile. (Directiva 2010/31/EU , 2010)

Metodologia de calcul al performanţei energetice a clădirilor dezvoltată şi adoptată la nivel naţional ţine seama, conform cerinţelor Directivei 31/2010, de următoarele aspecte:

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

Alţi parametrii importanţi în stabilirea comportării energetice a unei clădiri sunt: intensitatea radiației solară și orientarea clădirii, iluminatul natural, electricitatea produsă prin cogenerare şi sistemele de încălzire și de răcire centralizate sau de bloc.

Este obligatoriu ca fiecare stat mebru al UE prin utilizarea metodologiei de calcul al performanţei energetice a clădirilor să întrunească cerinţele minime de performanţă energetice prevăzute de directivă, astfel încât să se asigure nivele optime ale costurilor de întreţinere. Nivelul de cerinţe minime se revizuiesc la fiecare cinci ani şi sunt calibrate în funcţie de tipul clădirii, respectiv clădire nouă sau clădire existentă, şi destinaţia clădirii. La clădirile noi se impune realizarea unui studiu de fezabilitate înainte de începerea lucrărilor de construcţie în cazul instalării

diferitelor sisteme care au rolul de a eficientiza consumurile energetice. La clădirile existente, activităţile de reabilitare energetică a clădirii trebuie să aducă îmbunătăţiri semnificative ale performanţei enrgetice astfel încât să se atingă măcar cerinţele minime stabilite pe plan naţional sau regional. In momentul de faţă există o serie de tipuri de clădiri pentru care nu există cerinţe de performanţă energetică:

- clădirile protejate oficial;
- clădirile utilizate ca lăcaşuri de cult;
- construcţiile provizorii;
- clădirile rezidențiale destinate utilizării pentru o perioadă limitată în cursul unui an;
- clădirile independente cu o suprafață utilă totală mai mică de 50 m^2.

In ceea ce priveşte instalaţiile clădirii, în cazul în care acestea sunt nou instalate, înlocuite sau modernizate, sunt prevăzute o serie de cerinţe de performanţă energetică ce trebuie îndeplinite pe tip de sistem tehnic. De asemenea se recomandă instalarea unor sisteme înteligente de contorizare care să fie în conformitate cu Directiva din Martie 2011 privind normele comune pentru piața internă a energiei electrice.

Anvelopa clădirii reprezentată de elementele de construcţie ale acesteia (planşee, pereţi, suprafeţe vitrate şi acoperişuri) au un impact semnificativ asupra performanţei energetice a clădirii. Din acest considerent trebuie să existe cerinţe minime privitoare la valorile rezistenţelor termice pe care trebuie să le asigure fiecare element. (Directiva 2010/31/EU , 2010)

In vederea obţinerii clădirilor cu consum (aproare) zero energie Directiva 31/2010 a impus realizarea unor planuri la nivel naţional care să cuprindă următoarele:

- aplicarea în mod practic la nivel naţional a definiției clădirilor cu consum de energie aproape egal cu zero;
- stabilirea unor obiective intermediare de îmbunătățire a performanței energetice a clădirilor noi, până în anul 2015;
- oferirea a cât mai multor informații privind politicile și măsurile financiare care au fost adoptate în vederea îmbunătăţirea performanţei energetice a clădirilor.

Certificarea performanţei enrgetice a clădirilor este un alt punct foarte important impus de Directiva 31/2010. Activitatea de certificare presupune emiterea unui certificat care atestă performanţa energetică a clădirii existente şi a celei de referinţă pentru cazul studiat. De asemenea, în cazul unei activităţi de reabilitare energetică se vor sugera recomandări pentru creşterea performanţei energetice şi implicit scăderea costurilor de întreţinere a clădirii, recomandări evaluate prin aplicarea metodologiei de calcul a performanţei energetice a clădirilor. In cazul cumpărării, vânzării sau închirierii unei clăidri sau a unei unităţi de clădire este obligatoriu

prezentarea certificatului de performanţă energetică. Prezenţa acestuia se impune şi în cazul anunţurilor imobiliare. (Directiva 2010/31/EU , 2010)

Clădirile autorităţilor publice şi cele vizitate frecvent de public cu o suprafaţă utilă totală de peste de 500 m² trebuie să dea un exemplu în acest sens prin dispunerea certificatului într-un loc vizibil, urmând ca din data de 9 Iulie 2015 suprafaţa pentru care se impune prezenţă certificatului, să fie redusă la 250 m².

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:

- 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)
- 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 conform Art 1. „instituie cadrul legal pentru reabilitarea și modernizarea termică a tuturor clădirilor existente și instalațiilor aferente acestora, cu scopul de a îmbunătății 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, aprobata prin Legea nr. 211/16.05.2003;
- Legea nr.199/13.11.2000 privind utilizarea eficientă a energiei. Aceasta are 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”. Legea instituie instituie obligații și stimulente atât pentru producătorii cât și pentru consumatorii de energie cu scopul eficientizării utilizării eficiente a energiei;
- 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;
- Ordin pentru aprobarea Procedurii de control al statului cu privire la aplicarea unitară a prevederilor legale privind performanţa energetică a clădirilor şi inspecţia sistemelor de încălzire/climatizare - indicativ PCC 001-2013 - publicat - 21-10-2013
- Legea nr. 372/2005 modificată privind performanţa energetică a clădirilor (republicat: 18-10-2013)
- Legea nr. 159/2013 pentru modificarea si completarea Legii nr. 372/2005 privind performanta energetică a clădirilor (publicat: 23-05-2013)
- Ordin nr. 691/08.10.2007 pentru aprobarea Normelor metodologice privind performanţa 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 reglementarii 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 V-a - Model certificat de performanță energetică al apartamentului.
- Ordin nr. 1217/31.03.2010 privind completarea anexei nr. 4 Partea a IV-a - Breviar de calcul al performantei energetice a clădirilor si apartamentelor, indicativ Mc 001/4-2009 la Ordinul ministrului transporturilor, construcțiilor si turismului nr. 157/2007 pentru aprobarea reglementarii tehnice Metodologie de calcul al performantei energetice a clădirilor (publicat: 13-08-2010)
- Ordonanţa de urgenţă nr. 114/23.12.2009 privind unele măsuri financiar-bugetare (publicat: 04-11-2010)
- Ordin nr. 2210/2013 privind modificarea şi completarea ordinului ministrului transporturilor, construcţiilor şi turismului nr.157/2007 pentru aprobarea reglementării tehnice „Metodologie de calcul al performanţei energetice a clădirilor”
- Planul de creştere a numărului de clădiri cu consum de enrgie aporape egal cu zero, revizuit si actualizat în iulie 2014 şi publicat în 5 septembrie 2014
- Strategia pentru mobilizarea investiţiilor în renovarea fondului de clădiri rezidenţiale şi comerciale, atât publice cât şi private, existente la nivel naţîonal, versiunea 1 din 2014, 30 aprilie 2014, publicată în 26 iunie 2014.

- Legea 121/2014 privind eficienţă energetică. Legea are ca scop crearea cadrului legal pentru elaborarea şi aplicarea unei politicii naţionale în domeniul eficienţei energetice astfel încât să se obţină până în anul 2020 obiectivul naţional de reducere a consumului de energie cu 19% şi implicit creşterea eficienţei energetice.
- Ordinul nr 263/30.05.2015 privind inventariere clădirilor încălzite şi sau răcite, deţinute şi ocupate de administraţia publică centrală, cu o suprafaţă totală utilă cuprinsă între 250 mp şi 500 mp şi punerea inventariului la dispoziţia publicului, publicată în 3 iulie 2015.

1.3. ACTE NORMATIVE CONEXE NAȚIONALE ȘI INTERNAȚIONALE

Dintre normativele conexe se amintesc următoarele

1. Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcţii, republicată în anul 2014.
2. Legea nr. 325/2002 pentru aprobarea OG 29/2000 privind reabilitarea termică a fondului construit existent şi stimularea economisirii energiei termice, republicată în anul 2013.
3. C107/0 - Normativ pentru proiectarea şi executarea lucrărilor de izolaţie termică la clădiri.
4. C107/1 - Normativ privind calculul coeficienţilor globali de izolare termică la clădirile de locuit.
5. C107/3 - Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcţie ale clădirilor.
6. C107/4 - Ghid pentru calculul performanţelor termotehnice ale clădirilor de locuit.
7. C107/5 - Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcţie în contact cu solul.
8. C107/6 - Normativ general privind calculul transferului de masă (umiditate) prin elementele de construcţie (înlocuieşte STAS 6472/4).
9. C 107/7 - Normativ pentru proiectarea la stabilitate termică a elementelor de închidere ale clădirilor (înlocuieşte NP 200-89).
10. C107 modificat, publicat în Monitorul Oficial, partea I, nr. 820 din 8 decembrie 2010.
11. NP 040-02 - Normativ privind proiectarea, executarea şi exploatarea hidroizolaţiilor la clădiri**.**
12. NP 047 - Normativ pentru realizarea auditului energetic al clădirilor existente şi al instalaţiilor de încălzire şi preparare a apei calde de consum aferente acestora, abrogat prin intrarea în vigoare a metodologiei de calcul Mc001.

13. NP 048 - Normativ pentru expertizarea termică şi energetică a clădirilor existente şi a instalaţiilor de încălzire şi preparare a apei calde de consum aferente acestora.
14. NP 049 - Normativ pentru elaborarea şi acordarea certificatului energetic al clădirilor existente, abrogat prin intrarea în vigoare a metodologiei de calcul Mc001.
15. NP 060-02 - Normativ privind stabilirea performanţelor termo-higro-energetice ale anvelopei clădirilor de locuit existente în vederea reabilitării lor termice
16. NP-064-02 - Normativ pentru proiectarea mansardelor la clădirile de locuit.
17. NP 135 - Normativ privind proiectarea faţadelor cu alcătuire ventilată.
18. GP 015 - Ghid pentru expertizarea şi adoptarea soluţiilor de îmbunătăţire a protecţiei termice si acustice la clădiri existente unifamiliale sau cu număr redus de apartamente.
19. GP 058 -2000 - Ghid privind optimizarea nivelului de protecţie termică la clădirile de locuit.
20. GP 109-04 - Ghid privind reabilitarea şi modernizarea termică a anvelopei şi a instalaţiilor de încălzire şi apă caldă de consum, la blocurile de locuinţe cu structură mixtă, realizate după proiecte tip.
21. GP 110-04 - Ghid privind reabilitarea termică a blocurilor de locuinţe până la P+9E realizate după proiecte tip, prin transformarea acoperişurilor tip terasă în acoperişuri înclinate, cu amenajarea de poduri neîncălzite sau mansarde**.**
22. GP 120 – Ghid privind proiectarea şi execuţia acoperişurilor verzi la clădiri noi şi existente.
23. GP 123 - Ghid privind proiectarea şi executarea lucrărilor de reabilitare termică a blocurilor de locuinţe.
24. GT 039- 02 - Ghid de evaluare a gradului de confort higrotermic din unităţile funcţionale ale clădirilor existente
25. GT 040-02 - Ghid de evaluare a gradului de izolare termica a elementelor de constructie la cladiri existente, in vederea reabilitarii termice
26. GT 043-02 – Ghid privind îmbunătăţirea calităţilor termoizolatoare ale ferestrelor, la clădirile existente.
27. C125-05 - Normativ privind proiectarea şi execuţia măsurilor de izolare fonică şi a tratamentelor acustice în clădiri
28. SC 007- 2013 Soluții cadru pentru reabilitarea termo – higro - energetică a anvelopei clădirilor de locuit existente.
29. MP 019- 2002Metodologie privind reabilitarea şi modernizarea anvelopeişi a instalaţiilor de încălzire şi apă caldă de consum, la blocurile de locuinţe cu structura din panouri mari.

30. MP 037-04 - Termografia în construcţii. Metodologie privind determinările termografice în construcţii
31. SR ISO 7730 - Ambianţe termice moderate. Determinarea indicilor PMV şi PPD şi specificarea condiţiilor de confort termic.

Pentru realizarea condiţiilor 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 desfăşurat pe două direcţii:

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

Printre aceste reglementări tehnice se numără şi Metodologia de evaluare a performanţei 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 performanţa energetică a clădirilor. Normativul menţionat este compus din şase părţi: metodologia de determinare a caracteristicilor hidro-termo-energetice ale elementelor care alcătuiesc anvelopa clădirii, metodologia de analiză a instalaţiilor şi echipamentelor clădirii, metodologia de întocmire a auditului energetic al clădirii şi a certificatului de performanţă energetică a clădirii.

Ulterior, Ordinul 1071/16.12.2009 modifică şi completează OM 157/2007, adăugând încă două părţi Metodologiei de calcul, şi anume: partea IV – Breviar de calcul al performanţei energetice a clădirilor şi apartamentelor, indicativ MC001/4-2009, şi 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 performanţei energetice a clădirilor noi şi existente.

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

Tabel 1. Valori normate și valorile limită apreciate, ale rezistențelor termice la clădirile de locuit noi (Mc 001/1, Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor, 2006)

Simbolul	**Elementul de construcție**	R'_{nec}	R'_{min}		**Valori limită apreciate**	
		Zona climatică				

			I	II	III	IV	Clădiri noi	Clădiri exist. **)	Min R'	Max R'
			m²K/W				m²K/W		m²K/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 în seria de normative C107/2005 sunt redate valorile normate ale rezistențelor R'_{mim} și U'_{max} pe tip de element al anvelopei, uniforme pe țară, pentru cele patru zone climatice, în cazul clădirilor de locuit noi şi în cazul clădirilor cu altă destinaţie decât cea de locuire.

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

Nr. Crt.	Elementul de construcție	R'_{min}[m²K/W]		U'_{max}[W/(m²K)]	
		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 a 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 s-au impus 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	I	1,10	2,90	1,00	1,20	0,43
	II	1,15	3,10	1,05	1,20	0,43

comerciale şi hoteliere[x)]	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

Valorile tabelare sunt date în funcţie de destinaţia clădirii, zona climatic şi categoria clădirii. In cazul categoriei clădirii se disting două tipuri, respectiv clădirile de categoria 1 şi clădirile de categoria 2. Clădirile din prima categorie sunt acele clădiri cu ocupare continuă sau discontinuă de clasă de inerţie termică mare. Din punct de vedere a funcţionării se consideră că în intervalul orar 0-7 temperatura mediului interior nu trebuie să scadă cu mai mult de 7^{o}Csub valoarea normală de exploatare. Clădirile care se regăsesc de obicei în această categorie sunt : creşele, internatele, spitalele. In cazul clădirilor de categoria 2 care în general au o ocupare discontinuă, exceptând cele cu inerţie termică mare, se permite ca temperatura mediului interior să fie mai mare de 7°C pe o perioadă de 10 ore/zi, din care cel puţin 5 ore să fie în intervalul orar 0-7. Clădirile care se regăsesc de obicei în această categorie sunt : clădirile administrative, săli de spectacole, clădirile industriale, şcolile şi altele.

Prin ordinul Ordinul de modificare din 8.12.2010, a reglementărilor tehnice prevăzute în seria de normative C107-2005 se impun noi valori ale rezistențele termice minime R'_{mim} și transmitanțele termice U'_{max} ce trebuie îndeplinite de elementele de construcție ale avnvelopei clădirilor proiectate după 1 ianuarie 2011, atât în cazul clădirilor de locuit (tabel 5) cât şi în cazul clădirilor cu altă destinaţie decât cea de locuire (tabel 6 şi 7).

Tabel 5. Rezistențe termice minime R'$_{min}$ ale elementelor de construcție al clădirilor (Consorțiu 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 poduri	5,00	0,20

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

Tabel 6. 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 7. 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

În cadrul tezei de doctorat intitulată ”Contribuţii la studiul privind economia de energie în construcţii şi factorii de influenţă”, autoarea propune valori ale rezistențelor minime ale elementelor de construcții (tabel 8.).

Tabel 8. Valorile normate pe țară și valori diferențiate pe cele patru zone climatice (Mone, 2013)

Nr. crt.	Elementul de construcție	R'_{min} [m²K/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 bowindouri, 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^{2}K/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 $n = 0{,}5h^{-1}$.

O altă lucrare relevantă din punct de vedere a valorilor impuse la nivel european se intituleaza ”Eficiența energiei în clădiri – situația în România și Acquisul Comunitar”. Autorii menționează în lucrare valori ale coeficienților de transfer termic la pereți, acoperiș și pardoseli impuse în diverse țări Europene şi nivelul de izolare termică necesar pentru a asigura cele valori (tabel 9).

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 si nu numai a celor opace. In ceea ce priveşte situaţia României, reglementările n vigoare au atins un nivel performant în ceea ce priveşte valorile minim impuse, dar problema acestor valori e faptul că nu asigură o clăsă energetică superioară..

Pentru a atinge performanţa energetică dorită este nevoie ca pe lângă asigurarea factorilor care ţin de comportarea termică a anvelopei clădirii să se aibă în vedere şi factorii energetici daţi de instalaţiile clădirii. Este nevoie de crearea unor condiţii uniforme la nivelul statelor membre UE care să ajute la eficientizarea energetică a sectorului construcţiilor şi care să ofere în acelaş timp resursele necesare înţelegerii performanţei energetice a unei clădiri de către cei interesaţi.

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 evoluţiilor, în dorinţa de a asigura un echilibru între dezvoltarea economică, rezolvarea problemelor sociale şi înglobarea în cadrul acestora a problematicii mediului.

Conceptul de dezvoltare durabilă a fost adoptat în 1987 de către Comisia Mondială pentru Mediu şi Dezvoltare (WCED) ca urmare a Raportului Brundtland. Conform definiţiei dezvoltării durabile enunţate în Raportul Brundtland din 1987: " Dezvoltarea durabilă este aceea care satisface necesităţile generaţiei prezente, fără a compromite capacitatea generaţiilor viitoare de a-şi satisface propriile necesităţi".

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

Dezvoltarea economică (eficienţă, creştere, stabilitate), echitatea socială (nivel de trai, dialog social şi delegarea responsabilităților, protejarea culturii/patrimoniului), utilizarea eficientă a resurselor naturale și implicit protecția mediului înconjurător (biodiversitate/ rezistenţa sistemelor, resurse naturale, evitarea poluării) stau la baza unei dezvoltări durabile. Acestea trebuie să fie interdependente și indivizibile în același timp, având ca principal obiectiv creșterea calității vieții.

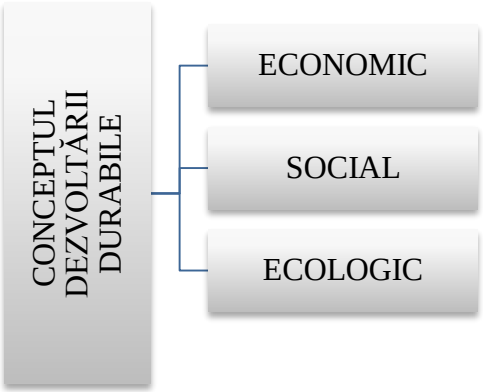


Figura 6. Abordarea conceptului Dezvoltării Durabile

Evenimentele importante la nivel mondial care au marcat schimbări în domniul dezvoltării durabile sunt Conferinţa Mondială pentru Mediu şi Dezvoltare Durabilă de la Rio de Janeiro, din 1992, Conferinţa Mondială pentru Dezvoltare Durabilă de la Johannesburg, din 2002 şi Conferinţa Naţiunilor Unite privind Dezvoltarea Durabilă de la Rio de Janeiro 2012. Ultima conferinţă a avut ca scop reconcilierea obiectivelor economice şi de mediu ale comunităţii globale.

Evenimentele importante de la nivelul Uniunii Europene care au marcat acest concept sunt: Rezoluţia Consiliului European de la 1 februarie 1993 privind mediul înconjurător şi acţiunile care urmează să fie întreprinse pentru dezvoltare durabilă pentru perioada 1992-2000 (Al Cincilea Program de Acţiune 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; şi Adoptarea în 2006 a „Strategiei Reînnoite de Dezvoltare Durabilă pentru o Europă Extinsă" (Molnar, 2012). In anul 2009 CE a publicat un documente de revizuire a strategiei europene privind dezvoltarea durabilă, document pe baza căruia Consiliul european a reafirmat ifea potrivit căreia dezvoltarea durabilă rămâne o un obiectiv fundamental al Uniunii Europene.

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 şi însuşire a documentelor Uniunii Europene	2007
3.	Strategia Naţională pentru Dezvoltare Durabilă (S.N.D.D.), care este însoţită de alte documente, cum ar fi: - Planul Naţional de Reforme (P.N.R.); - Planul Naţional de Dezvoltare (P.N.D.); - Cadrul Strategic Naţional de Referinţă (C.S.N.R.); - Strategia post-aderare a României; - Programul de Convergenţă; - Raport asupra Obiectivelor de Dezvoltare ale Mileniului.	2007 2007 - 2013 2007 – 2013 2007
4.	Strategia Naţională pentru Dezvoltare Durabilă a României Orizonturi 2013-2020-2030	2008

Conform celor amintite în sub-capitolele anterioare sectorul clădirilor este cel mai mare consumator de energie şi în consecinţă un principal contributor la poluarea moediului înconjurător. Astfel, fondul construit neperformant existent la nivel naţional impune reabilitarea clădirilor pentru a se apropia de nivelul european impus de performanţă energetică. Politica de dezvoltare impune proiectarea şi realizarea unor construcţii noi care să se integreze în conceptul de realizare partea de dezvoltare durabilă. În acest sens s-a implementat standardul SR ISO 21931-1:2011: Dezvoltare durabilă în construcţii. Cadru de lucru pentru metode de evaluare a performanţei de mediu pentru lucrări de construcţii. Partea 1: Clădiri, standard ce prevede următoarele: Evaluarea şi înţelegerea performanţei de mediu a clădirilor care este esenţială pentru a face cunoscut impactul

posibil pe care clădirile l-ar putea exercita asupra mediului şi influenţa lor asupra dezvoltării durabile. Acest document stabileşte cadrul de lucru în vederea evaluării performanţei de mediu a clădirilor, aspect important în procesul de construcţie.

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

- setul de criterii de referințe comune și verificabile la îndemâna prorietarilor clădirilor care permite măsurarea, evaluarea şi demonstrarea nivelului de impact de de mediu al căldiriişi implicit obţinerea unui standard de mediu ridicat al acesteia;
- setul de crterii oferit în vederea imbunătăţirii performanţei de mediu a clădirii oferă posibilitatea elaborării de către cei interesaţi a unor strategii eficiente în activitatea de proiectare şi în faza de exploatare a clădirii;
- în scopul reducerii costurilor de exploatare, reducerea finanţării necesare, asigurării, ratei de neocupare şi creşterea pozitivă a impactului comercial pe piaţa clădirilor se colectează şi organizează toate informaţiile detaliate privitoare la clădire;
- în activitatea de proiectare se furnizează factorii ce definesc aspectele de mediu luaţi în considerare precum şi importanţa relativă a acestora în procesul de evaluare a performanţei de mediu al clădirii.

Utilitatea standardului ISO 21931 este dată de faptul că oferă metodele de lucru şi principiile de evaluare a impactului asupra mediu (performanţei de mediu) a clădirilor noi cât şi a celor existente. Deoarece criteriul sustenabilităţii poate să fie unul foarte extins este nevoie de definirea criteriilor care să surprindă varietatea impactului pe care o clădire îl poate avea asupra mediului. Datorită diversităţii metodelor de evaluare a performanţei de mediu a clădirilor existente la ora actuală, standardul vine cu un ajutor in indentificarea şi descrierea criteriilor şi sub-criteriilor necesare elaborării şi utilizării unei metode de evaluare a performanţei de mediu pentru clădiri în toate etapele unei construcţii, începând cu activitatea de proiectare şi terminând cu cea de demolare.

Conform Planului Naţional de Dezvoltare Durabilă, atingerea scopului proiectării durabile se face prin educarea într-un cadru conceptual care are trei niveluri, respectiv principii, strategii şi metode. Toate cele trei nivele care descriu conceptul de dezvoltare durabilă au ca scop crearea unui set de strategii care să conducă la o analiză şi întelegere corectă a interacţiunii pe care clădirea o are cu mediul înconjurător.

Clădirea verde (de asemenea, cunoscută sub numele de construcții sustenabile care implică şi conceptul de durabilitate) 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„) fiind 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)

Conform Consiliului de Clădiri Verzi din România (RoGBC) clădirile comerciale din ţară au certificate de sustenabilitate într-un procent de 0,1%. Președintele (RoGBC), Steven Borncamp, precizează că la nivel național se dorește obținerea de certificate pentru circa 5% din clădirile comerciale din România astfel să aibă loc o stimulare a pieții imobiliare înspre crearea unui fond de clădiri sustenabil. (Multinvest, 2013)

Una dintre clădirile din România care a fost realizată respectând principiile de obţinere a unei clădiri verzi este Multinvest Business Center localizată în Târgu Mureş. Funcţiunea acesteia este de clădire de birouri și este prima clădire din România realizată pe principiile ”clădirilor verzi”, prin respectarea criteriilor impuse de sistemul de certificare de mediu BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), nivelul „Very Good”.

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

O altă clădire verde și care a obținut certificatul de sustenabilitate de tip LEED (Leadership in Energy and Environment Design) este clădirea AMERA TOWER din Cluj-Napoca a cărei destinaţie este clădire de birouri fiind printre prima clădire verde din Cluj-Napoca certificată de tip LEED .

Figura 10. Clădire verde certificată LEED - Amera Tower, Cluj-Napoca (Adevărul, 2010)

La nivel internațional s-au realizat programe și standarde sau metodologii pentru realizarea și evaluarea clădirilor sustenabile. Aceste standarde sunt realizate pe baza unor criterii și sub-criterii de sustenabilitate care să cuprindă toti factorii principali care contribuie pozitiv sau negativ la impactul clădirii asupra mediului înconjurător. Aceste metodologii se folosesc atât în faza de proiectare cât și in faza de reabilitare a unei clădiri. 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 (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAM 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 sistem de evaluare reprezintă o nouă procedură în a ajuta managerii clădirilor să reducăcosturile de folosință și să îmbunătățească performanța de mediu a clădirilor existente şi a celor ce urmează a fi renovate. Analiza multicriterială promovată de standardul BREEAM permite un proces de certificare clar și credibil pentru îmbunătățirea sustenabilităţii şi durabilității clădirii.

Criteriile principale au alocat un procent maximal care se acordă în totalitate sau parţial în funcţie de sub-criteriile îndeplinite de clădirea evaluată. Acestea sunt: Management - 12%, Sănătate și bunăstare – 15%, Energie – 15%, Apă – 7%, Materiale – 13,5%, Deșeuri – 8,5%, Transport – 9%, Utilizarea terenului și ecologie – 10%, Poluarea – 10% şi Inovare 10%. (BRE Global Ltd, 2015)

Standardul BREEAM poate fi aplicat aproape pentru orice tip de clădire în orice locație, cu versiuni ce pot fi aplicabile atât pentru clădirile existente, clădirile noi precum şi în cazul 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 unul din sistemele de evaluare de mediu a clădirii care este în continuă creştere la nivel internaţional, inclusiv prin programul său BREEAM Europa. Obiectivul este de a adapta evaluarea într-un mod cât mai coerent şi în comparaţie cu alte evaluări BREEAM, luând în considerare practicile şi standardele naţionale (Mone, 2013).

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

LEED promovează construirea sustenabilă şi durabilă printr-o suită de sisteme de evaluare care recunosc proiectele care pun în aplicare strategii pentru o mai bună performanţă de mediu şi 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. , 2009).

În cazul certificatului LEED, clădirea poate obţine în funcţie de punctaj, calificativele: clădire certificată nivel Bronz (40-49 puncte), nivel Argint (50-59 puncte), nivel Aur (60-79 puncte) sau nivel 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, calitatea mediului interior șiinovaţie și design. Obiectivele principale care se doresc a fi atinse prin certificarea clădirilor de tip LEED sunt:

- 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 un instrument pentru evaluarea 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 cuprinde 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).

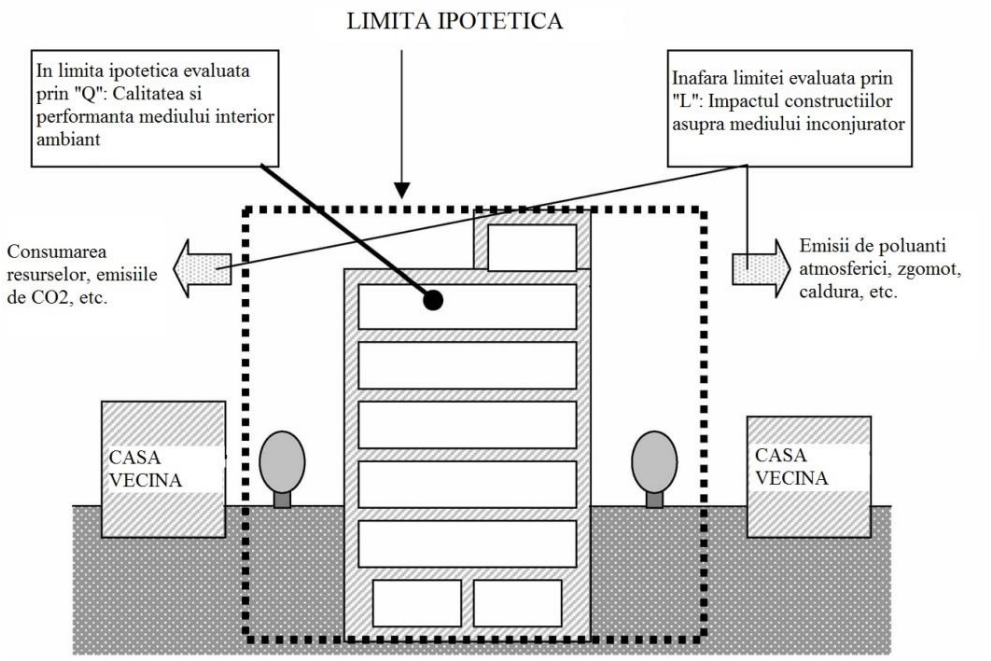


Figura 13. Reprezentarea celor două categorii de evaluare: Q - Calitatea și performanța mediului interior și L: Impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător (CASBEE, 2011)

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

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

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. Criteriile principale de evaluare regăsite îns tandard sunt: managementul, calitatea mediului interior, energia, transportul, apa, materialele, utilizarea terenului şi ecologie, emisiile şi inovarea. Clasificarea unei clădiri este determinată comparând punctajul obținut cu următoare 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 figurile următoare 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 şi 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 (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), o organizație profesională, ne-guvernamentală şi non-profit, şi profesională din Germania, se ocupă şi de partea de certificare a clădirilor sustenabile atât pe teritoriul Germaniei cât şi în alte locaţii unde se doreşte a fi implementat standardul DGNB.

Certificare clădirii în sistem DGNB implică evaluarea acesteia pe baza mai multor teme principale (criterii), asa-numitele calităţi, începând cu calitatea mediului (22,5%), calitatea economică (22,5%), calitatea socială (22,5%), calitatea tehnică (22,5%) şi calitatea de proces de realizare a clădirii (10%). Un alt criteriu important este legat de calitatea amplasamentului clădirii. Nivele de certificare acordate sunt nivel Bronz (>50%), nivel Argint (>65%) şî nivel Aur (>80%) . (dgnb-system, 2012). În cadrul sistemului există şi opţiunea simplă de pre-certificare în faza de planificare.

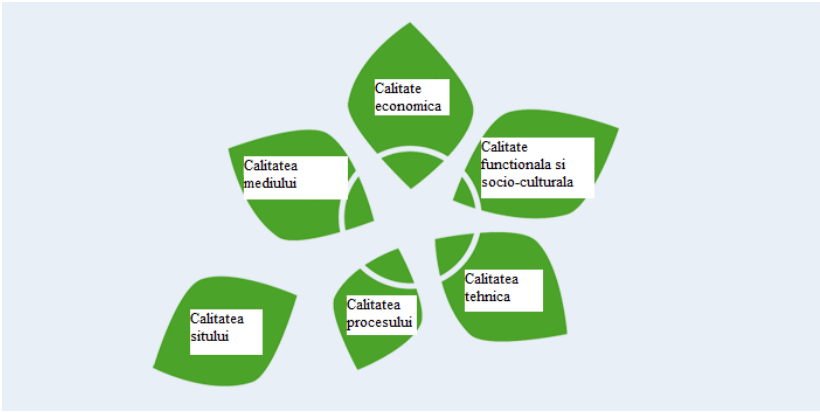


Figura 16. Conceptul de sustenabilitate conform DGNB (dgnb-system, 2012)

Evaluările se bazează întotdeauna pe întregul ciclu de viață al unei clădiri, accentul punându-se pe comfortul şi sănătatea ocupantului clădirii. Standardul poate fi aplicat la nivel internațional iar unul dintre avantajele principale este faptul că se poate ajusta pentru diferitele utilizări ale unei clădiri şi chiar pentru a satisface cerințele specifice unei țări în care acesta a fost adoptat. 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 termică, convecție termică și radiație termică.

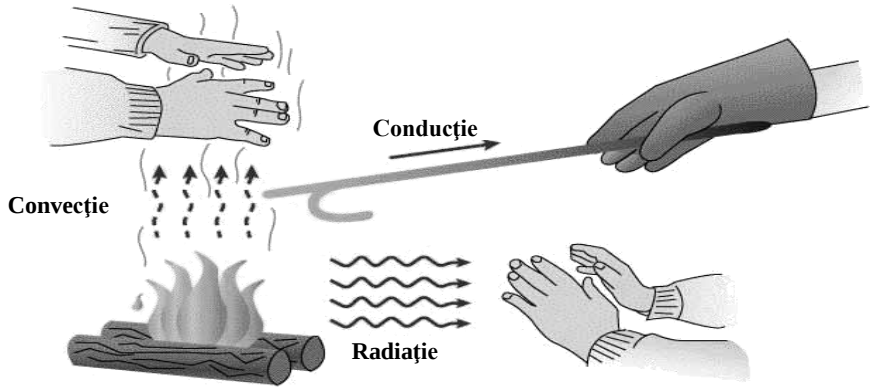


Figura 18. Transferul căldurii prin conducție, convecție și radiație (Scrigroup, 2012)

Pentru înțelegerea cât mai bine a fenomenelor de transfer termic este important cunoașterea unor noțiuni fundamentale după cum urmează (Moga & Comsa, 1992):

- Temperatura (în C° dau °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.
    - 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 & Comsa, 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 definire	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.	$R'_m = \frac{\sum A_j}{\sum(A_j \cdot U'_j \cdot \tau_j)}$	$(m^2 \cdot K)/W$
U'_m	Coeficientul de transfer termic (transmitanța termică) corectat (ă), mediu, al unui element de construcție, pe ansamblul clădirii.	$\frac{1}{R'_m}$	$W/(m^2 \cdot K)$
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.	$\frac{\sum(L \cdot \tau_j)}{V} + 0{,}34N$	$W/(m^3 \cdot K)$
GN	Coeficientul global normat de izolare termică a clădirii.	-	$W/(m^3 \cdot K)$

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

1W = 0,860 kcal/h = 1J/s

1 m^2K/W = 1,163 $m^2h°C/kcal$

1 W/(m^3K) = 0,860 kcal/(m^3h°C)

1Wh = 3600 J = 0,860 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 conducţie

Transferul căldurii prin conducţie 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 influenţa unei diferenţe de temperatură, fără existenţa 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 poziție 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 & Comsa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

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

Unde:

- λ – conductivitatea termică a mediului neomogen, în W/(m·K);
- c – căldura masică, în [kJ/(Kg· K)], [kWh/(Kg· K)] unde 1J=0,278x10^{-3}Wh → 1 [Wh/Kg·K]= 0,278 [KJ/Kg·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.

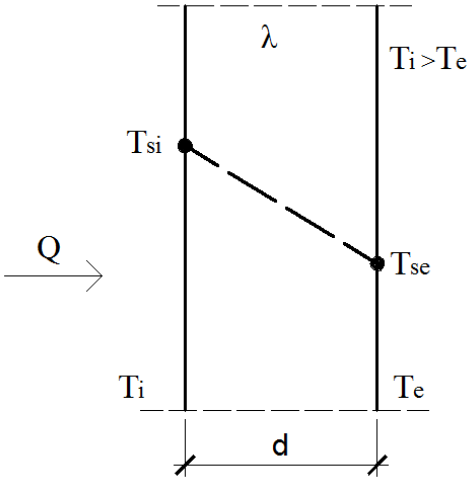


Figura 19. Transmisia căldurii prin conducție la un element omogen (Mârza & Abrudan, 2012)

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:

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 & Comsa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992).

Coeficientul de conductivitate termică λ, exprimat în W/(m·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 °C sau 1K.

Pentru materialele de construcții cu procente variabile de pori, coeficientul de conductivitate termică λ variază între $\lambda = 0{,}040 \ldots 3{,}500$ 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):

$$\lambda_u = \lambda_0 \left(1 + \frac{\eta \omega_u}{100}\right) \qquad (2.4)$$

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 & Comsa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

$$\lambda_\theta = \lambda_0(1 + \beta\theta) \tag{2.5}$$

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 2500 2400	2,03 1,74 1,62
5	Beton simplu cu agregate naturale de natură sedimentară sau amorfă (pitriș, tuf calcaros, diatomit).	2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200	1,62 1,39 1,16 0,93 1,75 0,58 0,46

		1000	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 şi 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 - 1325 kg/m^3 - 1200 kg/m^3 - 1075 kg/m^3 - 950 kg/m^3	 1700 1550 1450 1350 1250 1150	 0,75 0,70 0,64 0,58 0,55 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 uşoare, cu densitatea aparentă a blocurilor de: - 2000 kg/m^3 - 1800 kg/m^3 - 1600 kg/m^3 - 1400 kg/m^3 - 1200 kg/m^3 - 1000 kg/m^3	 1980 1800 1620 1440 1260 1080	 1,16 0,93 0,75 0,61 0,50 0,42
22	Zidărie din blocuri de beton celular autoclavizat: - cu rosturi subţiri - tip GBN 35 - tip GBN 50 - cu rosturi obişnuite - tip GBN 35 - tip GBN 50	 675 775 725 825	 0,27 0,30 0,30 0,34
23	Oţel de construcţii	7850	58
24	Polistiren celular	20	0,044

Conductivităţile termice de calcul λ se obţin prin majorarea valorilor determinate experimental λ_0 după cum urmează (Consorțiu Universitar, 2005):

- Betoane uşoare având:

  $\lambda_0 \leq 0{,}16\ W/(mK)$ 60%

  $\lambda_0 = 0{,}17 \ldots 0{,}23\ W/(mK)$.....35%

  $\lambda_0 = 0{,}24 \ldots 0{,}30\ W/(mK)$.....30%

  $\lambda_0 = 0{,}31 \ldots 0{,}46\ W/(mK)$.....25%

  $\lambda_0 = 0{,}47 \ldots 0{,}58\ W/(mK)$.....20%
- Produse din vată minerală 10%
- Produse din lemn.....20%
- Produse fibroase de natură organică.....20%
- Masă ceramică 20%
- Polimeri şi spume din polimeri:

  Cu pori închişi.....10%

  Cu pori deschişi .....20%.

2.3.2. Transferul căldurii prin convecție

Transferul termic prin convecţie reprezintă procesul de transfer al căldurii prin acţiunea combinată a conducţiei termice, a acumulării de energie şi a mişcării de amestec.

Fenomenul intervine la suprafaţa de contact a elementelor de construcţii cu aerul interior sau exterior.

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

Iniţial, căldura trece prin conducţie termică de la suprafaţa elementului la particulele de aer adiacente acestuia, ceea ce are ca efect ridicarea temperaturii (şi energiei interne) a acestor particule; acest proces se desfăşoară în stratul subţire de fluid de lângă suprafaţa elementului, denumit strat limită. În continuare, datorită încălzirii, aerul se dilată, îşi micşorează densitatea şi, devenind mai uşor, tinde să se ridice spre zonele superioare, formând un curent ascendent (curent convectiv).

Locul acestui fluid este luat de fluidul mai rece din restul spaţiului. 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 şi 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 (pereţi exteriori, geamuri) sensul transferului termic se inversează, formându-se curenţi convectivi descendenţi (Fig. 20).

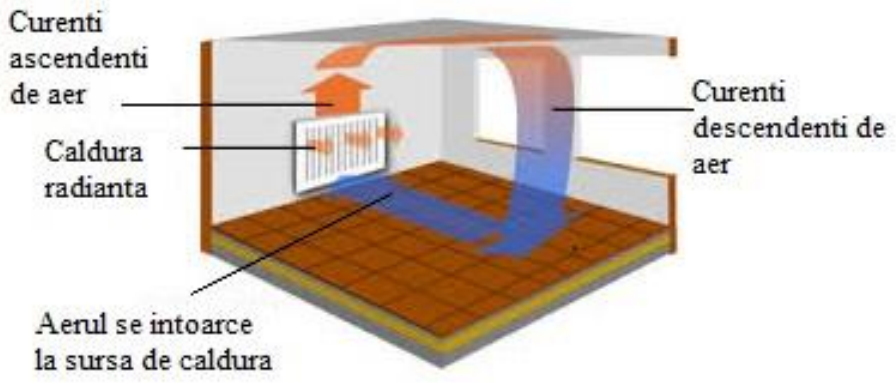


Figura 20. Transferul căldurii prin convecție în interiorul încăperii (Despre incălzire, 2013)

În funcţie de cauza mişcării, convecţia se clasifică în convecţie liberă sau naturală (mişcarea de amestec este rezultatul diferenţelor de densitate produse de gradienţii de temperatură), şi convecţie forţată (mişcarea de amestec este rezultatul unor cauze externe care produc diferenţe 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 Issac Newton (Moga & Comsa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992):

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

în care:

T_s – este temperatura suprafeței S în °C;

T_f – temperatura fluidului, în °C;

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

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

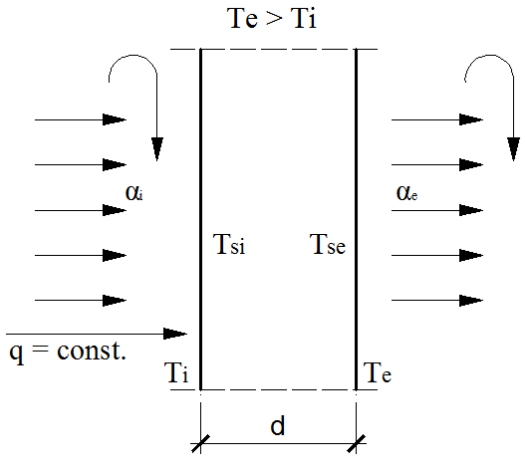


Figura 21. Transmiterea căldurii prin convecție la suprafața elementelor de construcție (Negoiță, și alții, 1976)

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 clădirile sunt temperatura aerului interior Ti și cea a suprafeței interioare a elementelor de închidere sau compartimentare T_{si} :

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

- pentru cazul: $T_i - T_{si} < 5$ °C:

- la pereți 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 & Comsa, Construcţii civile. Elemente de higrotermică şi acustica clădirilor, 1992):

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

Coeficientul α_c la exteriorul clădirii în condiţii normale, variază între 8 şi 19 W/(m^2·K). În cazul suprafeței interioare a elementelor de închidere acesta variază între 1 şi aproximativ 4 W/(m^2·K)., cu valori mai mici în zona colțurilor și intrândurilor (Focșa, 1975).

2.3.3. Transferul căldurii prin radiație

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

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

Radiaţia termică are loc sub formă de unde electromagnetice şi intervine în mod semnificativ la diferenţe mari de temperatură între corpurile solide, sau între solide şi fluide, cum este în cazul elementelor de încălzire din locuinţe (radiatoare).

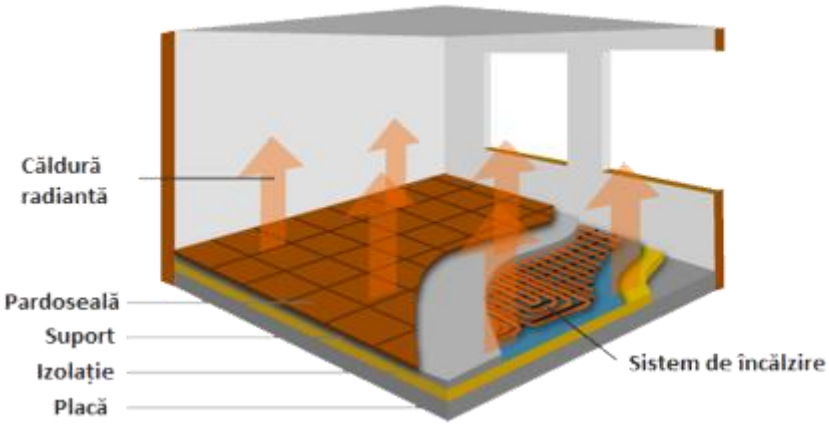


Figura 22. Transferul căldurii prin radiație în interiorul încăperii (Despre incălzire, 2013)

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

Radiaţia se propagă şi prin vid, astfel poate să apară ca mod elementar de transfer termic independent de conducţie şi convecţie. Toate corpurile emit şi absorb radiaţii în proporţii diferite şi 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 şoc (dintre molecule, atomi, electroni liberi) în interiorul unui corp, electronii unui atom sunt scoşi temporar din starea de echilibru şi trec de la un nivel de energie la altul (de pe o orbită pe alta).

La revenirea în poziţia iniţială (la nivelul de energie iniţial), care reprezintă o stare de stabilitate mai mare, energia primită în urma şocului se eliberează sub forma undelor electromagnetice care sunt emise în spaţiu.

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:

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

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

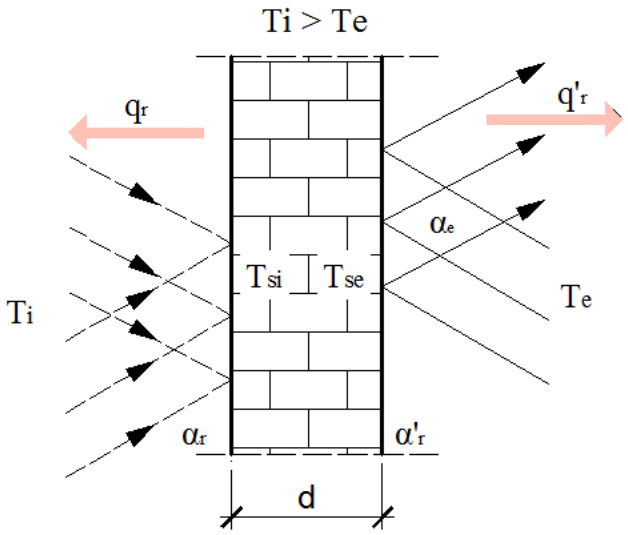


Figura 23. Transmiterea căldurii prin radiație la suprafața elementelor de construcții (Focșa, 1975)

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:

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

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

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

Valoriile medii care se iau în calcul sunt : $\alpha_r=\alpha'_r=4$ [W/(m^2·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):

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

Unde:

h_c – coeficientul de convecție;

h_r – coeficientul de radiație;

și:

$$h_r = \varepsilon \cdot h_{ro} \tag{2.15}$$

$$h_{ro} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m^3 \tag{2.16}$$

În care:

ε – este emisivitatea suprafeței;

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

σ – este constanta lui Stefan – Boltzman $[(5{,}67x10^{-8}\ W/m^2K^4)]$;

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

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

$$h_{ce} = 4 + 4v \tag{2.17}$$

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^{2}K:

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

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

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^{2}K/W (Mârza & Abrudan, 2012):

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

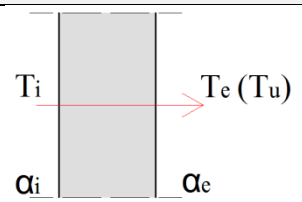
$$R_{se} = \frac{1}{\alpha_e} \qquad (2.21)$$

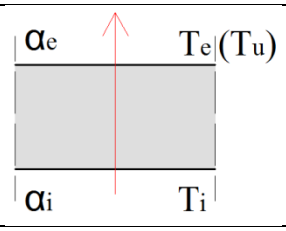
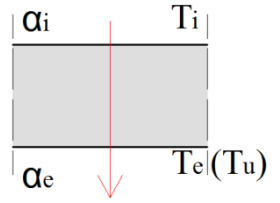
Mărimile α_i și α_e și respectiv R_{si} și R_{se} sunt precizate în normativul C 107/3-97 pentru diverse situații în care se pot găsi elementele de construcție de închidere și compartimentare a clădirilor față de mediul înconjurător. (Munteanu, 2006)

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: $\alpha_i = \alpha_e = 8\ W/(m^2K)$. În spațiile neîncălzite, la fluxul termic din interior spre exterior se consideră $\alpha_i = 12\ W/(m^2K)$, indiferent de sensul fluxul termic (C 107/3, 2005).

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

Direcţia şi sensul fluxului termic	**Elemente de construcţie în contact cu:** - **exteriorul** - **pasaje deschise (ganguri)**		**Elemente de construcţie în contact cu spaţii ventilate neîncălzite:** - **subsoluri şi pivniţe** - **poduri** - **balcoane şi 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: $\alpha_e = 12\ \mathrm{W/m^2K}$, $R_{se} = 0{,}084\ \mathrm{m^2K/W}$

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

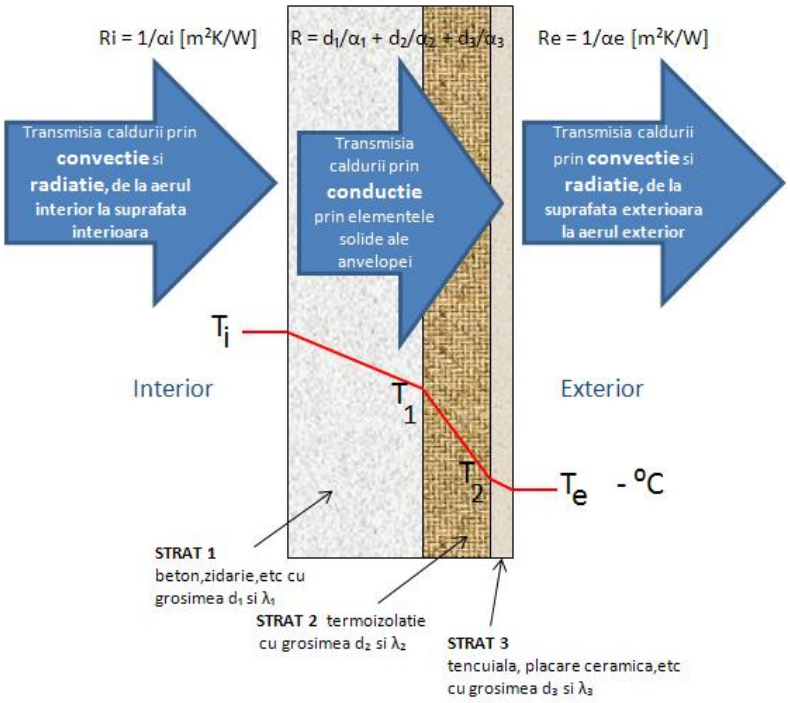


Figura 24. Transmiterea căldurii printr-un perete exterior alcătuit din 3 straturi (Izolarea termica, 2013)

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:

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

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 (°C sau K);

t – timpul (h);

d – grosimea elementului

Dacă în relaţia (2.22) se impune S= 1 m^2, T_{si}– T_{se}=1ºC, t=1 h, d= 1m, atunci rezultă: λ=q.

Cu ajutorul relaţiei lui Fourier se poate stabili atât modul de variaţie al temperaturii pe grosimea unui element, cât şi expresia temperaturii într-un punct oarecare, în regim termic unidirecţional şi staţionar.

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”.

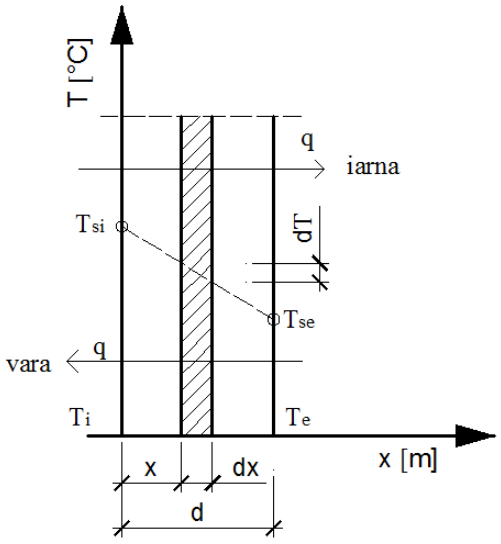


Figura 25. Transmisia căldurii prin conducție la un perete omogen (Focșa, 1975)

Expresia fluxului termic unitar (densităţii de flux) corespunzător stratului de grosime „dx”, se poate obţine prin împărţirea relaţiei (2.22) la aria S şi la timpul t şi înlocuind diferenţa de temperatură $T_{si} – T_{se}$ cu „dT” şi grosimea „d” cu „dx”. Se obţine relaţia:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \tag{2.23}$$

unde:

$\frac{dT}{dx}$ – gradientul de temperatură (ºC/m).

În regim staționar q este constant, deci:

$$\frac{dq}{dx} = -\lambda \frac{dT^2}{dx^2} = 0 \tag{2.24}$$

Semnul „–” din relaţia (2.23) indică faptul că fluxul termic are sens contrar creşterii temperaturii.

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

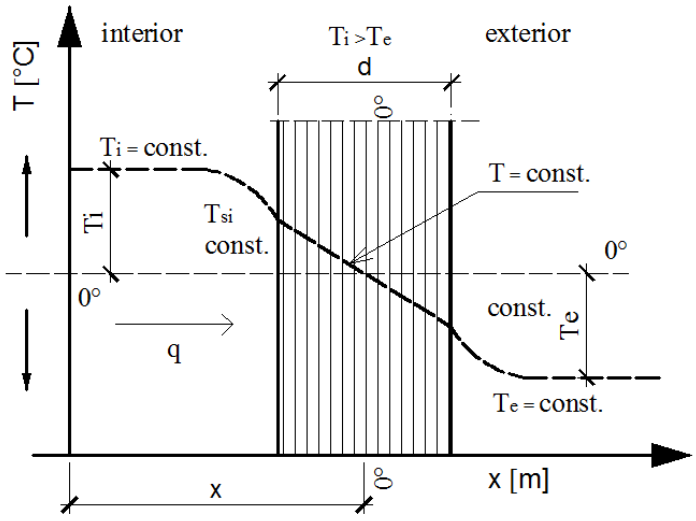


Figura 26. Câmpul termic constant în planurile paralele cu peretele (Focșa, 1975)

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

$$dT = -\frac{q}{\lambda} dx \tag{2.25}$$

Cu următoarele condiţii la limită:

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

Prin integrare ecuației (2.25) se obţine:

$$T = -\frac{q}{\lambda} x + C \tag{2.26}$$

în care: C – constantă de integrare.

Punând condițiile la limită, rezultă:

$$C = T_{si} \; şi \;\; T_{se} = -\frac{q}{\lambda} d + T_{si} \tag{2.27}$$

De unde:

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

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

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

b.) Rezistenţa termică unidirecţională

Prin rezistenţă termică se înţelege capacitatea unui element de construcţie 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:

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

Unde:

R – rezistența termică unidirecțională;

R_s - rezistența termică specifică a unui strat omogen;

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

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 (Consorțiu 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 aplicaţii tehnice presupun, de exemplu, schimbul de căldură între două fluide separate de un perete despărţitor, astfel încât transmisia căldurii se desfăşoară prin conducţie, convecţie şi radiaţie 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 suprafaţa interioară cu temperatura T_{si}, prin convecţie şi radiaţie; în acest caz, fluxul termic unitar este:

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

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

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

c) transmisia de la suprafaţa exterioară cu temperatura T_{se} la aerul exterior cu temperatura T_e, prin convecţie şi radiaţie:

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

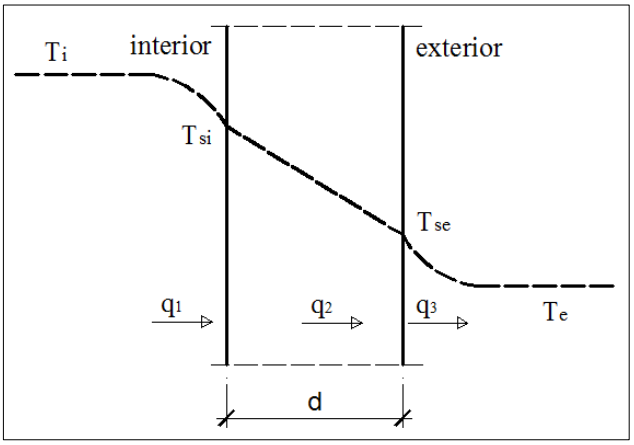


Figura 27. Transmisia globală a căldurii printr-un element omogen

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

În consecinţă, relaţiile (2.32), (2.33) şi (2.34) se pot scrie:

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

Prin adunarea celor trei relaţii (2.35), membru cu membru, se obţine:

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

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

(2.36)

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

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

Prin inversarea rezistenţei termice globale se defineşte coeficientul global de transfer termic, măsurat în W/(m^{2}K), ce reprezintă cantitatea totală de căldură ce trece printr-un perete cu suprafaţă de 1 m^2 şi grosimea „d", timp de o oră, la o diferenţă de temperatură dintre aerul interior şi cel exterior de 1ºC (sau 1 K), în regim termic staţionar:

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

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

a.) Determinarea rezistenţei termice şi a temperaturilor pe suprafaţa şi în straturile elementului

Se consideră cazul unui element de construcţie exterior (de exemplu un perete), alcătuit din mai multe straturi de grosimi d_1, d_2, d_3, ... şi având conductivităţile termice λ_1, λ_2, λ_3, ... (Fig. 28).

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

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

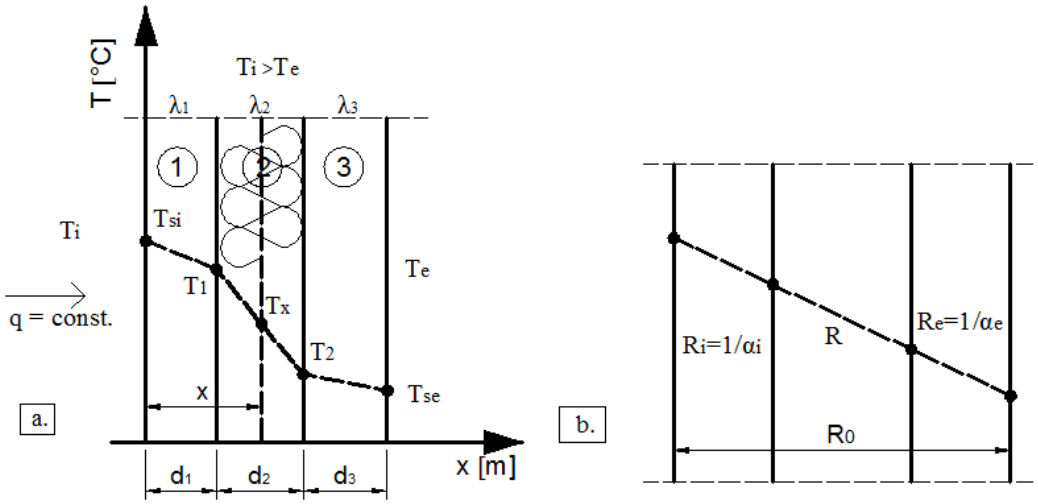


Figura 28. Transmisia căldurii prin conducţie la structuri în mai multe straturi paralele; a. Variația temperaturii la scară geometrică, b. Variația temperaturii la scara rezistențelor termice (Moga & Comsa, Construcţii civile. Elemente de higrotermică şi acustica clădirilor, 1992)

Regimul termic fiind considerat staţionar, fluxul termic va fi constant (egal în toate straturile: $q_1 = q_2 = q_3 = q$). Explicitând diferenţele de temperatură din relaţiile (2.39) se poate scrie:

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

Prin adunarea relaţiilor (2.40), membru cu membru, se obţine diferenţa totală de temperatură (diferenţa dintre temperaturile suprafeţelor):

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

Conform rel. (2.41), rapoartele dintre grosimile straturilor şi conductivităţile termice ale acestora reprezintă rezistenţele termice unidirecţionale ale fiecărui strat. Rezistenţa termică totală va fi egală cu suma rezistenţelor termice ale straturilor componente:

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

Din expresiile (2.41) şi (2.42) se poate deduce relaţia fluxului termic unitar:

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

Temperatura T_1 de la suprafaţa de contact dintre primele două straturi (Fig. 28) se poate calcula pornind de la prima relaţie (2.39), folosind şi relaţia (2.43):

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

Temperatura T_2 de la suprafaţa de contact dintre ultimele două straturi (Fig. 28) se poate calcula folosind primele doua relaţii (2.39) şi relaţia (2.43):

$$T_2 = T_1 - q\frac{d_2}{\lambda_2} = T_{si} - q\frac{d_1}{\lambda_1} - q\frac{d_2}{\lambda_2} = T_{si} - q\left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}\right) = T_{si} - q(R_1 + R_2) =$$

$$T_{si} - \frac{\Delta T_s}{R}(R_1 + R_2) = T_{si} - \frac{R_1 + R_2}{R}\Delta T_s \qquad (2.45)$$

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

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

unde: R_x – rezistenţa termică a fâşiei 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 şi perpendiculare pe direcţia fluxului termic, expresiile rezistenţei termice şi a coeficientului de transfer termic în câmp vor fi:

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

(2.47)

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

(2.48)

c.) Rezistenţa 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):

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

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:

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

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:

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

r – coeficientul de reducere a rezistenței unidirecționale (2.51)

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

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 diferiră 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:

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

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.

Relaţia (2.52) este valabilă şi pentru determinarea rezistenţelor termice specifice medii ale unor elemente de construcţie alcătuite din două sau din mai multe zone cu alcătuire omogenă; în această situaţie în relaţia (2.52) în loc de U'_j se introduce coeficientul de transfer termic unidirecţional U_j , obţinându-se rezistenţa termică specifică medie $R_m = 1/U_m$. (C 107/3, 2005)

2.5. TRANSMISIA CĂLDURII ÎN REGIM TERMIC NESTAŢIONAR

2.5.1. Ecuaţia diferenţială a conducţiei termice în regim termic nestaționar

Datorită variaţiilor în timp ale temperaturii, atât la exteriorul cât şi la interiorul clădirilor, are loc şi o variaţie a temperaturii elementelor de construcţii. În această situaţie avem de-a face cu un regim termic nestaţionar (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 & Comsa, 1992):

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \qquad \frac{dq}{dx} = -\lambda \frac{d^2T}{dx^2} \tag{2.53}$$

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 căldura dq, necesară pentru creşterea temperaturii stratului dx, cu dT grade, într-un interval de timp dt este proporţională cu capacitatea de acumulare termică a stratului şi cu variaţia temperaturii în timp, conform relaţiei:

$$d_q = -c_p \cdot \rho \cdot dx \cdot \frac{dT}{dt} \tag{2.54}$$

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/m^3);

Din relația de mai sus (2.54) rezultă:

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

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 variaţie de temperatură şi este egal prin definiţie cu raportul $\lambda/(c_\rho \rho)$ (m^2/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:

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

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

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

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 şi 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 da caracteristicile termofizice ale materialelor din care sunt alcătuite elementele.

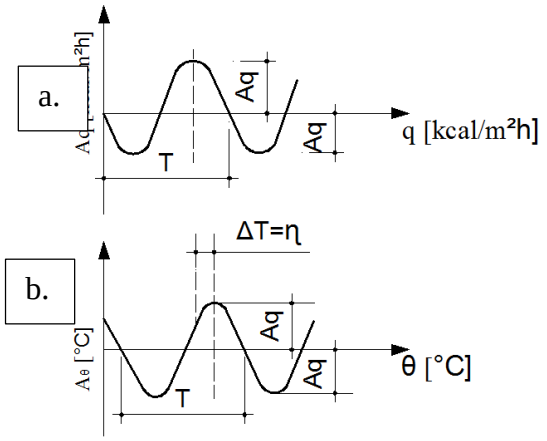


Figura 29. Variații sinusoidale ale fluxului termic și ale temperaturii elementelor de construcție. a. pentru fluxul termic; b. pentru temperatura elementelor de construcție

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

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

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 W/m^{2}K , este:

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

Valorile coeficientului de asimilare termică s_{24} sunt cuprinse între 0,29 W/m^{2}K (la polistiren celular) și 140 W/m^{2}K (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:

$$D = \sum R_s \cdot s \tag{2.60}$$

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):

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

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:

$$D = \sum_{k=1}^{n} R_k S_k \tag{2.62}$$

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:

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

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.

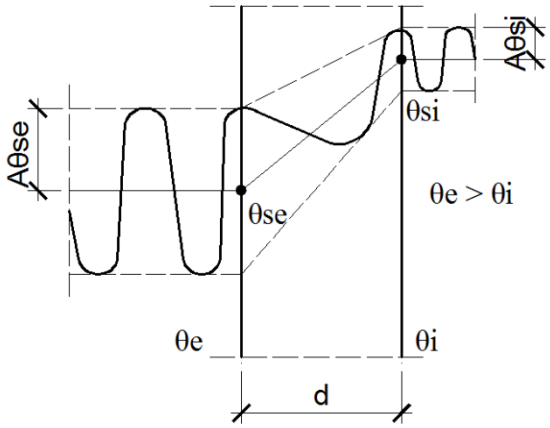


Figura 30. Amortizarea oscilațiilor termice în elementele de construcție

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

$$\nu = \frac{A_{\theta_{se}}}{A_{\theta_{si}}} \tag{2.64}$$

În care:

ν – 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 amortizarea 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 termica 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 si pereți exteriori care au spre fața interioara straturi din materiale grele (beton armat sau cărămidă) și izolație termică amplasată spre fața exterioară; elemente care funcționează ca volant termic, astfel încât căldura acumulata 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 (şcoli, săli de spectacole, etc.) se recomandă, pentru elementele de închidere, soluții constructive cu izolația termica amplasată pe fața interioară;
- reducerea la minimum a pierderilor de căldură prin elementele de închidere, prin asigurarea unor rezistente sporite la transmisia termica a zonei opace a acestora si 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 vara se recomandă:

- utilizarea acoperișurilor cu pod;
- protejarea acoperișurilor terasa cu straturi reflectante care sa transmită in atmosfera exterioara cea mai mare parte a căldurii provenita din radiația solara;
- protejarea fațadelor cu finisaje in 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:

$$A = A_j \quad [\mathrm{m}^2] \tag{2.65}$$

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

b.) Volumul încălzit al clădirii

Volumul clădirii reprezintă volumul delimitat pe contur de suprafețele perimetrale 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: cămări, 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 daca 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 închisă 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:

$$L_j = A_j \cdot U_j' = \frac{A_j}{R_j'} \qquad [W/K]$$

(2.66)

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

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

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

$$\Phi = L_j \cdot \Delta T \qquad [W]$$

(2.67)

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

În cazul elementelor de construcţie care separa spaţiul interior încălzit de un spaţiu neîncălzit, in locul valorii $\Delta T = T_i - T_e$ se utilizează diferenţa de temperatură ($T_i - T_u$) in care T_u reprezintă temperatura din spaţiul neîncălzit, determinată pe baza unui calcul de bilanţ termic. (C 107/3, 2005)

Pentru ansamblul mai multor elemente de construcţie, 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:

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

(2.68)

În care:

L – coeficientul de cuplaj termic, calculat cu relația: $L = \frac{A}{R'_m}$ [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:

$$N = \frac{\sum A_c}{A_{c\,max}} \tag{2.69}$$

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^2·K)] la clădiri de locuit (C 107-modificat, 2010)

Numărul de niveluri N	**A/V** $[m^2/m^3]$	**GN** $[W/m^2K]$	**Numărul de niveluri N**	**A/V** $[m^2/m^3]$	**GN** $[W/m^2K]$
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):

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

În care:

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

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 $[kWh/(m^3.an)]$;

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

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

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

În care:

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

θ_i – temperatura interioară medie a clădirii [℃];

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

Temperatura interioară medie a clădirii se calculează cu relația:

$$\theta_i = \frac{\Sigma(\theta_j V_{uj})}{\Sigma V_{uj}} \qquad [℃] \qquad (2.72)$$

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,[℃].

În cazul în care încăperile au aceeași înălțime, temperatura interioară medie ale spațiilor încălzite (θ_i) se calculează cu relația (Mc 001/1, Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor, 2006):

$$\theta_i = \frac{\Sigma(\theta_{ij} A_j)}{\Sigma A_j} \qquad [℃] \qquad (2.73)$$

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, Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor, 2006):

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

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 încăpere încălzită (θ_i), în [°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 perimetrale 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 şi figura din Anexa 1- C107 modificat în funcţie 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 *condiţiei:* Q≤ QN1 sau Q≤ QN2. (2.75)

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

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

Valorile pentru QN1-barat şi 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 $\ll de\ iarn\breve{a} \gg$, 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:

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

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):

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

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):

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

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 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^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
	I	1,60	3,50	2,10	1,40	0,50

Birouri, clădiri comerciale și hoteliere[x)]	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** $[m^2K/W]$	**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

Pentru clădirile la care suprafața pereților transparenți sau translucizi reprezintă cel puțin 50% din suprafața elementelor verticale de închidere, coeficientul global de referință G1ref poate fi mărit cu o cantitate, ale căror valori sunt menționate in 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 obţină la nivel global un acord pentru reducerea emisiilor de dioxid de carbon, astfel încât industria să fie mai competitivă şi cetăţenii 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 anvelope[1] eficiente din punct de vedere termic. (Fig. 31).

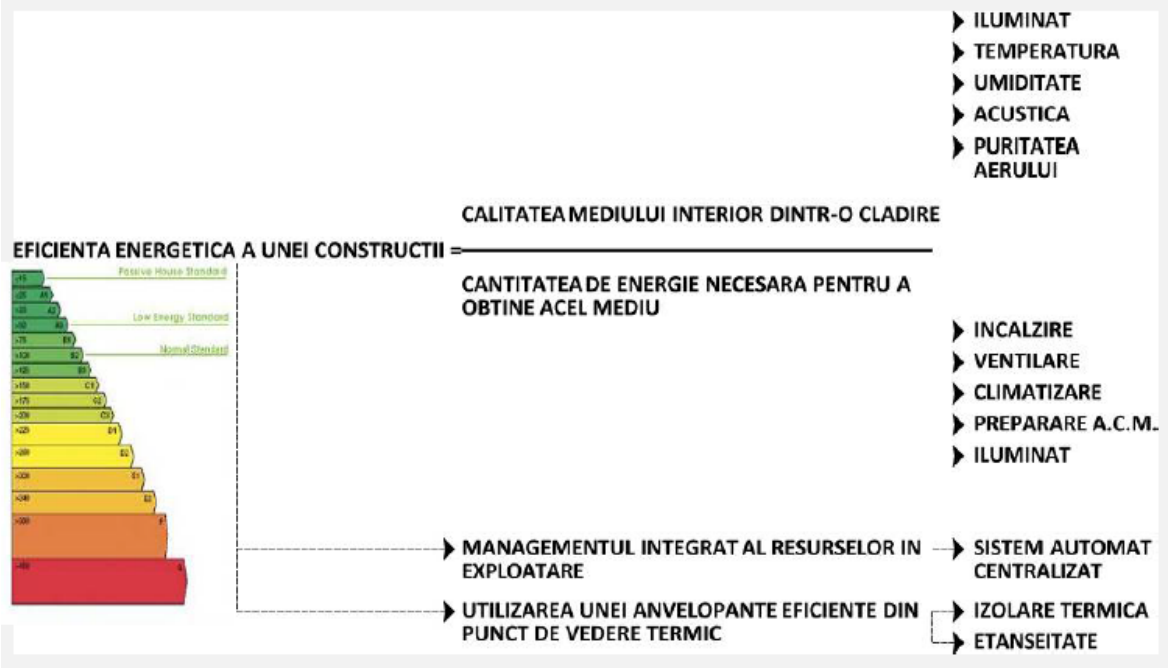


Figura 31. Definirea eficienței energetice a unei construcții (Petrea, 2012)

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

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

Piața construcțiilor verzi în Romania crește foarte repede, iar investitorii și dezvoltatorii încep să vadă importanța construcției sustenabile. Romania 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 Romania a creat un cadru legal si instituțional în conformitate cu cerințele Uniunii Europene pentru a promova eficiența energetică.

Fondul construit existent cuprinde în majoritate construcţii neperformante din punct de vedere energetic, determinând degajări importante de agenţi poluanţi chimici şi termici.

În România, pentru satisfacerea exigenţelor impuse de aceste tipuri de proiecte europene este necesară implicarea tuturor specialiştilor din domeniul clădirilor (energie, construcţii, arhitectură, planificare urbană, furnizori de utilităţi, instituţii financiare, etc.) printr-o abordare integrată şi unitară la nivel local şi 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;
- Sistemele de control independent al certificatelor de performanță energetică.

În graficul de mai jos sunt prezentate datele cu privire la consumul total de energie pe m^2 în cazul clădirilor rezistențiale la nivel de Uniune Europeană, observându-se că România are un consum total de energie de 248 kWh/(m^2an), clasându-se printre țările cu cele mai mari consumuri de energie (Figura 32) (ENTRANZE, 2008). Anul de referinţă 2008 ales pentru colectarea datelor este ultimul anul în care au fost disponibile destule informaţii privind consumurile energetice care în acel moment nu erau afectate de criza economică mondială.

[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.

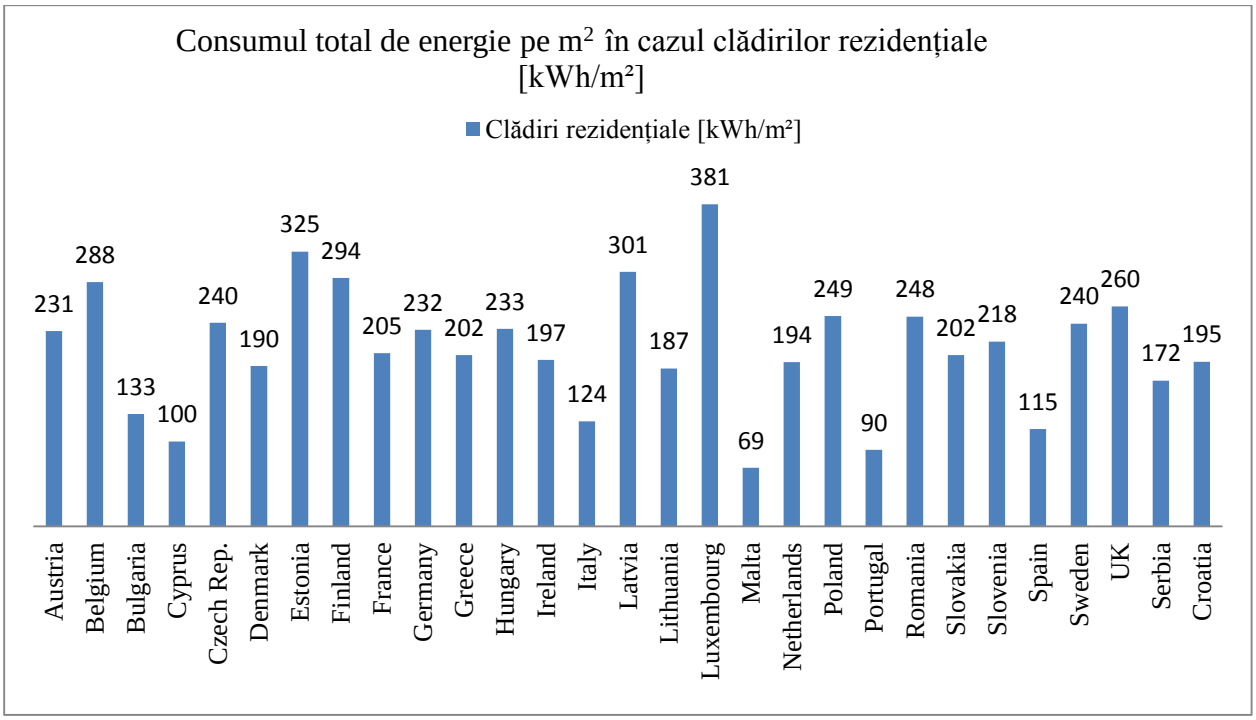


Figura 32. Consumul total de energie pe m² în cazul clădirilor rezidențiale

În Figura de mai jos (Figura 33) este prezentat consumul de energie pe diferitele sectoare de consum: electricitate, petrol, încălzire centralizată, biomasă 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 si anume 15% și respectiv 11%.

Bazat pe consumurile din anul 2008 (un an considerat fără scenarii politice) s-a realizat o proiecţie a cererii de energie pentru încălzire şi apă caldă menajeră în România până în anul 2030 pe baza a trei scenarii diferite de politici energetice. Primul scenariu (BAU+ tradus prin „business as usual") a avut în vedere actualele legislaţii naţionale şi legislaţia UE existentă, în timp ce scenariul 2 (Growing Up, tradus prin „creştere/maturizare") şi 3 (Market Transformation, tradus prin „transformarea pieţei") au inclus pachete de politici ambiţioase, inovatoare şi stricte. (Figura 34). Per ansamblu se prognozează o reducere a cererii finale de energie în toate cele trei ipoteze studiate, respectiv cea mai semnificativă reducere prognozată în cazul celui de-al treilea scenariu fiind de 31% faţă de anul 2008. În ceea ce privește aportul de energie din surse regenerabile, acesta va creşte de la circa 41,6% valoare aferentă anului 2008 până la 51-56% în anul 2030. (ENTRANZE, 2014)

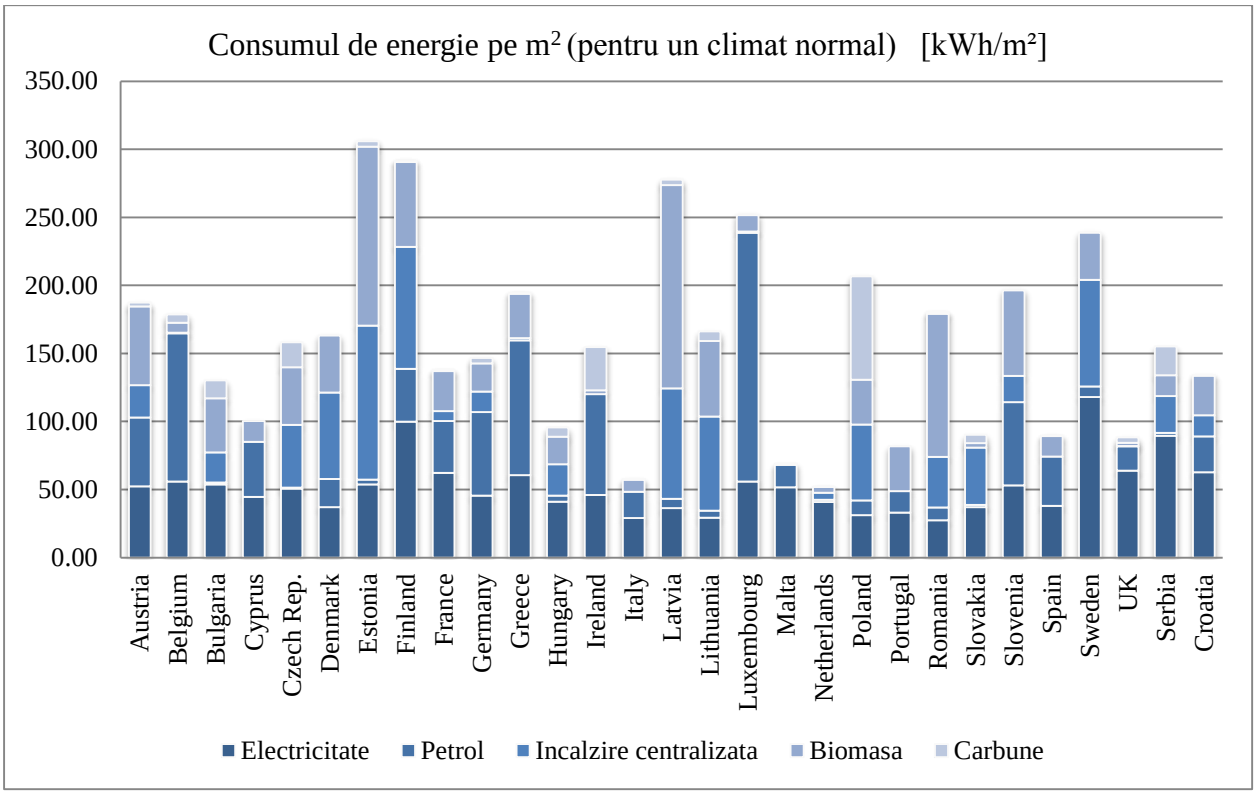


Figura 33. Consumul de energie pe m^2 pentru toate tarile Uniunii Europene (pentru un climat normal) [kWh/(m²an)] (ENTRANZE, 2008)

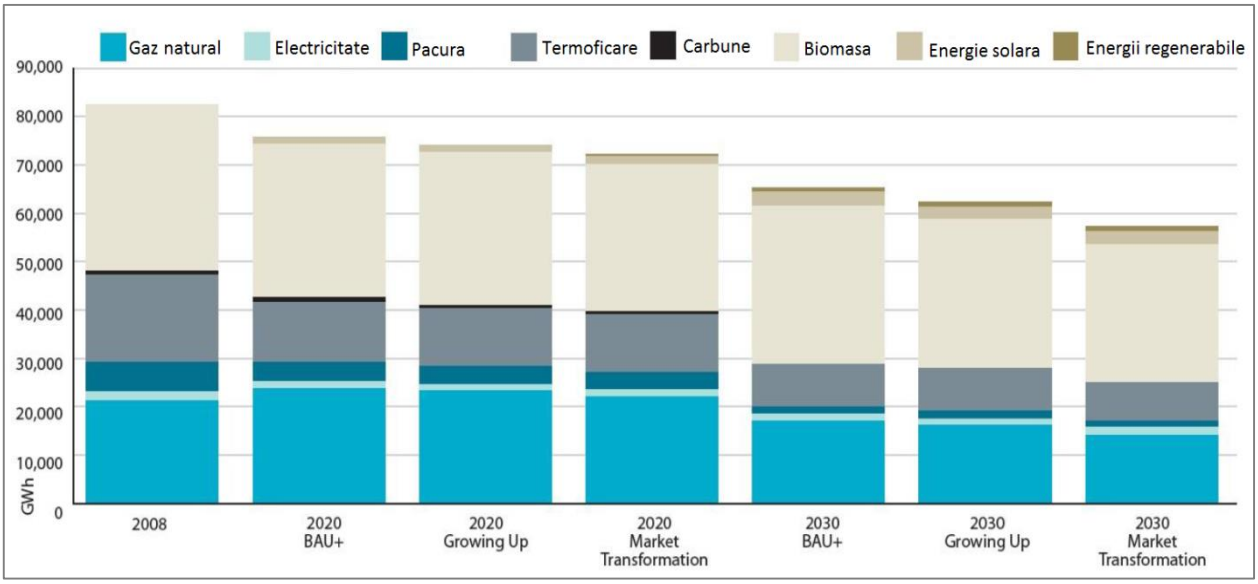


Figura 34. Cererea finală de energie pentru încălzire şi apă caldă menajeră până în 2030 în România [Gwh] (ENTRANZE, 2014)

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 artificiala, funcționarea diverselor aparate.

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

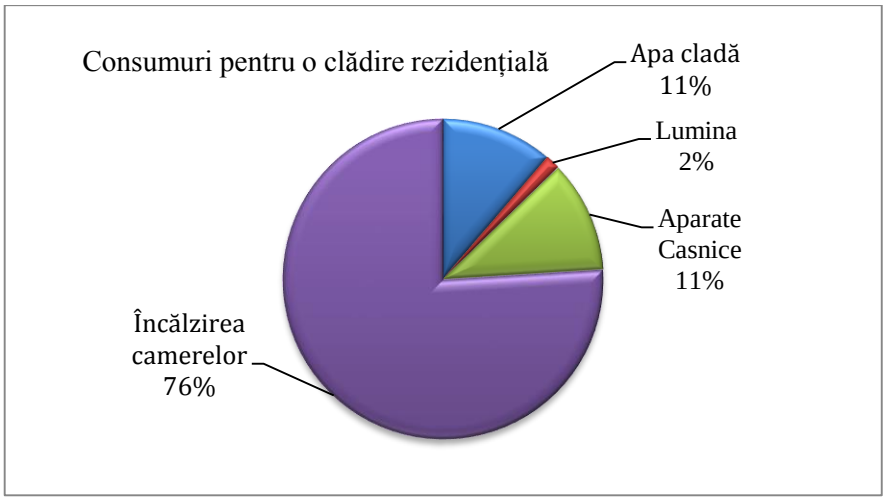


Figura 35. Consumuri pentru o clădire rezidențială din România (ISOVER , 2010)

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

Dintre țările care au fost preocupate de reducerea consumului de energie în clădiri şi 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 si 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/(m^2an)]
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 pasive în toată lumea. Standardul de bază pentru proiectarea în sistem pasiv la momentul actual este considerat standardul elaborat de Institul 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 priveşte 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 36. 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 următoare:

- forma compactă,
- eficientă energetic,
- anvelopa eficientă termic,
- închiderea ermetică a clădirii,
- sistem de preîncălzire pasivă a aerului proaspăt,
- sistem de ventilaţie 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 şi realizare. Poate fi folosit atât la schiţarea clădirilor noi cat şi la renovarea energetică a celor existente.

O casă pasivă este o clădire în care temperatura de confort a spaţiului 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/(m^2an). Necesarul minim poate fi asigurat prin încălzirea aerului

furnizat de sistemul de ventilaţie - un sistem care este necesar în orice situație. Obiectivul este de a păstra un consum total combinat de căldură, apă caldă şi energie electrică sub 120 kWh/(m^2an).

Testul de etanşeitate (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" (PHPP[3]). 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;
- Documentaţie 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<0.15W/(m^2K);
        - pentru suprafeţe vitrate U<0.80W/(m^2K).
2. *Anvelopă etanşă 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 traversantă de noapte și alte sisteme pasive de ventilație.
4. *Ventilaţie şi recuperare de căldură*
   - ventilație mecanică controlată cu dublu flux pentru aerisire, schimbător de căldură de mare performanță;
   - geotermie (puț canadian, pânză freatică).
5. *Decenţă 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 şi a celor din baie, bucătărie şi maşina de spălat.

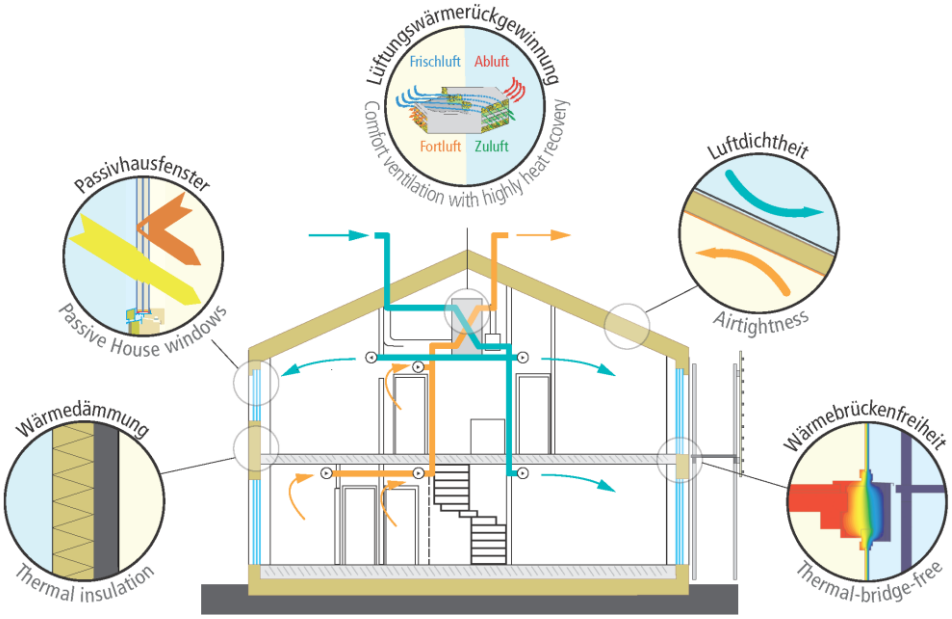


Figura 37. Principii de alcătuire ale unei case pasive (passiv.de, 2013)

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

- Germania: Casă multi – familială, Hamburg:

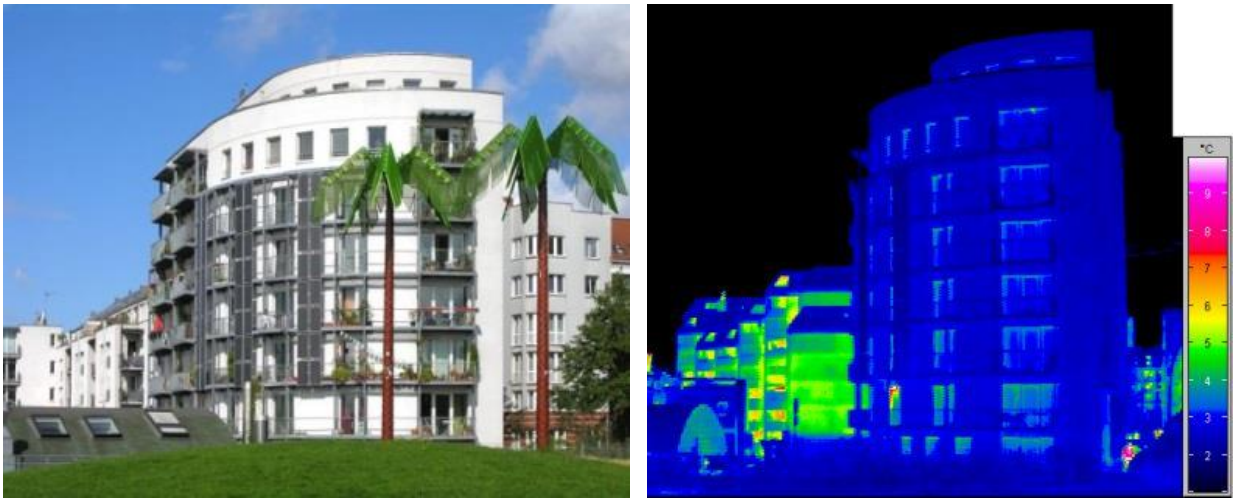


Figura 38. Casă multi – familială, Hamburg; Germania (Passivehaus Datenbank, 2013)

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^2an)
Încălzire, răcire și energie electrică pentru uz casnic	96 kWh/ (m^2an)
Sarcina termică	8 W/ m^2
Etanșeitate (planificare conform PHPP)	0,11 1 /h
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Beton
U-valoare perete exterior (medie)	0,126 W/(m^2K)
Acoperiș (structura)	Beton, polistiren

U-valoare acoperiș (medie)	0,082 W/(m^2K)
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 (≤ 25kWh/m^2 necesar pentru încălzire):

Figura 39. 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^2an)

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

- Belgia: Centru sportiv și de recreere, Gent:

Figura 40. 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^2an)
Etanșeitate (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^2K)
Acoperiș (structura)	Grosime totală: 25 cm
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,12 W/(m^2K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 16 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,15 W/(m^2K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U_g	0,6 W/(m^2K)
U_w valoarea intalata (medie) pentru toate ferestrele	0,8 W/(m^2K)

- Elveția: locuință individuală unifamilială, Kriessern

Figura 41. 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^2an)
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^2K)
Acoperiș (structura)	Grosime totală: 25 cm
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m^2K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 16 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,15 W/(m^2K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U_g	0,5 W/(m^2K)
U_w valoarea intalata (medie) pentru toate ferestrele	0,76 W/(m^2K)

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

Figura 42. 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^2an)
Necesarul de energie primară totală: (apă caldă de consum, încălzire, răcire, energie electrică suplimentară și electrocasnică)	80 kWh/ (m^2an)
Sarcina termică	12 W/m^2
Etanșeitate (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^2K)
Acoperiș (structura)	Panouri structurale izolate
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,07 W/(m^2K)
Placă peste subsol	-
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,1 W/(m^2K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U_g	0,8 W/(m^2K)

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

Figura 43. 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^2an)
Necesarul de energie primară totală: (apă caldă de consum, încălzire, răcire, energie electrică suplimentară și electrocasnică)	59 kWh/ (m^2an)
Sarcina termică	9 W/m^2
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	50 mm Neopor + 150 mm beton armat + 200 mm izolație termica
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,11 W/(m^2K)
Acoperiș (structura)	Tip terasă
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,07 W/(m^2K)
Ferestre / uși / sisteme de umbrire	
Factor solar - U_g	0,71 W/(m^2K)

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

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

Figura 44.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^2an)
Sarcina termică	18 W/ m^2
Etanșeitate (planificare conform PHPP)	0,25 1 /h
Elemente opace	
Perete exterior (structura)	Grosime totală: 35 cm
Perete exterior – valoarea lui U (medie)	0,083 W/(m^2K)
Acoperiș (structura)	-
Acoperiș - valoarea lui U (medie)	0,6 W/(m^2K)
Placă peste subsol	Grosime totală: 30 cm
Placă peste subsol - valoarea lui U (medie)	0,0,97 W/(m^2K)

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

În urma analizei costurilor necesare pentru realizarea caselor în sistem pasiv se poate menționa faptul că acestea nu au un cost mult mai ridicat faţă de costul realizării un 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 faţă de cele standard, trebuie avut în vedere faptul că aceste costuri se amortizează în timpul exploatării, 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 şi respectiv răcirii caselor noi construite conform cerințelor minimale ale standardelor în vigoare şi 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^2an)]	**[kWh/(m^2an)]**	**[kWh/(m^2an)]**	**[kWh/(m^2an)]**
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 CO_2 – 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 CO_2 , 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 CO_2 prin utilizarea eficientă a energiei. Reducerea de emisii de CO_2 la nivel național depinde în mare parte şi 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 şi 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 Parlamanetului European și a Consiuliului 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 performantei energetice a cladirilor nr. 372/2005*), republicata la 23 iulie 2013, 2013)**.**

În conformitate cu articolul 2 punctul (2) din EPBD al Comisie 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 Europeana, 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 reglementari tehnice, diferențiat pe zone cu potențial de energie din surse regenerabile, si 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 si 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 definire clară și o metodă de calcul agreată de majoritatea specialiştilor în domeniu.

Cele mai importante aspecte care trebuie avute în vedere sunt:

1**.** *Definirea echilibrului energetic*. Unitatea de măsură aplicată pentru "echilibru energetic zero" poate fi influenţată de un număr de factori; prin urmare în definirea metodologiei de calcul pot fi folosiți mai mulți factori. Ca de exemplu: energia primară, emisia echivalentă de CO_2, energia, costul energiei sau a altor parametrii definiţi 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 şi energia regenerabilă generată sau (2) energia care este utilizată pentru clădire şi 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 şi 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 şi un concept de viitor ci ca şi o reală soluție pentru atenuarea emisiilor de CO_2 sau diminuarea energiei consumate în sectorul clădirilor de locuințe. Numărul crescut de proiecte şi cercetări ştiințifice 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) şi 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 îşi 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 sa fie implementat in standardele naționale şi internaționale, trebuie luate în considerare două mari provocări: stabilirea unei definiții clare care ar fi general agreată şi dezvoltarea unei metoda 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 şi abordat din mai multe puncte de vedere. Necesitatea găsirii unei metodologii de calcul a atras atenția odată cu creşterea numărului de proiecte privind acest concept şi deci a interesului asupra metodei de calcul al "consumului zero de energie consumată". Deşi în unele țări acest concept a fost deja introdus in 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 uşoară.

Există unele metode de evaluare într-un mediu controlat LEED sau BREEAM, totuşi 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 definire a conceptului caselor cu energie aproape zero și de asemenea a metodologiilor de calcul. În lucrarea "Zero Energy Building (ZEB) - a reveiw of definitions and calculation metodologies" autorii fac o clasificarea 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 nişte propuneri care nu îşi 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 influenţată de (1) obiectivul proiectului, (2) intenţiile investitorului, (3) aspectului climatic şi a emisiilor de gaze cu efect de sera şi (4) a costurilor pentru energie. Prin urmare propune patru definiţii diferite care iau în considerare ,emisiile, costurile, sursa şi situaţia de la faţa 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 şi tipului de echilibru, tipuri de utilizare a energiei incluse, cu diverse tipuri de alimentare regenerabile.

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

Tipuri de 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 (nZEB[4]) ar trebui să se adreseze atât cantității cât şi calității energiei asta pentru a putea analiza impactul complet al clădirii asupra mediului. Prin urmare, el propune o nouă definiţie pentru termenul de (nZEB), mai exact o "clădire de energie zero " şi o defineşte 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

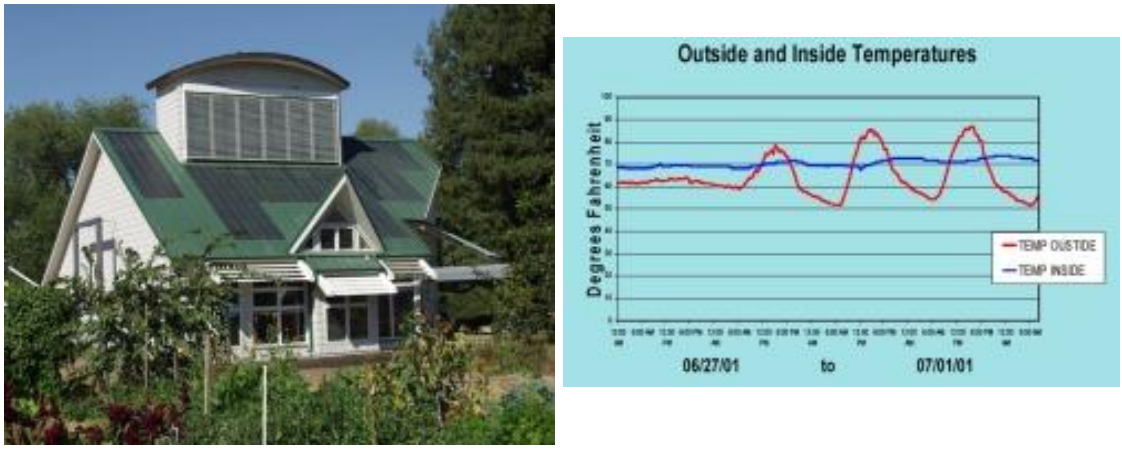


Figura 45. Centrul de Tehnologie a Mediului de la Universitatea de Stat Sonoma, Statele Unite ale Americii

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 Hawai:

Figura 46. Centrul de Energie Gateway din Hawai (ENERGY, 2008)

- Centrul de Energie Gateway din Hawai 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 şi evaluează, prin intermediul unor simulări orientative, modul în care aceste principii sunt relevante în contextul situaţiei actuale din România.

Acest studiu realizat de Institutul European pentru Performanţa Energetică a Clădirilor în colaborare cu INCD URBAN-INCERC – Sucursala INCERC Bucureşti, Secţia Performanţe energetice ale construcţiilor durabile, România. Scopul acestuia a fost de a realiza o definire 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 construcţiilor, a costurilor pentru materiale şi echipamente, a legislaţiei existente şi a măsurilor suport. Pe baza acestei analize s-au definit clădiri de referinţă noi (conform practicilor actuale) pentru următoarele tipuri de clădiri:

• Clădiri de locuit individuale (case unifamilale),

• Clădiri de locuit colective (blocuri multifamiliale),

• Clădiri de birouri.

Clădirile de locuit individuale şi 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 nerezidenţiale, 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 eşantionul poate fi considerat reprezentativ.

Pe suportul acestor tipuri de clădiri s-au realizat o serie de simulări, utilizând variante îmbunătăţite de izolare termică şi instalaţii de încălzire, răcire, ventilare şi apă caldă de consum. Pentru a echilibra balanţa dintre emisiile de CO_2 şi contribuţia 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 implicaţiile financiare şi economice ale fiecărei opţiuni nZEB pentru a se determina soluţia optimizată ţinând seama de condiţiile specifice naţionale.

Limitele sugerate în tabelul de mai jos pentru definirea nZEB în Romania sunt ambiţioase, dar accesibile având în vedere faptul că multe dintre soluţiile evaluate în acest studiu prezintă costuri adiţionale specifice actualizate de sub 5 Euro/(m^2an).

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

Categoria clădirii	**Cerințe minime**	**Anul**		
		2016	**2019**	**2020**
Clădiri individuale	Energie primară [kWh/(m^2an)]	100		30-50
	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO_2 [$kgCO_2$/(m^2an)]	<10		<3-7
Clădiri colective	Energie primară [kWh(m^2an)]	70		30-50
	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO_2 [$kgCO_2$/(m^2an)]	<10		<3-7
Clădiri de birouri	Energie primară [kW/(m^2an)]	100		40-60

	Pondere regenerabile [%]	>20		>40
	Emisii CO_2 [$kgCO_2/(m^2an)$]	<13		<5-8
Clădiri ale administrației publice	Energie primară [$kWh/(m^2an)$]	100	40-60	
	Pondere regenerabile [%]	>20	>50	
	Emisii CO_2 [$kgCO_2/(m^2an)$]	<13	<5	

Pentru a sprijini acest efort naţional, studiul prezentat mai sus propune mai multe etape de parcurs în vederea implementării nZEB până în anul 2020, care ţine seama de măsuri necesare la nivel politic, la nivelul reglementărilor tehnice în construcţii, al capacităţii administrative, al certificării performanţei energetice, al calificării forţei de muncă, al informării publicului şi 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 47. Soleta zeroenergy ONE (Construction21.eu, 2012)

Sistemele utilizate pentru producerea şi 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 teermic, alte sietme 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/ m^2an] și indicele de emisii echivalent CO_2 de 69,98 [kg_{CO2}/ m^2an].

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 BRE[5].

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

- Canada: LEED Canada; Green Globes; Built Green Canada;
- Franța: HQE – Haute Qualite Environnmentale;
- Germania: DGNB; CEPHEUS;
- Hong Kong – BEAM Plus;

[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

- 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 in 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 si 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 trening 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 eficiență 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 CO_2 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 CO_2 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 îmbunătății 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 si o parte din cladirile certificate de clasa energetică A, B şi 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

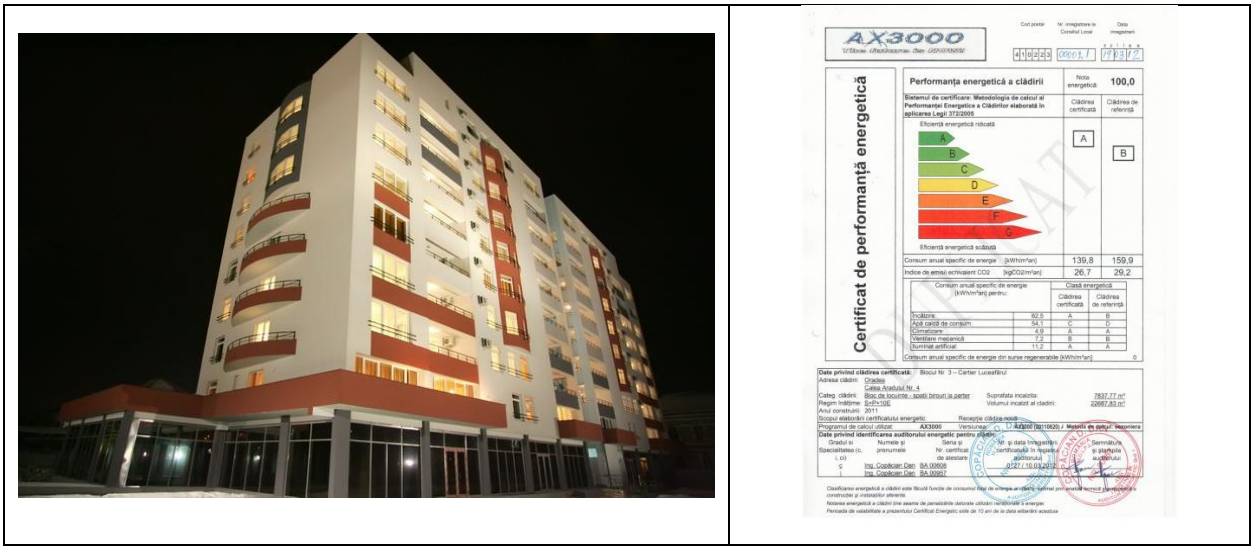


Figura 48. Ansamblul Rezidențial Luceafărul (construction21, 2013)

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 si 14 cm, polistiren extrudat pentru terase intre 15 si 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/ m^2an] și indicele de emisii echivalent CO_2 de 26,7 [kg_{CO2}/ m^2an].

- În Târgu-Mureș, România:

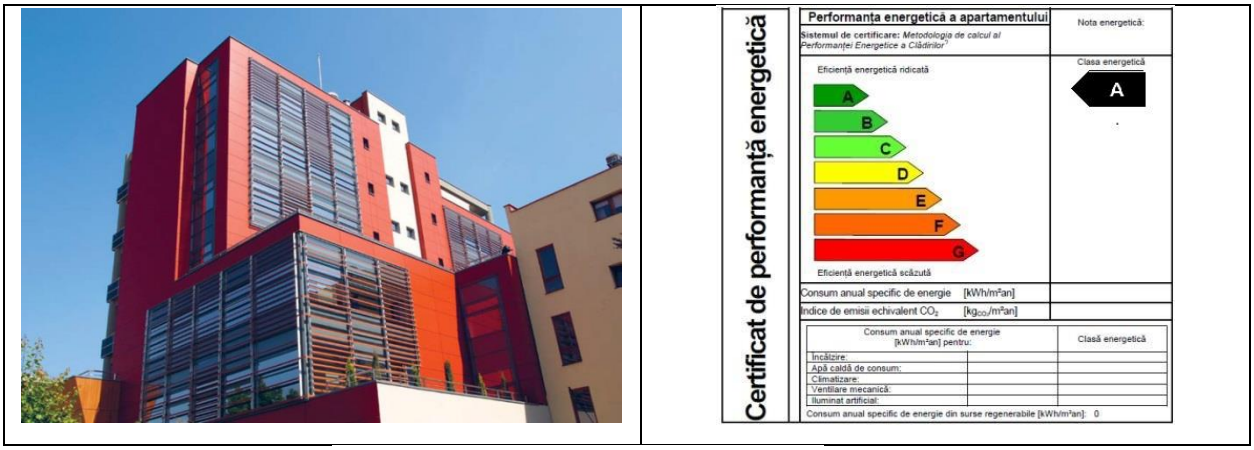


Figura 49. Multinvest Business Center, Târgu Mureș (construction21.eu, 2013)

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 gradină și piscina. Clădirea a fost construită în anul 2011.

Figura 50. 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-convector;
- apă caldă: centrală gaze;
- sistemul de răcire: Sisteme VRV (Volum Refringerent Variabil);
- sistemul de ventilație: HVAC autoreglabil.

Toate fațadele sunt realizate din materiale izolatoare, în concordanță cu studiul de termo-izolație. Conform certificatului de performanță energetică, clădirea se încadrează în clasa energetică A, având un consum anual specific de energie de 115,4 [kWh/ m^2an] și indicele de emisii echivalent CO_2 de 17,1 [kg_{CO2}/ m^2an].

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 51. 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 CO_2 în momentul exploatării), zero deșeuri (toate elementele de construcție sunt demontabile și reciclabile) (Mone, 2013).

Figura 52. 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 53. 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 PERFORMANŢELOR TERMICE A ELEMENTELOR ANVELOPEI CLĂDIRII ÎN REGIM DINAMIC

4.1. INTRODUCERE

În general există 3 caracateristici principale care complică calculul necesarului anual de energie: variabilele care se schimbă nestaţionar, fluxul termic asociat cu expresii de temperatură non-liniară şi diferite mecanisme de transfer termic care interacţionează între ele în moduri complexe. Pentru o perioadă mare de timp îmbunătăţirea performanţei termice a unei clădiri a constat în menţinerea valorilor transmitanţelor termice U (inversul rezistenţelor termice R) a elementelor opace şi vitrate ale anvelopei clădirii la o valoare cât mai scăzută, de obicei clădirile cu consum redus de energie şi clădirile pasive bazându-se pe grosimi de izolare foarte mari ale elementelor anvelopei clădirii. În ultimii ani a devenit tot mai important conceptul care aminteşte faptul că este imposibil să se proiecteze clădiri eficiente energetic prin abordarea doar a transmitanţei termice U a elementului anvelopei clădirii, respectiv prin minimizarea pierderilor de căldură prin pereţi exteriori, acoperişuri, planşee şi ferestre sau prin creşterea grosimii termoizolaţiei. Deşi că momentat această abordare se regăseşte în standardele naţionale în domeniu.

Un alt criteriu important în stabilirea performanţei termice a clădirii o are influenţa inerţiei termice, datorită efectului benefic pe care aceasta îl are la îmbunătăţirea condiţiilor de confort prin reducerea necesarului de încălzire şi de răcire ale clădirii. Mai mulţi autori din literatura de specialitate au evaluat influenţa a proprietăţilor termice ale pereţilor asupra performanţei energetice a clădirii, prin compararea diferitelor sisteme constructive (Gregory, Moghtaderi, Sugo, & Page, 2008) (Bojic, Yik, & Sat, 2001). Cu toate acestea în studiile menţionate, efectele inerţiei termice nu pot fi separate de cele a transmitanţei termice, având în vedere că ambii parametrii pot varia. Alţi autori au efectuat o comparaţie între pereţi cu aceleaşi valori ale transmitanţelor termice U, la care evaluau influenţa poziţiei relative a unei grosimi date de termoizolaţie şi de strat masiv (Kosseckaa & Kosny, 2002) (Bojic, Yik, & Sat, 2001). In studiul efectuat de Kossecka şi Kosny diferenţa procentuală de încărcare totală între peretele cel mai puţin eficient şi cel mai eficient variază de la 2,3% şi până la 11,3%, în funcţie de zona climatică aleasă coform zonării climatice a Statelor Unite ale Americii. În schimb Bojic şi Loveday menţionează faptul că diferenţele pot fi până la 40% în cazul încărcării din încălzirea intermitentă şi până la 84% pentru cazul încărcării din răcirea intermitentă. Dimpotrivă, nici o influenţă relevantă din partea stratificării peretelui nu

a fost indentificată în cazul răcirii continue. Varietatea mare de rezultate amintite se poate datora climatelor diferite, dar şi diferitelor caracteristici de modele de clădiri şi condiţii de exploatare.

În ceea ce priveşte impactul punţilor 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 proporţia impactului punţii termice creşte în momentul când nivelul de izolare termică a anvelopei clădirii creşte. Pe de altă parte, influenţa asupra fenomenului de condens superficial şi fenomenului de dezvoltare a mucegaiului pe suprafaţa interioară, trebuie de asemenea să se ia în considerare.

Implementarea corectă a punţilor 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 diferenţelor de necesar energetic obţinut prin utilizarea programelor de calcul şi cele reale obţinute în exploatarea clădirii.

4.2. ELEMENTE DE TEORIE ALE CALCULULUI DINAMIC ÎN LITERATURA INTERNAŢIONALĂ

Există o multitudine de programe de simulare termică dinamică utilizate la evaluarea încărcărilor din încălzire şi răcire în clădiri. Acest lucru asigură aplicaţii sofisticate cu algoritme de calcul care redau modul de comportare al clădirii, modul în care aceasta va performa, dar aşa cum se întâmplă cu orice program sofisticat de calcul, acesta are nevoie de un nivel de resurse ridicat (informaţie şi timp) pentru a asigura rezultate satisfăcătoare. Cu toate acestea, performanţa termică relativă a unei clădiri va depinde de o serie de parametrii foarte bine definiţi.

In cazul analizei în regim termic staţionar se realizează o analiză a pierderilor de căldură, pe baza conductivităţii termice şi a grosimii materialelor care alcătuiesc elementul de construcţie al anvelopei clădirii. In acest sens se aplică metoda de calcul a rezistenţei termice globale, respectiv a transmitanţei 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 staţionar nu este suficientă datorită mai multor motive, printre care se amintesc:

- proprietăţile termice ale clădirilor noi sunt în general a unor construcţii uşoare care au capacităţi termice scăzute, răspuns rapid la acumulările de căldură şi în consecinţă variaţii mai mari de temperatură;

- chiar şi în cazul clădirilor cu structură grea, dacă pereţi sunt izolaţi termic, acestea se vor comporta asemeni clădirilor cu structură uşoară;

- sistemele de încălzire optimizate au un răspuns rapid şi 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 rezidenţial: acest lucru impune încălzirea rapidă a clădirii dimineaţa şi din nou seara;

- datorită variaţiei intensităţii solare în timpul zilei, materialele elementelor de construcţie ale clădirii vor acţiona pentru a absorbi şi a elibera căldură, atât din interior cât şi din exterior.

Răspunsul clădirii va diferi în funcţie de tipul construcţiei, cu structură uşoară sau grea, după cum se poate observa şi în figura de mai jos:

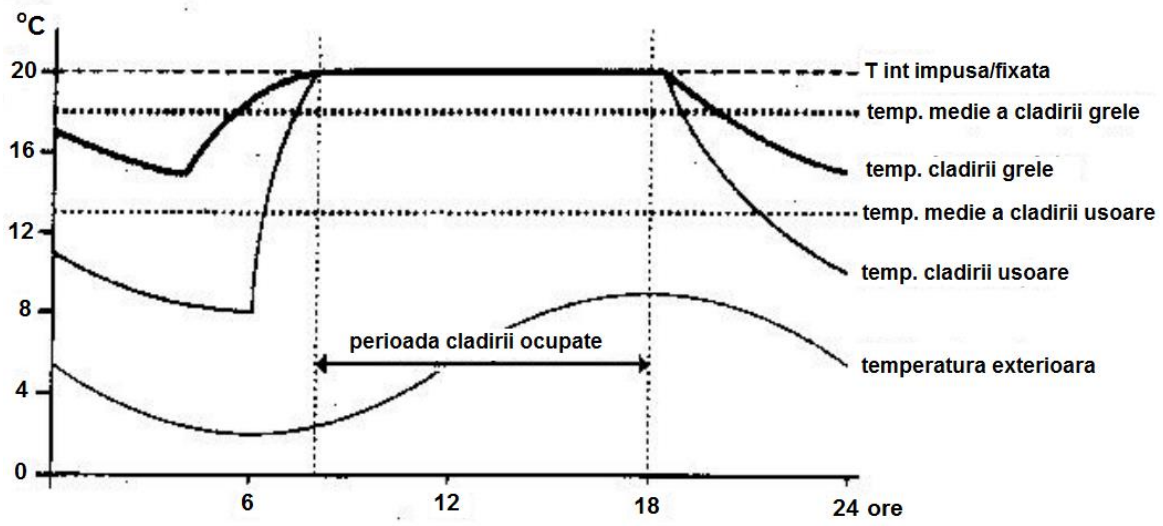


Figura 54. Curba de încălzire pentru clădiri grele şi clădiri uşoare (EN ISO 13790, 2005)

O metodă accesibilă pentru aproximarea fluxurilor ciclice de căldură şi de evaluare a necesarului de încălzire şi răcire este denumită „*metoda admitanţelor*”. Rezultatele obţinute în urma aplicării metodei admitanţelor sunt comparabile cu cele obţinute folosind metode de calculator de calcul dinamic mai sofisticate, dar este în mod ineret limitată deoarece foloseşte 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 şi pentru încărcările din încălzire consideră o temperatura exterioară constantă fără aporturi solare.

In cazul unei analize a comportamentului dinamic, standardul (EN ISO 13786, 2005) cuprinde caracteristicile privind comportarea termică dinamică a elementelor clădirii şi oferă metodele pentru calculul acestei comportări, prin element înţelegându-se orice parte a clădirii, perete, planşeu, acoperiş, sau părţi din aceste elemente. O metodă simplificată este dată pentru componente plane alcătuite din straturi plane de material potenţial omogene. Caracteristicile termice dinamice pot fi folosite si pentru calculul temperaturii interioare dintr-o încăpere, valoare puterii maxime dintr-o zi şi necesarul de energie pentru încălzire şi răcire, efectele încălzirii sau răcirii intermitente şi altele.

Pentru a se face calculul trebuie definite zonele termice ale clădirii care reprezintă părţi ale clădirii prin care temperatura interioară are sau se consideră că are variaţii spaţiale neglijabile. Ca şi zonă termică se poate considera si mediul exterior. Calculele se efectuează considerându-se condiţii tranzitorii sinusoidale, adică condiţii în care variaţiile temperaturilor şi fluxurilor termice de-a lungul valoriilor medii pe termen lung sunt descrise de o funcţie de timp sinusoidală.

Temperatura în zona „n" e definită astfel:

$$\theta_n(t) = \bar{\theta}_n + \left|\hat{\theta}_n\right| \cdot \cos(\omega t + \psi) = \bar{\theta}_n + \frac{1}{2}\left[\hat{\theta}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\theta}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}\right]$$

Fluxul termic va fi definit astfel:

$$\phi_n(t) = \bar{\phi}_n + \left|\hat{\phi}_n\right| \cdot \cos(\omega t + \psi) = \bar{\phi}_n + \frac{1}{2}\left[\hat{\phi}_{+n} \cdot e^{j\omega t} + \hat{\phi}_{-n} \cdot e^{-j\omega t}\right]$$

unde,

$\bar{\theta}_n$ şi $\bar{\phi}_n$ sunt valorile medii ale temperaturii şi fluxului termic,

$\left|\hat{\theta}_n\right|$ şi $\left|\hat{\phi}_n\right|$ sunt amplitudinile variaţiilor de temperatură şi de flux termic,

$\hat{\theta}_{\pm n}$ şi $\hat{\phi}_{\pm n}$ sunt aplitudini complexe definite de:

$$\hat{\theta}_{\pm n} = \left|\hat{\theta}_n\right| \cdot e^{\pm j\varphi} \text{ şi } \hat{\phi}_{\pm n} = \left|\hat{\phi}_n\right| \cdot e^{\pm j\varphi}$$

unde ω este frecvenţa unghiulară a variaţiilor.

Astfel, se definesc şi se calculează mai mulţi parametrii specifici:

- *transmitanţa termică U [W/m²K]*: este valoarea fluxului de căldură în regim termic staţionar care trece prin element, raportat la suprafaţa prin care se face transferul şi la o diferenţă de temperatură între mediul interior şi exterior. Această valoare este calculată în câmpul curent şi nu ţine cont de efectul punţilor termice. Acest coeficient oferă o imagine clară asupra proprietăţilor de izolare termică a unui material/element. În cazul în care temperatura exterioară variază într-o perioadă de 24 ore peste şi sub valoarea temperaturii interioare, este posibil ca valoarea U să nu indice pierderile reale de căldurră prin suprafaţa elementului. Acest lucru se datorează faptului că

fluxul termic prin element nu este constant (staţionar), şi nici direcţia acestuia nu este singulară, cum ar fi de la interior spre exterior. Direcţia fluxului termic se schimbă de fiecare dată când ciclul de variaţie a temperaturii exterioare merge peste şi sub temperatura interioară. In această situaţie performanţa termică a elementului (peretelui) nu mai este doar o simplă ecuaţie care ţine cont de grosimea stratului termoizolant, ci este influenţată şi de cantitatea de masă termică. În timpul nopţii când temperatura scade, căldura începe să părăsească suprafaţa peretelui spre exterior. Prezenţa masei termice va incentinii acest proces (defazajul) şi ziua următoare când temperatura exterioară devine mai ridicată faţă de cea interioară, direcţia fluxului termic se inversează, asigurând ca o parte din cantitatea de căldură reţinută de masa termică să fie eliberată în încăpere.

Efectul benefic al masei termice e real şi un perete greu poate să autodepăşească performanţa termică a unui perete uşor care are aceaşi valoare a transmitanţei termice. Oricum, efectul este semnificat doar în cazul în care ciclurile temperaturii exterioare peste şi sub temperatura interioară se desfăşoară pe o perioadă de 24 h. (Environmental Building News, 1998)

- *admitanţa termică Y [W/(m²K)]*: cantitatea de energie (flux termic) care părăseşte suprafaţa interioară a elementului spre încăpere raportată la variaţia de temperatură din încăpere. Din condiţii teoretice se aplică în cazul în care temperatura mediului interior este supusă la oscilaţii periodice şi temperatura exterioară este constantă. Este legată de difuzivitatea şi grosimea materialelor, respectiv cuantifică modul în care un element de construcţie al clădirii este capabil să schimbe căldură cu un spaţiu atunci când este supus la ciclurile periodice (sinusoidale) a temperaturii şi a fluxului termic

$$Y_{mm} = \frac{\widehat{q_m}}{\widehat{\theta_m}} \qquad \text{şi} \qquad Y_{mn} = \frac{\widehat{q_m}}{\widehat{\theta_n}} \tag{2.78}$$

Y_{mm} admitanţe termice (m=n), Y_{mn} (m≠n, unde m,n notarea zonelor termice) sunt transmitanţe termice periodice

Valoare „K” din unitatea de măsură a admitanţei este dată de diferenţa de temperatură dintre temperatura interioară medie şi temperatura efectivă la un moment specific în cursul unei zi. Această diferenţă de temperatură dinamică este cea care conduce căldură în interiorul şi în exteriorul stratului de material. In comparaţie cu admitanţa, valoarea lui „K” din unitatea de măsură a transmitanţei termice, este dată de diferenţa dintre temperatura interioară şi exterioară, valori care se consideră a fi constante. O altă diferenţă este faptul că valorile mari ale admitanţelor sunt de dorit în cazul utilizării masei termice a elementelor, în comparaţie cu valorile scăzute pentru U care se doresc pentru minimizarea pierderilor de căldură.

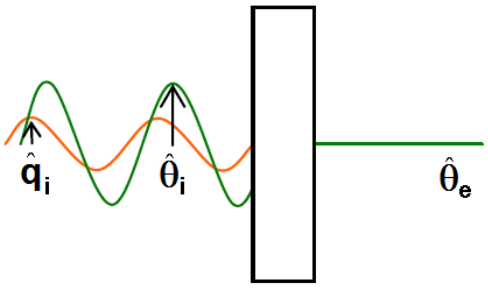


Figura 55. Caracteristicile admitanţei termice. (EN ISO 13786, 2005)

- *conductanţa termică L [W/K]*: cantitatea de căldură dintr-o componentă raportată la temperaturile de pe ambele suprafeţe a acestuia, în cazul unor condiţii de variaţii sinusoidale

$$L_{mn} = A \cdot Y_{mn} \tag{2.79}$$

L_{mn} (m≠n) sunt conductanţe termice periodice

- *capacitatea termică C_m [J/K]*: modulul conductanţelor termice periodice nete împărţite la frecvenţa unghiulară ωe

$$C_m = \frac{1}{\omega}|L_{mm} - L_{mn}| \tag{2.80}$$

unde

$\omega = \frac{2\pi}{T}$, T este perioada (durata unui ciclu) în secunde

- *capacitatea termică zonală χ_m [kJ/m²K]*: cantitatea de caldură înmagazinată în element în prima jumătate din perioada de oscilaţie a fluxului termic raportată la unitatea de suprafaţă de element şi variaţie de temperatură. Aceaşi cantitate de căldură se emite şi în cea de-a doua jumătate a perioadei.

$$\chi_m = \frac{C_m}{A} = \frac{1}{\omega}|Y_{mm} - Y_{mn}| \tag{2.81}$$

de unde rezultă că $C_m = A \cdot \chi_m$

O componentă care separă două zone are două admitanţe termice şi două capacităţi termice, toate acestea depinzând de perioada variaţiilor termice.

- *perioada de timp pentru admitanţa termică [ore]*: reprezintă diferenţa de timp dintre momentului fluxului termic maxim la suprafaţa interioară şi momentul de temperatură interioară maximă

- *factorul de amortizare f [-]*: este dat de raportul dintre fluxul termic maxim la suprafaţa exterioară a elementului raportată la variaţia unitară de temperatură exterioară faţă de fluxul termic prin element în regim termic staţionar raportat la variaţia unitară a diferenţei de temperatură dintre

mediul interior şi exterior. Altfel spus, abilitatea de a atenua amplitudinea variaţiei temperaturii exterioare faţă de temperatura interioară.

$$f = \frac{|\widehat{q_m}|}{|\widehat{\theta_n}|\cdot U} = \frac{|L_{mn}|}{A\cdot U} = \frac{|Y_{mn}|}{U} \quad \text{unde m}\neq\text{n} \qquad (2.82)$$

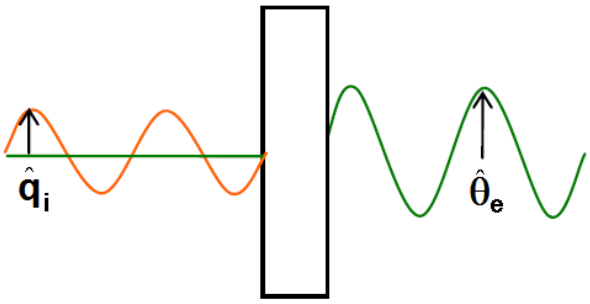


Figura 56. Caracteristicile factorului de amortizare. (EN ISO 13786, 2005)

La fel ca admitanţa şi transmitanţa termică, factorul de amortizare este o caracteristică specifică a materialelor de construcţie fiind legată de masă termică a acestora. Acesta descrie modul în care densitatea, capacitatea termică şi conductivitatea termică pot să încetinească trecerea căldurii de la o suprafaţă la alta (datorită defazajului) şi de asemenea să atenueze aporturile care trec prin suprafaţa aferentă (datorită factorului de amortizare),

Pentru structuri uşoare cu capacitate termică scăzută, valoarea factorului este 1, respectiv valoarea acestuia scade odată cu creşterea grosimii şi capacităţii termice. O valoare mai mică a factorului va asigura o stabilitate mai mare a temperaturii pe suprafaţa interioară, scăzând astfel şi riscul de supraîncălzire pe suprafaţa interioară. Pereţii izolaţii termic mediu şi puternic au un factor de amortizare între 0,3 şi 0,1. În cazul structurilor uşoare factorul are o valoare între 0,5 şi 0,8 , valoarea mai mare fiind în general în cazul pereţilor care au un strat exterior de zidărie peste stratul termoizolant.

- *defazajul φ [h]*: este perioada de timp între valoarea maximă a temperaturii exterioare şi valoarea maximă a temperaturii interioare de pe suprafaţa elementului, atunci când acesta este străbătut printr-o mişcarea 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 suprafaţă pe cealaltă cu o amplitudine redusă.

Pereţii izolaţi mediu sau puternic, vor încetinii trecerea căldurii până la 9-12 ore, fapt care favorizează un nivel optim al defazajului. Structurile uşoare asigură, în general, perioade mai scurte de la câteva ore şi până la 7-8 ore. Este foarte importantă la un element de construcţie ordinea straturilor de material prin care trece fluxul termic în stabilirea defazajului. Asigurând controlul defazajului este posibil să se controleze şi să se prevină supraîncălzirea clădirii.

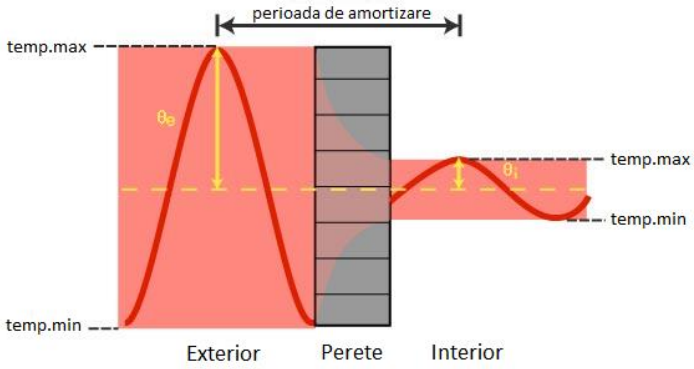


Figura 57. Defazajul. (EN ISO 13786, 2005)

- *factorul de suprafaţă F [-]*: este raportul dintre variaţia fluxului de căldură de la suprafaţa interioară a elementului readmis de spaţiul interior faţă de variaţia fluxului de căldură primită la suprafaţa interioară a elementuui (e.g. absorbit din element din aporturi solare). Este utilizat când se ţine cont de utilizarea radiaţiei solare şi a componentei radiative a aporturilor de căldură pe suprafeţele interioare.

$$F = \frac{\hat{q}_i}{\widehat{q_{abs}}}\Big|_{\hat{\theta}_i=\widehat{\theta_e=0}} \tag{2.83}$$

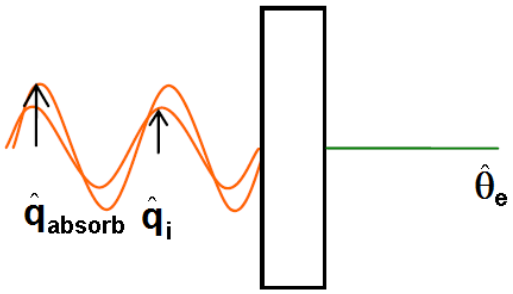


Figura 58. Caracteristicile factorului de suprafaţă. (EN ISO 13786, 2005)

- *defazajul factorului de suprafaţă ψ[h]*: este perioada de timp între momentul fluxului termic maxim care intră în suprafaţă şi momentul de flux termic maxim care este cedat de element spaţiului interior. Elementele cu capacitate termică ridicată au un efect de creştere a perioadei de timp şi implicit o scădere a factorului de suprafaţă, fiind constanţi pe grosimea elementului (materialului).

- *adâncimea de penetrare periodică δ [m]:* este adâncimea la care amplitudinea variaţiilor de temperatură sunt reduse cu un factor e (bazat pe logaritmi naturali, e=2,718...) într-un material omogen de grosime infinită supus la variaţii sinusoidale de temperatură pe suprafaţa aferentă

$$\delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}} \tag{2.84}$$

- *matricea de transfer termic:* realizează legătura între amplitudinile complexe de temperatură şi rata fluxului termic de pe o suprafaţă a componentei cu amplitudinile complexe de temperatură şi rata fluxurilor termice de pe cealaltă suprafaţă 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

$$\mathrm{Z}=\begin{pmatrix}Z_{11} & Z_{12}\\ Z_{21} & Z_{22}\end{pmatrix}=Z_N\cdot Z_{N-1}\cdot\ldots\cdot Z_3\cdot Z_2\cdot Z_1 \quad (2.86)$$

Z_1, $Z_{2,...}$ $Z_{i...}$ Z_N sunt matricele de transfer a straturilor elementului clădirii, începând de la stratul 1 (primul strat la faţa 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 matricelede transfer a straturilor de contur

$$Z_s=\begin{pmatrix}1 & -R_s\\ 0 & 1\end{pmatrix} \quad (2.89)$$

R_s este rezistenţă termică a stratului superficial de aer de contur, incluzând convecţia şi radiaţia

Orice componentă are ca şi caracteristici termice dinamice conductanţele termice periodice L_{mn} şi capacităţile calorice C_m.

În consecinţă admitanţele termice vor fi:

$Y_{11}=-\frac{Z_{11}}{Z_{12}}$ pentru suprafaţa interioară a componentei

$Y_{22}=-\frac{Z_{22}}{Z_{12}}$ pentru suprafaţa exterioară a componentei (2.90)

Astfel, conductantanţele 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 admitanţei Y_{mm} sau al conductanţei termice periodice L_{mm}:

$\Delta t_Y = \frac{T}{2\pi} \cdot \arg(Y_{mn})$, cu un argument evaluat între 0 şi 2π.

Dacă e pozitiv- timp de devansare, dacă e negativ – timp de întârziere.

În cazul structurilor uşoare cu capacitanţă termică scăzută, valoarea lui Y tinde spre valoarea lui U şi valoarea lui Δt_Y tinde spre zero. În cazul elementelor cu mai multe straturi, cei doi parametrii sunt în principal determinaţi de proprietăţile straturilor cel mai apropiate de suprafaţa interioară. In consecinţă, dacă se dispune un strat termoizolant pe suprafaţa interioară a elementului, admitanţa termică va fi puternic influenţată de acesta.

Din (2.81) rezultă formulele capacităţilor termice, respectiv:

$$C_1 = A \cdot \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{11}-1}{Z_{12}} \right|$$

$$C_2 = A \cdot \frac{T}{2\pi} \left| \frac{Z_{22}-1}{Z_{12}} \right| \quad (2.92)$$

unde A este aria componentei clădirii.

Transmitanţa termică periodică va fi dată de:

$$Y_{12} = -\frac{1}{Z_{12}} \quad (2.93)$$

şi factorul de amortizare de:

$f = \frac{|Y_{12}|}{U}$, unde întotdeauna f <1 (2.94)

U fiind transmitanţa termică calculată conform EN ISO 6946.

Timpul de schimb Δt_f [s] al transmitanţei termice periodice:

$\Delta t_f = \frac{T}{2\pi} \cdot \arg(Z_{12})$, cu un argument evaluat între - 2π şi 0

In 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 construcţie şi proprietăţile dinamice obţinute conform metodei admitanţelor. Acesta a evidenţiat legătura dintre factorul de amortizare şi masa elementelui pe unitate de suprafaţa, respectiv defazaj şi masa elementului pe unitate de suprafaţă. Conform studiului se observă că legătura nu este univocă având în vedere că pot exista diferenţe semnificative între valorile obţinute pentru factorul de amortizare în cazul aceleaşi valori a masei elementului de construcţie. De asemenea, şi în cazul defazajului s-a făcut aceaşi constatare având în vedere ca pentru aceaşi valoare a masei elementului pot corespunde diferite valori de defazaj.

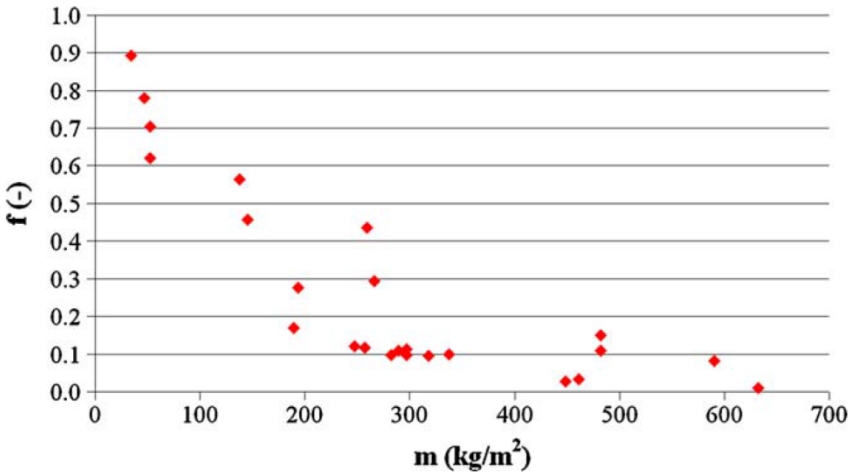


Figura 59. Factorul de amortizare f vs masa elementului pe unitate de suprafaţă pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009)

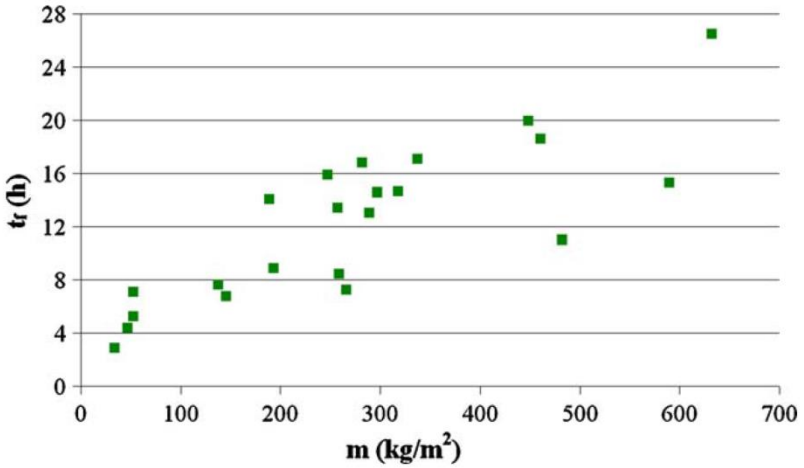


Figura 60. Defazajul Δt_f vs masa elementului pe unitate de suprafaţă pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009)

Anexa A a standardul 13786 precizează modul de aplicare a calculelor simplificate pentru stabilirea capacităţii termice în cazul unor componente plane. Aceste calcule se bazează pe adâncimea de penetrare a unul val de căldură calculat pentru materialul adiacent suprafeţei. Se recomandă utilizarea acestor calcule în cazul în care acurateţea calculelor este de importanţă secundară, de exemplu atunci când se cere o estimare aproximativă a inerţiei termice a unei zone termice. Nu se recomandă utilizarea acestor metode simplificate în cazul în care se doreşte stabilirea inerţiei termice a unui produs.

Capacitanţa termică a componentei este calculată în primul rând fără considerarea rezistenţei suprafeţei prin folosirea uneia dintre aproximările următoare:

i. *metoda aproximării cu strat subţire*: 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 $d < \frac{1}{2} \cdot \delta$, şi dacă stratul următor este un strat termoizolant, atunci primul strat se poate considera a fi izoterm şi capacitatea termică zonală a componentei pentru partea considerată este evaluată astfel:

$$\chi_m = d \cdot \rho \cdot c \qquad (2.95)$$

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 şi capacitatea termică zonală a componentei pentru partea considerată este evaluată astfel:

$$\chi_m \cong \frac{\delta \cdot \rho \cdot c}{\sqrt{2}} \qquad (2.96)$$

iii. *metoda grosimii efective*: această metodă foloseşte aproximările amintite la punctul i. şi ii., împreună cu o valoare convenţională a difuzivităţii termice a=0,7x10^{-6} [m^2/s].

Grosimea efectivă d_T a unei părţi a componentei este valoarea minimă a următoarelor:

- jumătate din grosimea totală a componentei;
- grosimea materialelor dintre suprafaţa de interes şi primul strat termoizolant, fără a lua în considerare straturile care nu fac parte din componentă;
- o grosime efectivă maximă, depinzând de perioada de variaţie, aşa cum e dată în tabelul de mai jos:

Perioada variaţilor	1 oră	1 zi	1 săptămână
Grosimea efectivă maximă	2 cm	10 cm	25 cm

Capacitatea termică zonală va fi calculată astfel:

$$\chi_m = \sum_i \rho_i \cdot d_i \cdot c_i \qquad (2.97)$$

cu $\sum_i d_i = d_T$

Capacitatea termică a componentei totale conţinută în zona termică considerată este calculată ca suma capacităţilor termice calculate pentru ambele suprafeţe ale componentei.

Metoda simplificată poate să supraestimeze capacitatea termică pentru anumite materiale, e.g. lemn sau beton aerat, şi poate genera rezultatea relativ diferite faţă de cele obţinute prin metoda de calcul descrisă în standard.

Capacitatea termică zonală echivalentă χ'_m a unei componente a clădirii incluzând rezistenţa superficială R_s, sau a unei componente de masă mare, acoperită de un strat de masă neglijabilă dar reprezentând o rezistenţă termica, R este evaluată după cum urmează:

$$\chi'_m = \sqrt{\frac{\chi_m^2}{1+\varpi^2 \cdot \chi_m^2 \cdot (R+R_s)^2}} \tag{2.98}$$

unde R_s este rezistenţa termică superficială şi χ_m capacitatea termică zonlă pentru stratul de capacitate mare.

Calculul caracteristicilor dinamice a componentelor non-plane, precum şi a componentelor care conţin punţi termice se va face prin rezolvarea ecuaţiilor de transfer termic în condiţii de contur periodice. In acest sens modelararea componentei se face conform criteriilor amintite în standarul EN ISO 10211 (EN ISO 10211, 2007) împreună cu metode numerice (e.g. metoda diferenţelor finite şi 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 şi de detaliile elementului de construcţie pentru care se efectuează calculul.

Procedura de calcul a caracteristicilor termice dinamice pentru elementele de construcţie alcătuite din straturi plane omogen se face conform punctului 6.2 din EN ISO 13786, unde se precizează că pentru acest tipuri de elemente efectul punţilor termice va fi neglijat, deoarece acestea nu afectează în mod semnificativ caracteristicile termice dinamice. Caracteristicile termice dinamice pentru un element al anvelopei clădirii sunt conductanţele termice periodice L_{mn} şi capacităţile termice C_m, împreună cu perioada T. Paşii de calcul sunt următorii:

1. se descrie elementul de construcţie şi se enumeră zonele cu care se află în contact
2. se indentifică materialele componente ale fiecărui strat a elementului de construcţie şi grosimea acestora, şi se stabilesc caracteristicile termice ale materialelor;
3. se vor numerota straturile componente începând cu suprafaţa 1 care va fi denumită în calcul. În cazul elementelor anvelopei clădirii suprafaţa 1 este stratul cel mai interior strat;
4. se calculează aria elementului de construcţie;
5. se specifică perioadele de variaţie de pe suprafaţă;
6. se calculează adâncimea de penetrare pentru materialul fiecărui strat;
7. se stabilesc elementele matricei de transfer pentru fiecare strat;

8. se înmulţesc matricele de transfer ale straturilor componente, excluzând straturile de contur, într-o ordine corectă pentru a se obţine matricea de transfer a elementului de construcţie
9. se calculează cele 2 admitanţe termice, factorul de amortizare şi transmitanţa termică.

În cazul elementelor de construcţie ale anvelopei clădirii care pot fi dispuse spre mediul exterior cu oricare dintre cele 2 suprafeţe, se va calcula si 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. REŢELE TERMICE ECHIVALENTE LA CLĂDIRI

Aşa cum este prezentat în literatura de specialitate, ***analogia termo-electrică*** este utilă în analiza mai multor probleme de transfer termic de la măsurarea proprietăţilor şi până la modelare. In cazul modelării, o analiză de transfer termic complicată poate să fie simplificată prin crearea unui „circuit electric" ca şi model pentru problema în cauză. Există o analogie clară între fluxul electric şi fluxul termic, aşa 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
Diferenţă de potenţial	ΔV	V	Diferenţă de temperatură	ΔT	K
Rezistenţă electrică	R	Ω	Rezistenţă termică	R_t	K/W
Capacitate electrică	C	F	Capacitate termică	C	J/K

Standardele EN ISO 13790 şi EN ISO 13792 descriu modul în care reţeaua termică este folosită la descrierea unei clădiri, în vederea calculării evoluţiei termperaturii operative în interiorul spaţiilor clădirii în cazul încălzirii cu intermitenţă sau în perioada verii. În acest sens clădirea se modelează cu ajutorul a 3 noduri, noduri reprezentative pentru mediile interioare şi pentru mediul exterior şi pentru temperatura structurii. Inerţia termică a clădirii este reprezentată printr-o capacitate a cărei temperatură este cea a structurii. În consecinţă, schimburile de căldură care au loc între mediul interior şi exterior, structură şi mediul interior, precum şi structură şi

mediul exterior, sunt luate separat în calcul. De asemenea se realizează o separare a contribuţiei regimului staţionar faţă de contribuţia regimului variabil. Această separare este pusă în evidenţă prin parametrii de transfer de căldură armonici predeterminaţi, prin metoda admitanţei. (EN ISO 13792, 2005).

Elementele anvelopei clădirii se vor împărţi în componente exterioare uşoare, componenete exterioare opace masive, componente transparente şi componete interioare. Pentru fiecare tip de componentă se vor defini mai mulţi parametrii, cum ar fi: coeficient de transmisie termică U, factorul solar S_f, intensitatea radiaţiei solare l_{sr}, aria A, capacitate termică raportată la suprafaţă C, şi altele.

Conoform standardului EN ISO 13786, capacitatea termică a structurii C_m pentru o perioadă de variaţie de 24 h se va determina pe baza relaţiei de calcul:

$$C_m = \sum_{i=1}^{c} A_i \cdot C_i \qquad (2.99)$$

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 admitanţelor se vor defini parametrii termofizici ai componentelor anvelopei clădirii, după cum urmează:

- parametrii de transfer de căldură:
  - pentru pereţi exteriori: coeficientul de transmisie termică, amortizarea F_a şi defazarea φ, factorul de suprafaţă F_s şi admitanţa Y_e;
  - pentru pereţi interiori: factorul de suprafaţă F_s şi admitanţa Y_i;
- parametrii solari:
  - pentru componente opace: factorul solar S_f şi factorul de însorire datorat obstacolelor exterioare f_s
  - pentru componente transparente: coeficient de transmisie a radiaţiei solare directe S_{f1}, factor de transfer termic secundar către interior S_{f2}, factor de transfer termic terţiar S_{f3} şi factorul de însorire f_s

Se definesc valorile rezistenţelor superficiale care se iau în calcul, respectiv R_{se}= 0,075 $m^2 \cdot K$ /W pentru suprafaţa exterioară a componentei exterioare şi R_{si} = 0,22 $m^2 \cdot K$ /W pentru suprafaţa interioară a componentei exterioare şi a componentei interioare. Se trece apoi la calculul factorului de amortizare, a factorului de suprafaţa şi a admitanţei conform definiţiilor şi matricilor Z amintite la sub-capitolul 4.2.

După aflarea valorilor amintite, se va trece la calculul tempraturii aerului interior la un moment dat „t", aplicând următoarea relaţie 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 radiaţiei 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 şi f_r factori de corecţie

Y_T este admitanţa totală a anvelopei clădirii în [W/K],

$Y_T = \sum_{j=1}^{n}(Y_j \cdot A_j)$ unde n este numărul elementelor anvelopei clădirii

H_T este coeficientul de transfer termic total al anvelopei în [W/K]':

$H_T = \sum_{j=1}^{d}(U_j \cdot A_j)$ unde d este numărul componenetelor exterioare

$\theta_{ai,m}$ este valoarea medie zilnică a temperaturii aerului interior în ^oC,

$$\theta_{am} = \frac{\sum_1^{24}\left(\frac{\phi_{T,t}}{Y_T+cm_t}\right)}{24-(Y_T-H_T)\cdot\sum_1^{24}\left(\frac{1}{Y_T+cm_t}\right)}$$

c este căldura specifică a aerului de ventilare (1000 J/kg),

m este debitul masic în kg/s.

Temperatura medie radiantă, mediată pe toate suprafeţele componentelor la un timp oarecare „t" se va calcula aplicând relaţia 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

In 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 NESTAŢIONAR

4.4.1. Transferul undirecţional în regim termic nestaţionar

Unul dintre programe dezvoltat la Facultatea de Construcţii, în cadrul colectivului de Fizica Construcţiilor este programul „RENESTL" (1982-2014) care permite analiza comparativă a structurilor elementelor de închidere sub raportul inerţiei termice, a defazajului, a capacităţii de izolare termică şi a existenţei riscului de condens pe suprafaţa interioară a acestora. Elaborarea programului a început în luna mai a anului 1981 şi actualizarea acestuia este realizată încontinuu pe baza prescripţiilor standardelor în vigoare. Condiţiile de contur, temperatura interioară θ_i şi temperatura exterioară θ_e sunt acceptate ca variind după legi simple sinusoidale, complexe polinomiale sau prin valori discrete.

Numărul de paşi a reţelei de discretizare şi numărul condiţiilor de contur, este nelimitat. Discretizarea modelului geometric unidirecţional se efectuează în mod automat de către programul de calcul, rezultând reţeaua unidirecţională de discretizare. Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al reţelei de calcul. Aceasta este efectuată de către program în mod automat, până când este satisfăcută condiţia că între fluxurile pe suprafeţele interioare şi exterioare ale elementului să existe o diferenţă sub 0.01W, iar în nodurile fiecărei reţele unidirecţionale de calcul să rezultă diferenţe sub 0.000001 W, condiţie superioară celei prevăzute în standardul EN ISO 10211-1:1995 (EN ISO 10211-1, 1995), punctul A.2.e.

Pentru cazul regimului termic nestaţionar pe baza câmpului unidirecţional de temperatură (1D) cu luarea în considerare a variaţiei conductivităţii termice în funcţie de temperatură, se va aplica următoarea ecuaţie:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(x)\cdot\frac{\partial\theta(x)}{\partial x}\right]=c\cdot\rho\cdot\frac{\partial\theta}{\partial t} \qquad (2.103)$$

unde:

λ este conductivitatea termică a materialului în [W/m·K] la temperatura $\theta=0^oC$

θ este temperatura într-un punct al elementului care este funcţie de poziţie şi timp $\theta = \theta(x,t)$

t este timpul de calcul

ρ este densitatea medie a corpului în [kg/m^3]

c este căldura specifică a corpului în [J/kg·K]

Pentru rezolvarea numerică a ecuaţiei diferenţiale cu derivate parţiale (2.103) se trec la relaţii corespunzătoare în diferenţe finite. In vederea aplicării acestor relaţii elementul se discretizează în

fâşii elementare perpendiculare pe fluxul termic cu ajutorul unor reţele de drepte paralele cu axa OI situate la distanţe H(I).

Pentru ilustrarea acestei metode numerice se transformă ecuaţia diferenţială (2.99) în ecuaţii cu creşteri finite variabile. In aces scop, se consideră cunoscută repartiţia iniţială a temperaturii la un moment dat marcat prin timpul t şi trebuie determinată variaţia acesteia în timp, respectiv la timpul t+Δt.

Deducerea relaţiilor pentru determinarea stării de temperatură în sectiuni plane în interiorul şi pe suprafaţa elementelor de construcţie cu structura neomogenă s-a realizat plecând de la principiul de bază al regimului termic nestaţionar în care la propagarea fluxului termic prin elementele de construcţie este posibilă acumularea de energie termică. (Moga I. , 1987)

Pentru rezolvarea numerică a câmpului unidirecţional de temperatură cu conductivităţi termice variabile, elementul a fost discretizat cu reţele paralele cu suprafaţa elementului, cu paşi de discretizare Δx variabili sau constanţi. Elementele de construcţie se consideră ca având structura cu o alcătuire ca în figura de mai jos, în care:

În punctul de coordonate (i) bilanţul termic poate fi scris ca suma fluxurilor elementare de căldură care converg spre acest nod din nodurile învecinate (i-1,i+1) şi care pentru regimul termic staţionar are valoarea 0. Acest lucru înseamnă că pentru fiecare pas de calcul, după determinarea temperaturilor în nodurile reţelei de discretizare, se rescriu ecuaţiile de echilibru energetic cu noile valori ale conductivităţii termice rezultate.

a) *Câmpul de temperatură plan în regim termic nestaţionar într-o zonă interioară a domeniului studiat.*

$\Delta x_1 \neq \Delta x_2$

$\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \neq \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2$

Notaţii: $\theta_{x,y} = \theta_o$

$\theta_{x-\Delta x1} = \theta_1$

$\theta_{x+\Delta x2} = \theta_2$

Fluxul de căldură elementar ΔQ necesar pentru ridicarea temperaturii fâşiei elementare $\Delta L = \sum_{i=1}^{2} L_{i-0}$ din jurul nodului „0 cu ” $\partial\theta = \left(\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^{t}\right)$ grade în intervalul elementar de timp Δt este proporţional cu capacitatea calorică a fâşiei elementare care se poate exprima cu ajutorul relaţiei:

$$\Delta Q = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta L \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) \cdot \Delta t \cdot \tag{2.104}$$

unde:

$(\rho \cdot c)_{med} = \frac{\rho_1 \cdot c_1 \cdot \Delta x_1 + \rho_2 \cdot c_2 \cdot \Delta x_2}{(\Delta x_1 + \Delta x_2)} \cdot$ (2.105) adică o ponderare a mărimilor $\rho_i \cdot c_i$ cu fâşiile ΔL_i.

Trecând de la diferenţe finite relaţia (2.104) devine:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta L \cdot \frac{\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t}{\Delta t} \cdot \tag{2.106}$$

unde:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{\Delta x_1}{2} + \frac{\Delta x_2}{2} \tag{2.107}$$

în punctul de coordonate „x” bilanţul termic mai poate fi scris ca sumă a fluxurilor elementare de căldură care converg spre acest nod din nodurile învecinate în timpul Δt, adică:

$$\Delta Q(x) = \sum_{i=1}^{2} Q_{i-0} \cdot \Delta t \quad \text{sau} \qquad \frac{\Delta Q(x)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^{2} Q_{i-0} \tag{2.108}$$

Suma fluxurilor care converg spre nodul „0”este dată de relaţia:

$$\sum_{i=1}^{2} Q_{i-0} = \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot \left(\theta_1^t - \theta_0^t\right) + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \cdot \left(\theta_2^t - \theta_0^t\right) \tag{2.109}$$

Egalând cantităţile de căldură acumulate $\frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot$exprimate prin relaţiile (2.106) şi (2.109) , după operaţii aritmetice elementare, obţinem temperatura în noul „0” decoordonate (x) la timpul t+ Δt în funcţie de temperatura în punctele 1 şi 2 la timpul t:

$$\theta_0^{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2)} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \theta_1^t + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \theta_2^t\right) + \theta_0^t \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2)}\right] \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2}\right) \tag{2.110}$$

Soluţia numerică a sistemului de ecuaţii în forma (2.110) este convergentă dacă intervalul de timp Δt respectă condiţia:

$$\Delta \theta < \frac{0{,}50 \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\rho \cdot c)_{med}}{\frac{\lambda_1}{\Delta x_1} + \frac{\lambda_2}{\Delta x_2}} \tag{2.111}$$

Variaţia temperaturii într-un nod aflat pe suprafaţa elementului de construcţie (fig 60) se poate deduce aplicând acelaş raţionament ca mai sus privind bilanţul termic, dar ţinând seama de schimbul de căldură prin mediul înconjurător şi restrângerea domeniului ca grosime pe 2-0.

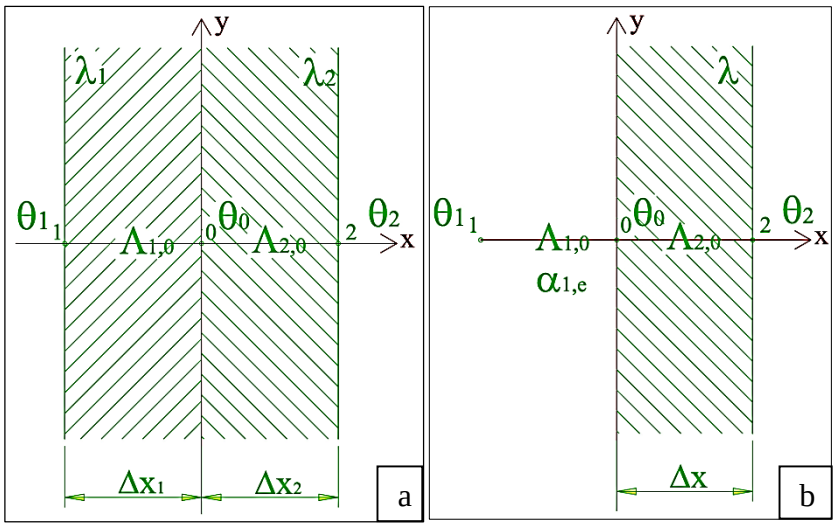


Figura 61. Discretizarea elementului de calcul, cazul a.) si b.) (Moga I. , 1987)

b) Câmpul de temperatură unidirecţional nestaţionar într-un nod la suprafaţa domeniului studiat

Notaţii: $\theta_{x,y}= \theta_o$

$\theta_{x-\Delta x1}= \theta_1$

$\theta_{x+\Delta x2}= \theta_2$

Ca urmare pentru bilanţul termic la suprafaţa elementului de construcţie se va scrie următoarea ecuaţie:

$$\frac{\Delta x_1}{2}\cdot\frac{\theta_0^{t+\Delta t}-\theta_0^t}{\Delta t}\cdot(\rho_1\cdot c_1)=\cdot\frac{\lambda_1}{\Delta x_1}\cdot\left(\theta_1^t-\theta_0^t\right)+\alpha\cdot\left(\theta_2^t-\theta_0^t\right) \qquad (2.112)$$

în care:

α este fie α_i sau α_e în funcţie de mediul din care se face transferul termic (interior, respectiv exterior)

θ_2^t este temperature interioară θ_i^t sau exterioară θ_e^t în funcţie de mediul din care se face transferul termic spre nodul „0”

Din egalitatea (2.112) se poate determina temperatura prin aplicarea următoarei relaţii:

$$\theta_0^{t+\Delta t}=\frac{2\cdot\Delta t}{(\rho_1\cdot c_1)\cdot\Delta x_1}\cdot\left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1}\cdot\theta_1^t+\alpha\cdot\theta_2^t\right)+\theta_0^t\cdot\left[1-\frac{2\cdot\Delta t}{(\rho_1\cdot c_1)\cdot\Delta x_1}\right]\cdot\left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1}+\alpha\right) \qquad (2.113)$$

Condiţia de convergenţă a metodei în acest caz se exprimă prin relaţia:

$$\Delta\theta<\frac{\Delta x_1\cdot(\rho_1\cdot c_1)}{2\cdot\left(\frac{\lambda_1}{\Delta x_1}+\alpha\right)} \qquad (2.114)$$

4.4.2. Transferul plan în regim termic nestaţionar

In vederea efectuătii calculului transferului plan de căldură în regim termic nestaţionar s-a folosit program "RENESTP" (RENESTP, 1983-2014) program dezvoltat în cadrul colectivului de Fizica Construcţiilor, Facultatea de Construcţii, pentru calculul şi analiza câmpului plan de temperatură în regim termic nestaţionar pentru elemente de închidere cu structură complexă

Pentru determinarea coeficienţiilor de cuplaj termic bidimensionali L^{2D} utilizaţi pentru calculul transmitanţei termice U şi pentru determinarea coeficientului de transfer termic liniar ψ este necesară rezolvarea câmpului plan de temperatură în regim termic nestaţionar pentru secţiuni complexe cu conductivităţi termice variabile, în funcţie de temperatura stratului.

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(x,y)\cdot\frac{\partial\theta(x,y)}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(x,y)\cdot\frac{\partial\theta(x,y)}{\partial y}\right]=c\cdot\rho\cdot\frac{\partial\theta}{\partial t} \qquad (2.115)$$

în care:

θ este temperatura în nodul de coordonate (x,y)

λ(x,y) este conductivitatea termică a materialelor din secţiune în [W/(m·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·K]

Pentru rezolvarea numerică a ecuaţiei diferenţiale cu derivate parţiale de ordinul 2 mai sus amintită, modelul geometric, cuprins între planurile de decupaj orizontale şi verticale, s-a împărţit cu ajutorul unor axe de secţionare paralele cu axele sitemului plan cartezian, cu paşi de discretizare Δx şi Δy, formând reţeaua ortogonală de calcul a câmpului plan de temperatură. Reţeaua de calcul s-a luat cu paşi cuprinsi între 1 şi maxim 10 mm pe toate direcţiile. 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 suprafeţe adiabatice.

Plecându-se de la acelaş principiu ca cel prezentat în cadrul calculului unidirecţional, s-au determinat stările de temperatură în secţiuni plane în interiorul şi pe suprafaţa elementelor de construcţie cu structură neomogenă**.**

a) *Calculul temperaturii într-un nod în interiorul domeniului:*

$\Delta x_1 \neq \Delta x_1 \neq \Delta y_1 \neq \Delta y_1$

$\lambda_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \neq \lambda_2 \cdot c_2 \cdot \rho_2 \neq \lambda_3\ c_3 \cdot \rho_3 \neq \lambda_4\ c_4 \cdot \rho_4$

Notaţii: $\theta_{x,y}= \theta_o$

$\theta_{x-\Delta x1,y}= \theta_1$ $\theta_{x,y-\Delta y1}= \theta_3$

$\theta_{x+\Delta x2,y}= \theta_2$ $\theta_{x,y+\Delta y2}= \theta_4$

Fluxul de căldură elementar ΔQ necesar pentru ridicarea temperaturii suprafeţei elementare $\Delta S = \sum_{i=1}^{4} S_i$ din jurul nodului „0 cu " $\partial\theta = \left(\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t\right)$ grade în intervalul elementar de timp Δt este proporţional cu capacitatea calorică a suprafeţei elementare care se poate exprima cu ajutorul relaţiei:

$$\Delta Q = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta S \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) \cdot \Delta t \cdot \tag{2.116}$$

unde:

$$(\rho \cdot c)_{med} = \frac{\rho_1 \cdot c_1 \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta y_2 + \rho_2 \cdot c_2 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta y_2 + \rho_3 \cdot c_3 \cdot \Delta x_2 \cdot \Delta y_1 + \rho_4 \cdot c_4 \cdot \Delta x_1 \cdot \Delta y_1}{(\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2)} . \tag{2.117}$$

adică o ponderare a mărimilor $\rho_i \cdot c_i$ cu suprafeţele ΔS_i.

Trecând de la diferenţe finite relaţia (2.116) devine:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (\rho \cdot c)_{med} \cdot \Delta S \cdot \frac{\theta_0^{t+\Delta t} - \theta_0^t}{\Delta t} \cdot \tag{2.118}$$

unde:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} \cdot \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{2} \tag{2.119}$$

În punctul de coordonate (x,y) bilanţul termic poate fi scris ca sumă a fluxurilor elementare de căldura care converg spre acest nod din nodurile învecinate şi care are valoarea 0.

$$\Delta Q(x, y) = \sum_{i=1}^{4} Q_{i-0} \cdot \Delta t \text{ sau } \quad \frac{\Delta Q(x)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^{4} Q_{i-0} \tag{2.120}$$

Suma fluxurilor care converg spre nodul "0" este scrisă:

$$\sum_{i=1}^{4} Q_{i-o} = \frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} \cdot \left(\theta_1^t - \theta_0^t\right) + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} \cdot \left(\theta_2^t - \theta_0^t\right) + \frac{\lambda_4 \cdot \Delta x_1 + \lambda_3 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_1} \cdot \left(\theta_3^t - \theta_0^t\right) +$$

$$+ \frac{\lambda_1 \cdot \Delta x_1 + \lambda_2 \cdot \Delta x_2}{2 \cdot \Delta y_2} \cdot \left(\theta_4^t - \theta_0^t\right) \tag{2.121}$$

După operaţiile aritmetice elementare, obţinem temperatura în nodul "0" de coordonate (x,y) la timpul „t+ Δt", în funcţie de temperatura în punctele 1, 2, 3, 4 la timpul „t" (vezi fig. 61)

$$\theta_0^{t+\Delta t} = \frac{4 \cdot \Delta t}{(\rho \cdot c)_{med} \cdot (\Delta x_1 + \Delta x_2) \cdot (\Delta y_1 + \Delta y_2)} \cdot \left(\frac{\lambda_1 \cdot \Delta y_2 + \lambda_4 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_1} \cdot \theta_1^t + \frac{\lambda_2 \cdot \Delta y_2 + \lambda_3 \cdot \Delta y_1}{2 \cdot \Delta x_2} \cdot \theta_2^t + \right.$$

$$+\frac{\lambda_4\cdot\Delta x_1+\lambda_3\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_1}\cdot\theta_3^t+\frac{\lambda_1\cdot\Delta x_1+\lambda_2\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_2}\cdot\theta_4^t\Bigg)+\theta_0^t\cdot\Bigg[1-\frac{4\cdot\Delta t}{(\rho\cdot c)_{med}\cdot(\Delta x_1+\Delta x_2)\cdot(\Delta y_1+\Delta y_2)}\cdot$$

$$\cdot\left(\frac{\lambda_1\cdot\Delta y_2+\lambda_4\cdot\Delta y_1}{2\cdot\Delta x_1}+\frac{\lambda_2\cdot\Delta y_2+\lambda_3\cdot\Delta y_1}{2\cdot\Delta x_2}+\frac{\lambda_4\cdot\Delta x_1+\lambda_3\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_1}+\frac{\lambda_1\cdot\Delta x_1+\lambda_2\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_2}\right)\Bigg] \qquad (2.122)$$

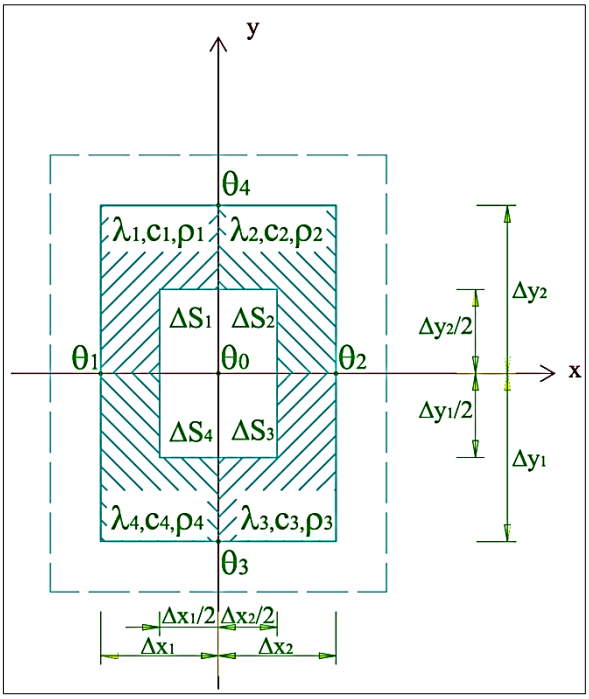


Figura 62. Câmpul de temperatură plan în regim termic staţionar într-o zonă interioară a domeniului studiat (Moga I. , 1987)

Soluţia numerică a sistemului de ecuaţii în forma (2.122) este convergentă dacă intervalul de timp Δt respectă condiţia:

$$\Delta\theta<\frac{0{,}25\cdot(\Delta x_1+\Delta x_2)\cdot(\Delta y_1+\Delta y_2)\cdot(\rho\cdot c)_{med}}{\frac{\lambda_1\cdot\Delta y_2+\lambda_4\cdot\Delta y_1}{2\cdot\Delta x_1}+\frac{\lambda_2\cdot\Delta y_2+\lambda_3\cdot\Delta y_1}{2\cdot\Delta x_2}+\frac{\lambda_4\cdot\Delta x_1+\lambda_3\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_1}+\frac{\lambda_1\cdot\Delta x_1+\lambda_2\cdot\Delta x_2}{2\cdot\Delta y_2}} \qquad (2.123)$$

b) Rezolvarea sistemului de ecuaţii de echilibru energetic 2D- condiţii de convergenţă

Sistemul de ecuaţii de echilibru energetic, scris în mod automat de către program, cuprinde un număr ridicat de noduri, peste 10000. de noduri, şi se rezolvă prin metode iterative de calcul.

Condiţiile de convergenţă a rezultatelor obţinute în urma rezolvării sistemului de ecuaţii sunt:

- echilibrul energetic al fluxurilor termice în fiecare nod **j** al reţelei de calcul**,** aflat în interiorul elementului sau pe suprafaţa acestuia**, $\Sigma\Phi_j=0$;**

- echilibrul energetic al fluxurilor termice de pe faţa interioară cu cele de pe faţa exterioară a elementului $\Phi_{si}=\Phi_{se}$.

Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al reţelei de calcul. Aceasta este efectuată de către program în mod automat, până când este satisfăcută condiţia că între fluxurile pe suprafeţele interioare şi exterioare ale ansamblului fereastră-perete să existe o diferenţă sub 0.01W. Iar în nodurile fiecărei reţele unidirecţionale de calcul să rezultă diferenţe sub 0.000001 W, condiţie superioară celei prevăzute în EN ISO 10211-1:1995,pct.A.2.e.).

4.5. METODOLOGIE DE CALCUL A TEMPERATURII INTERIOARE A UNEI INCĂPERI

In vederea efectuării unui calcul dinamic pentru stabilirea performanţei termice a clădirii, este nevoie de calcularea temperaturii interioare a spaţiilor clădirii coform cerinţelor amintite în standarul european EN ISO 13791 (EN ISO 13791, 2006) şi EN ISO 13792 (EN ISO 13792, 2005), în care se recomandă abordarea periodică ca o metodă de calcul a temperaturii spaţiului fără sisteme de răcire mecanică, în perioada verii.

Prin utilizarea prescripţiilor acestor standarde se obţine răspunsul clădirii la variaţia 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 spaţiu:

- încăperea este considerată un spaţiu închis care este delimitat de elemente de închidere alcătuite din materiale cu proprietăţile termofizice constante;
- temperatura aerului este uniform distribuită în întreaga încăpere;
- suprafeţele elementelor de închidere sunt izoterme iar dimensiunile fiecărui component se măsoară la partea interioară a fiecărui element de închidere;
- efectul punţilor termice asupra transferului de căldură este neglijat;
- fenomenul de conducţie termică prin fiecare element de închidere este considerat unidimensional;
- fenomenul de conducţie termică prin elementele incăperii spre sol, se consideră în calcul printr-un flux termic unidimensional echivalent, calculat conform EN ISO 13370;
- în cazul fenomenului de convecţie termică se vor considera în calcul următorii coeficienţii de transfer termic convectiv:

  - la suprafaţa exterioară depind de viteza şi direcţia vântului;
  - la suprafaţa interioară depind de direcţia fluxului termic.
- fluxul termic prin radiaţie de undă lungă pe suprafeţele exterioare ale încăperii este legat de un coeficient de transfer termic independent de timp;
- distribuţia radiaţiei solare la nivelul suprafeţelor interioare ale încăperii nu depinde de timp;
- temperatura medie radiantă se calculează ca o medie a temperaturilor radiante ale fiecărei suprafeţe interioare ponderată cu suprafaţa;
- mediul radiant exterior (exceptând bolta cerească) este la temperatura aerului exterior;
- temperatura operativă se calculează ca valoare medie aritmetică a temperaturii aerului interior şi temperatura superficială medie;

Se vor indentifica elementele care constituie anvelopa clădirii şi se vor menţiona condiţiile de contur atât pentru mediul interior cât şi pentru mediul exterior, după cum urmează:

a. mediul interior :
  - temperatura aerului;
  - temperatura medie radiantă;
  - radiaţia solară absorbită de suprafaţă.

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 radiaţiei solare pentru fiecare orientare;
  - temperatura bolţii cereşti;
  - temperatura aerului pentru zonele adiacente care nu pot fi considerate la aceleaşi condiţii de temperatură ca încăperea examinată.

Se va trece la calculul temperaturilor relevante ale spaţiilor încălzite. La calculul *temperaturii aerului interior a unei încăperi* $\theta_{a,i}$ se va aplica relaţia (2.119) în care fluxurile termice către aerul din încăpere sunt considerate pozitive:

$$\sum_{j=1}^{N}\left(Aq_{c,i}\right)_j + \phi_V + \phi_{Vi,c} + \phi_{sa} + \phi_{Va} = c_a \cdot m_{a,i} \cdot \frac{\partial \theta_{a,i}}{\partial t} \qquad (2.124)$$

în care

N este numărul de suprafeţe interioare care delimitează aerul interior;

A este aria fiecărui element de construcţie;

$q_{c,i}$ este densitatea fluxului termic prin convecţie:

$$q_c = h_c \cdot (\theta_s - \theta_a)$$

h_c este coeficientul de transfer termic convectiv al suprafeţei,

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 şi/sau forţată,

$\theta_{l,l}$ este temperatura aerului care intră, depinzând de provenineţa sa

$\theta_{a,j}$ este temperatura aerului interior.

$\Phi_{l,c}$ este partea fluxului termic convectiv datorită surselor interioare, adică iluminat, echipamente şi ocupanţi:

Φ_{sa} este fluxul termic al aerului datorat aporturilor solare prin suprafeţele 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 fracţiunea de căldură solară care pătrunde în încăpere prin vitraj, transferată imediat aerului interior. Această fracţiune depinde de cantitatea de elemente interioare cu capacitate termică foarte scăzută cum sunt: covoarele şi mobila, fiind independent de timp.

f_{sl} este factorul de pierderi (reducere) solare ale încăperii, fiind fracţiunea de radiaţie solară care pătrunde în încăpere, reflectată către spaţiul exterior. Acesta depinde de caracteristicile geometrice şi de proprietăţile solare ale vitrajului, de expunerea vitrajului, de direcţia soarelui, de geometria încăperii şi de culoarea suprafeţelor, fiind independent de timp.

$\phi_{sr,D}$ este fluxul termic datorat componentei directe a radiaţiei solare care pătrunde în încăpere:

$$\phi_{sr,D} = \sum_{j=l}^{J} (I_D \cdot \tau_D \cdot A_s)_j$$

$\phi_{sr,d}$ este fluxul termic datorat componentei difuze a radiaţiei solare care pătrunde în încăpere;

$$\phi_{sr,d} = \sum_{j=l}^{J} (I_d \cdot \tau_d \cdot A)_j$$

J este numărul de elemente vitrate,

I_D este componenta directă a radiaţiei solare care ajunge la suprafaţa exterioară sistemului „j”,

I_d este componenta difuză a radiaţiei solare care ajunge la suprafaţa exterioară vitrajului „j”,

τ_D este transmitanţa solară directă a vitrajului (calculată cf. EN 410),

τ_d este transmitanţa solară difuză a vitrajului (calculată cf. EN 410),

A_s este suprafaţa însorită a vitrajului,

A este aria vitrajului;

Φ_{va} este fluxul termic datorat aerului care pătrunde în încăpere prin straturile de aer din elementele de construcţie 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

In calcule se admite simplificarea dată prin faptul că partea dreaptă a ecuaţiei (2.124) poate fi considerată egală cu zero datorită valorii foarte mici a termenului (c_a . $m_{a,l}$)

Pentru calculul *temperaturii superficiale interioare a unui element* oarecare j, se va aplica relaţia de calcul (2.125) în care fluxurile termice către suprafaţa interioară, cu excepţia lui $q_{c,i}$, sunt considerate pozitive:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} + \frac{\phi_{i,r}}{\sum_{j=1}^{N} A_j} = 0 \qquad (2.125)$$

în care

q_{lr} este densitatea fluxului termic datorat schimburilor prin radiaţie de undă lungă cu alte suprafeţe interioare:

$$q_{l,r} = \sum_{k=1}^{N} \left(F_{j,k} \cdot J_{lr,k}\right) - J_{lr,j}$$

N este numărul de suprafeţe care delimitează mediul;

$F_{j,k}$ este factorul de formă de la suprafaţa j la suprafaţa k;

$J_{lr,j}$ este radiozitatea de undă lungă a suprafeţei *j*, dată de densitatea totală a fluxului termic emis şi reflectat de acestă suprafaţă, toate suprafeţele fiind considerate aici corpuri gri.

$$Jl_{r,j} = \rho_j \cdot \sum_{k=1}^{N} \left(F_{j,k} \cdot J_{lr,k}\right) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_j^4$$

ρ este reflectanţa radiativă de undă lungă,

ε este emitanţa radiativă de undă lungă,

σ este constanta Stefan-Boltzmann;

$J_{lr,k}$ este radiozitatea de undă lungă a suprafeţei *k*;

$F_{j,k}$ este valoarea medie, pe suprafaţa *j*, a unui unghi solid pentru care suprafaţa *k* este văzută pornind de la un punct al suprafeţei *j*, împărţită la 2π;

q_{sr} este densitatea fluxului termic conductiv:

$$q_{sr,i} = (1 - f_{sa}) \cdot (1 - f_{sl}) \cdot \left(\phi_{sr,D} + \phi_{sr,d}\right) \cdot f_d$$

f_d este factorul de distribuţie a radiaţiei solare pe suprafaţă interioară a elementului, fiind cantitatea de radiaţie solară absorbită direct pe arie, de diferite suprafeţe interioare ale peretelui, plafonului, pardoselii etc. Depinde de direcţia soarelui, de dimensiunile geometrice ale vitrajului şi încăperii, de reflectanţa de undă scurtă a elementelor şi mobilierului, fiind independent de timp.

q_c este densitatea fluxului termic emis către aerul unei încăperi prin convecţie:

$$q_c = h_c \cdot (\theta_s - \theta_a)$$

h_c este coeficientul de transfer termic prin convecţie al suprafeţei. La suprafaţa exterioară s eva aplica următoarea formulă:

$$h_{c,e} = 4 + 4 \cdot v$$

v este viteza vântului în apropierea suprafeţei, care depinde de datele climatice ale localităţii şi de caracteristicile anvelopei

$h_{c,i}$ se vor folosi următoarele valori interioare (cf EN ISO 6946):

- perete vertical: h_{ci}=2,5 W/(m^2·K)
- flux termic ascendent: h_{ci}=5,0 W/(m^2·K)
- flux termic descendent: h_{ci}=0,7 W/(m^2·K)

θ_a temperatura aerului va fi pentru suprafeţele interioare-temperatura aerului încăperii, iar pentru suprafeţele exterioare:

- pt perete exterior, acoperiş: temperatura a aerului exterior

- pt perete despărţitor, tavan şi acoperiş pentru încăpere similară; temperatura aerului interior

- pt perete despărţitor, tavan şi acoperiş pentru încăpere adiacentă cu condiţii diferite: temperatura aerului încăperii adiacente

- pt placa pe sol: temperatură a aerului exterior, medie lunară

- pt planşeu peste subsol: temperatura subsolului

q_{cd} este densitatea fluxului termic emis către aerul unei încăperi prin conducţie :

$$q_n = -\lambda(\frac{\partial\theta}{\partial n})$$

Algoritmul din EN ISO 13786, EN ISO 13791 şi EN ISO 13792 şi normativul românesc C107/4 are la baza ecuaţia de transfer termic nestaţionar undirecţional: $\lambda(\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}) + g = c\rho\frac{\partial\theta}{\partial t}$

$\Phi_{i,r}$ este fluxul termic datorită componentei radiative a aporturilor interne, considerată în calcul ca fiind repartizată uniform pe toate suprafeţele interioare opace şi vitrate care delimitează încăperea;

A este aria unui element j al încăperii;

N este numărul de suprafeţe care delimitează aerul interior;

Calculul *temperaturii pe suprafaţa exterioară a unui element al încăperii* se va face astfel:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0 \qquad (2.126)$$

în care

q_{lr} este densitatea fluxului termic prin radiaţie de undă lungă pe suprafaţa 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 radiaţie de lungă durată:

$$h_{lr,e} = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2}\right)^3$$

ε este este emisivitatea de undă lungă a suprafeţei,

σ este constanta Stefan-Boltzmann,

$T_{a,e}$ este temperatura aerului exterior, unde T=θ+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 corecţie care ţine seama de schimburile de radiaţii de undă lungă de la element către cer:

$$q_{sk} = F_{sk} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2}\right)^3 \cdot \left(T_{a,e} - T_{s,k}\right)$$

F_{sk} este factorul de formă de la element către cer (unghiul solid împărţit la 2π),

$T_{a,e}$ este temperatura aerului exterior,

$T_{s,k}$ este temperatura cerului.

q_{sr} este densitatea fluxului termic datorită radiaţiei de undă scurtă absorbită de suprafaţă:

$$q_{sr,e} = \alpha_{sr} \cdot (f_s \cdot I_D + I_d)$$

α_{sr} este absorbtanţa solară, valorile depinzând de caracteristicile suprafeţei exterioare a elementului. Se pot folosi următoarele culori în cazul în care nu sunt disponibile valori specifice:

- pentru coloare deschisă α_{sr}=0,3
- pentru culoare medie α_{sr}=0,6
- pentru culoare închisă α_{sr}=0,9 .

f_s este factorul de însorire,

$f_s = \frac{A_s}{A}$, A_s este suprafaţă însorită a peretelui.

I_D este componenta directă a radiaţiei solare care ajunge la suprafaţă;

I_d este componenta difuză a radiaţiei solare care ajunge la suprafaţă;

q_c este densitatea fluxului termic prin convecţie cu aerul;

q_{cd} este densitatea fluxului termic conductiv .

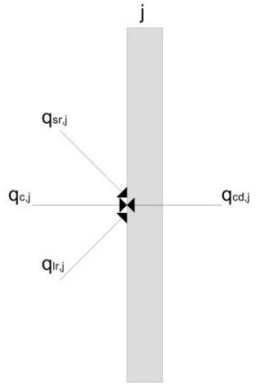


Figura 63. Suprafaţa exterioară a unui element studiat (EN ISO 13791, 2006)

În ceea ce privesc temperaturile relevante pentru elementele de construcţie ale anvelopei clădirii se vor considera următoarele:

- Tavanul, spaţiul de aer şi acoperişul sunt considerate ca un element orizontal unic cu un flux termic unidimensional. Volumul de aer este asimilat cu un strat de aer.
- Planşeul şi 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)
- Planşeul, spaţiul tehnic şi solul sunt considerate ca fiind un planşeu peste spaţiu tehnic conform standardului EN ISO 13370. (EN ISO 13370, 2007)
- Un element vitrat se compune dintr-un anumit număr de planuri (panouri vitrate şi 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 (capacităţii termice) a diferitelor planuri;
    - fluxul termic convectiv prin straturile de aer dintre fiecare panou vitrat se calculează conform
    - densitatea fluxului termic datorită radiaţiilor de undă lungă între diferite planuri se calculează conform cu
    - densitatea fluxului termic datorită radiaţiilor 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 standarul EN ISO 13791

4.6. CONSIDERAREA IN CALCULUL CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE A PUNŢILOR TERMICE

Având în vedere cerinţele la nivelul Uniunii Europene de eficientizare energetică a clădirilor şi de reducere a emisiilor de CO_2, ţările membre au fixat diferite restricţii în ceea ce priveşte performanţa termică a unei clădiri, prevederi ce trebuie respectate de specialiştii în domeniu. Consecinţa acestor prevederi constă în faptul că influenţa punţilor 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 importanţă semnificativă în comparaţie cu clădirile existente.

In studiul transferului termic prin elementele anvelopei clădirii, efectul punţilor termice reprezintă de multe ori o problemă deoarece acestea sunt fie neglijate, fie calculul acestora nu este implementant 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 unidirecţional.

In ultimul timp abordarea problematicii punţilor termice în momentul când se evaluează performanţa termică a anvelopei clădirii şi riscul apariţiei fenomenului de condens superficial capătă o importanţă tot mai mare, mai ales în urmă apariţiei 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 punţi termice. Considerarea acestor zone depinde de mai mulţi factori, cum ar fi: zonarea climatică, nivelul de izolare termică, detaliul constructiv al punţii termice, tipul clădirii (utilizare/destinaţie şi geometrie), şi altele. În acelaş timp depind foarte mult şi de metoda utilizată în calcul, prin care se ia în considerare efectul punţilor termice în calcul necesarului de energie pentru clădire.

Astfel, este greu de specificat care este aportul punţilor termice întro clădire (de locuit). Din bibliografia studiată s-a observat faptul că aportul punţilor 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 punţi termice). Pentru a ne baza pe aceste rezultate este necesară efectuarea calculelor în detaliu, folosind metode complexe de calcul care iau în considerare inerţia termică a punţii termice care în general nu este considerată în calcule. (Theodosioua & Papadopoulos, 2008)

De exemplu standarul internaţional EN ISO 13786 aminteşte caracteristicile asociate cu performanţa termică a elementelor anvelopei clădirii calculată în regim dinamic precum şi metodele de calcul pentru aceasta. Aceste metode sunt potrivite la determinarea proprietăţilor termice dinamice necesare la estimarea necesarului de energie al clădirii. In ceea ce priveşte modul de considerarea a punţilor termice în regim dinamic, în paragraful 6.1, standardul include 2 comentarii scurte:

„Calculul caracteristicilor termice dinamice a elementelor non-plane precum şi a elementelor care conţin punţi termice semnificative se va face prin rezolvarea ecuaţiilor de transfer termic cu condiţii de contur periodice. Din acest motiv, regulile corespund modelului furnizat în EN ISO 10211 în combinaţie cu metode numerice cum ar fi metoda diferenţelor finite sau metoda elementelor finite.”

„Punţile termice folosite în mod curent în elementele anvelopei clădirii nu afectează în mod semnificativ caracateristicile termice dinamice şi din acest considerent pot fi ignorate”.

Acesta este un exemplu clar privitor la contradicţiile care există în ceea ce priveşte modul în care sunt tratate punţile termice la o clădire. Pe de-o parte se aminteşte faptul că studiul tranzitoriu al punţilor termice poate fi neglijat, iar pe de altă parte se aminteşte faptul că punţile termice seminificative se vor calcula cu o metodă numerică cu condiţii de contur periodice, care va duce la un volum mare de calcul.

Dificultatea implementării calculului punţilor termice în simularea eficienţei 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 eficienţei energetice sunt de obicei bazate pe calculul funcţiilor de transfer care sunt valabile doar pentru definirea pereţilor cu straturi omogene. In consecinţă pentru a nu complica calculele derivate din implementarea punţilor termice, se fac simplificări care nu iau în considerare efectul inerţiei termice a acestora, considerându-se doar transfer unidirecţional al căldurii. Astfel, fluxul multidimensional care caracterizează punţile termice nu poate fi pus în evidenţă în programele de simulare a eficienţei energetice a clădirilor. Datorită acestor impediemente întâlnite în implementarea calculelor punţilor termice în programele de simulare energetică, a apărut nevoia găsirii unei metode echivalente şi alternative de considerare a punţilor termice în calculul performanţei energetice a clădirilor.

Mai mulţi autori din din literatura de specialitate au investigat studiul multidimensional a comportării dinamice a punţilor termice în vederea implementării a efectului acestora în programele de simulare a eficienţei energetice (Kośnya & Kossecka, 2002) (Nakhi, 1995). În lucrarea amintită în bibliografie (Carpenter, 2001) autorul concluzionează că este nevoie de o abordarea dinamică a punţilor termice, având în vedere faptul ca inerţia termică a unui perete masiv poate fi parţial anulată datorită efectului negativ al acestora.

În vederea evaluării punţilor termice este nevoie de cunoştinţe privind utilizarea programelor diferenţelor finite, volumului finit sau a elementelor finite. Din păcate doar o parte dintre specialiştii în domeniu optează pentru folosirea metodelor numerice la evaluarea punţilor termice. În practica curentă se folosesc cataloage care cuprind elemente ale anvelopei clădirii unde sunt definite şi precalculate diferite tipuri de punţi termice întâlnite în practica curentă. Dezavantajul utilizării acestor cataloage este faptul că este foarte greu să se acopere toate tipurile de punţi termice întâlnite în mod curent în practică precum şi utilizarea a unor valori pentru detalii mai mult sau mai puţin identice cu soluţîa evaluată.

Abordarea curentă a punţilor termice în tările din Uniunea Europeană constă în utilizarea unor metode simplificate care se aplică considerându-se un calcul în regim termic staţionar, fapt care le face insuficiente având în vedere necesitatea şi importanţa considerării inerţiei termice în

calculul necesarului anual de energie al clădirii. In continuare sunt enumerate câteva din metodele simplificate aplicate în unele ţări din Uniunea Europeană:

a.) În Franţa, Danemarca şi Norvegia se limitează valoarea coeficientului liniar de transfer termic ψ_{max} în funcţie de tipul punţii termice. Acest fapt duce la limitarea fluxului de căldură care se adaugă la o soluţie constructivă, datorită tipului de punte termică.

b.) În Germania, Olanda şi Irlanda în funcţie de tipul punţii termice se adaugă o creştere a transmitanţei termice notată ΔU zonei omogene a anvelopei clădirii. Astfel se consideră în calcul un flux termic adiţional părţii omogene a peretelui.

c.) În Spania se realizează un calcul unidimensional pentru stabilirea valorii transmitanţei termice a punţii termice şi apoi se realizează ponderarea acesteia cu zona elementului omogen.

După cum s–a subliniat anterior, punţile termice au un impact semnificativ în stabilirea efectelor acestora în calculul necesarului anual de energie al clădirii. Standardul internaţional EN EN ISO 10211 a introdus conceptul de coeficient liniar de transfer de căldură ψ pentru calculul căruia se aplică formula:

$$\psi = L^{2D} - \sum_{i=1} U_i \cdot l_i \qquad (2.127)$$

unde:

L^{2D} este coeficientul de cuplaj termic bi-dimensional obţinut printrun calcul 2D a elementului care separă cele două medii [W/(m·K)]

U_i este transmitanţa termică a elementului 1D care separă cele două medii [W/(m^2·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. In general, pentru implementarea efectului punţilor termice în programele de simulare termică tranzitorie, se utilizează caracteristici staţionare cum ar fi ψ. Există mai multe modele bazate pe ipoteze care conduc la rezultate diferite. Din acest considerent rezultă nevoia cunoaşterii comportării dinamice reale a punţilor termice. În capitolul 5 se va aborda calculul dinamic luând în considerare efectul punţilor 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 uşurinţă să aplice diferite soluţii pentru reducerea pierderilor de căldură şi să maximizeze utilizarea aporturile solare şi a aporturilor interne. Din păcate aceste acţiuni cu rol de reducere a consumurilor energetice duc de asemenea la efecte adverse, cum ar fi riscul de supraîncălzire, suprafeţele vitrate mult prea mari, şi alte inconveniente în alcătuirea şi comportarea clădirii. Efectul supraîncălzirii tratat de specialiştii în domeniu prin soluţiile constructive utilizate pentru protecţia clădirii nu sunt cunoscute şi înţelese pe deplin de mulţi proiectanţi în domeniu datorită aspectelor dinamice complicate ale transferului de fluxul termic şi fenomenul de înmagazinare cu energie în elementele anvelopei clădirii. De exemplu, în cazul acoperişurilor 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. Radiaţia solară absorbită de stratul de bitum închis la culoare combinat cu temperaturile înalte ale aerului, cauzează o înmagazinare semnificativă a energie termice în straturile planşeului terasă, fapt care duce la o rată ridicată a fluxului termic care intră în spaţiul interior al clădirii. Încălzirea spaţiului interior datorită aportului radiaţiilor solare prin ferestrele clădirii ar putea fi redus prin minimizarea amplitudinii fluxului termic interior şi /sau prin maximizarea defazajului, adică a diferenţei de fază între rata fluxului termic pe o suprafaţă şi temperatura suprafeţei opuse.

Una dintre cele mai simple si bine cunoscute modele de transfer termic dinamic este teoria valurilor de căldură armonice, bazată pe analiza lui Fourier a funcţiilor ciclice, această metodă dând rezultate foarte aproape de condiţiile 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 condiţii de contur variabile, cum ar fi o rată variabilă a fluxului termic sau o temperatură variabilă în unul sau în ambele medii care descriu condiţiile de contur. În standardul internaţional EN ISO 13786 se consideră numai condiţii de contur sinusoidale, respectiv condiţiile de contur presupun variaţii sinusoidale ale fluxurilor termice şi ale temperaturilor .

Pe baza prescripţiilor amintite în standarul EN ISO 13786 prezentat la capitolul 4 din teza de faţă şi a prevederilor normativului de proiectare românesc C107/7 (C 107/7, 2002) prezentat la capitolul 2 din teza de faţă, 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 variaţie de 24 h şi de 3h în conformitate cu standardul EN ISO 13786 şi C107/7, stabilindu-se valorile următorilor coeficienţi:

- capacitatea termică zonală interioară χ_i şi 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 oscilaţiilor temperaturii aerului exterior [h] (definit în capitolul 2.5.2)
- D indicele inerţiei termice a elementului (definită în capitolul 2.5.2)
- ν_T coeficientul de amortizare a amplitudinii oscilaţiilor temperaturii aerului exterior (definit în capitolul 2.5.2)

În urma studiului efectuat se prezintă rezultate obţinute pentru pereţi exteriori neizolaţi sau izolaţi termic (vezi tabel 32-41) şi pentru pereţi interiori (vezi tabel 42-44), în diverse soluţii de alcătuire constructivă.

Tabel 32. Perete exterior – zona câmpului curent

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona campului curent)											
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	ν_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	$(m^2 \bullet K)/W$	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$	[-]	h	[-]	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$
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	28,32	>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 planşeului din beton armat

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona planseului 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	ν_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	$(m^2 \bullet K)/W$	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$	[-]	h	[-]	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$
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 şi a buiandrului din b.a.

ZIDARIE DIN CARAMIDA PLINA (zona centurii si buiandrugului 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	ν_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	$(m^2 \bullet K)/W$	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$	[-]	h	[-]	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$
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 stâlpişorilor 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	ν_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	$(m^2 \bullet K)/W$	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$	[-]	h	[-]	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$
0,240	0,00	0,365	2,81	22,21	37,31	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 şapei planşeului

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	ν_T	ε	C_i	D	χ_i	χ_e
m	m	$(m^2 \bullet K)/W$	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$	[-]	h	[-]	[-]	$W/(m^2 \bullet K)$	$W/(m^2 \bullet K)$
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	28,32	>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) (λ = 1.74 W/(m•K) ; ρ = 2500.0 kg/m³ ; c = 840.0 J/(kg•K))										
Elem. de Per. Ext.		Perioada de variatie 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	(m²•K)/W	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m²•K)	W/(m²•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 (λ = 1.74 W/(m•K) ; ρ = 2500.0 kg/m³ ; c = 840.0 J/(kg•K))											
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	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)
0,240	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) (λ = 1.74 W/(m•K) ; ρ = 2500.0 kg/ m^3 ; c = 840.0 J/(kg•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	(m^2•K)/W	[-]	W/(m^2•K)	W/(m^2•K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m^2•K)	W/(m^2•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) (λ = 1.74 W/(m•K) ; ρ = 2500.0 kg/ m^3 ; c = 840.0 J/(kg•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	(m^2•K)/W	[-]	W/(m^2•K)	W/(m^2•K)	[-]	h	[-]	[-]	W/(m^2•K)	W/(m^2•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 (λ = 0.80 W/(m•K) ; ρ = 1800.0 kg/ m³ ; c = 870.0 J/kg)											
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	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)
0,240	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)	(m²•K)/W	kg/ m³	J/kg	[-]	W/(m²•K)	[-]	W/(m²•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	21,32	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	20,37	12,89	3,05
0,450		0,565			4,65	20,32	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)	(m²•K)/W	kg/ m³	J/kg	[-]	W/(m²•K)	[-]	W/(m²•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.)								
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)	(m²•K)/W	kg/m³	J/kg	[-]	W/(m²•K)	[-]	W/(m²•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 şi pentru elementele interioare, capacitatea termică C [W/K]. Asa cum s-a prezentat anterior la sub-capitolul 4.2 atât în standarul internaţional EN ISO 13790 cât şi în standardul internaţional EN ISO 13786, sunt date relaţii de calcul a capacităţii 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 comparaţie cu valorile determinate cu relaţiile din standardele amintite, deoarece au fost determinate pe baza variaţiei sinusoidale a temperaturii aerului exterior. In calculul valorii capacităţii termice zonale χ s-au respectat paşii de calcul 1-9 prezentati la sub-capitolul 4.3, conform standardului internaţional EN ISO 13786 şi EN ISO 13790.

Pentru utilizarea practică a tabelelor prezentate în vederea determinării valorii lui C pentru elementelele exterioare şi/sau interioare se parcurg următoarele etape:

- se stabilesc suprafeţele zonelor caracteristice din alcătuirea unui panou de perete interior şi/sau exterior,
- se extrag din tabele valorile lui χ aferent detalului constructiv al zonei caracteristice,
- valoarea lui C se obţine prin însumarea produselor dintre aria zonei caracteristice şi valoarea lui χ aferentă zonei.

Finalizarea calculului constă în obţinerea capacităţii termice interioare a clădirii, ceea ce presupune însumarea valorilor C obţinute 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 REŢELELOR TERMICE ECHIVALENTE

Se va realiza o analogie electrică în scopul modelării elementelor clădirii prin folosirea rezistenţelor şi capacitanţelor termice.

Pentru a se înţelege tehnica reţelei termice aplicată clădirilor se va exemplifica cu cazul prezentat în continuare. Cu ajutorul unei reţele termice se va stabilii transferul termic între două zone mai mici şi zona adiacentă (sau exterior). De asemenea se va determina căldura suplimentară necesară pentru a menţine temperatura constantă.

In exemplul de faţă se prezintă cazul unei clădiri industriale, respectiv o fabrică de procesare a cărnii cu trei zone termice care trebuie menţinute la temperaturile menţionate în figură. Prin suprafaţa pereţilor exteriori vor avea loc pierderi de căldură. Prin suprafaţa pardoselii şi a tavanului

se consideră că nu vor avea loc pierderi de căldură deoarece zonele de deasupra şi de dedesupt sunt menţinute la aceaşi temperatură. Temperatura exterioară se consideră egală cu -10°C.

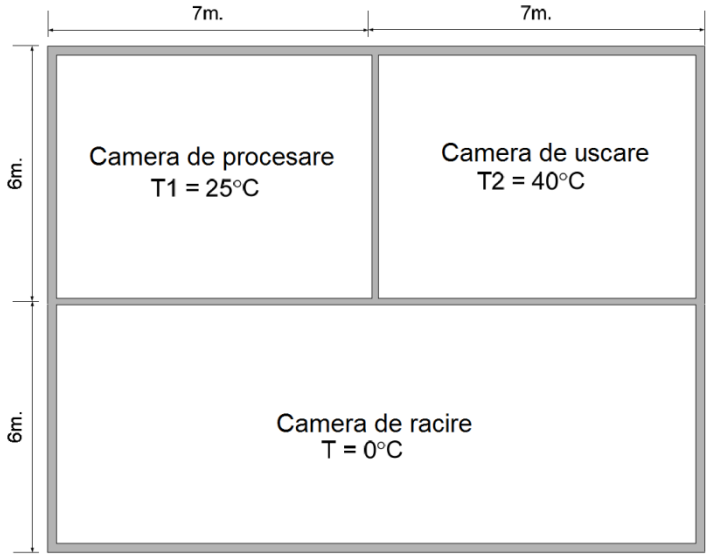


Figura 64. Planul clădirii studiate

Proprietăţile peretelui:

- toţi pereţii se consideră alcătuiţi dintrun material uniform cu conductivitate λ=0,03 W/(m·K);
- grosimea pereţilor exteriori este de 30 cm;
- grosimea pereţilor interiori este de 15 cm;
- pentru simplificarea calculului se consideră că uşile sunt etanşe şi alcătuite din acelaş material.

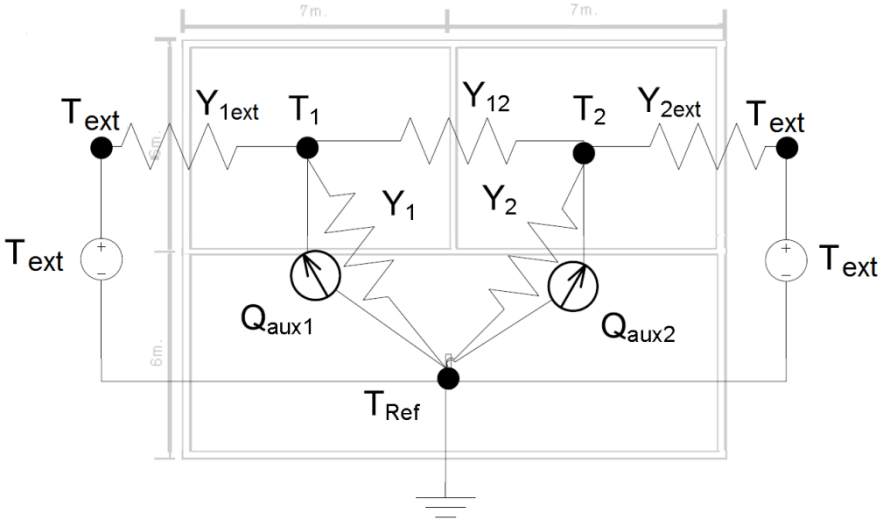


Figura 65. Reţeaua termică a clădirii

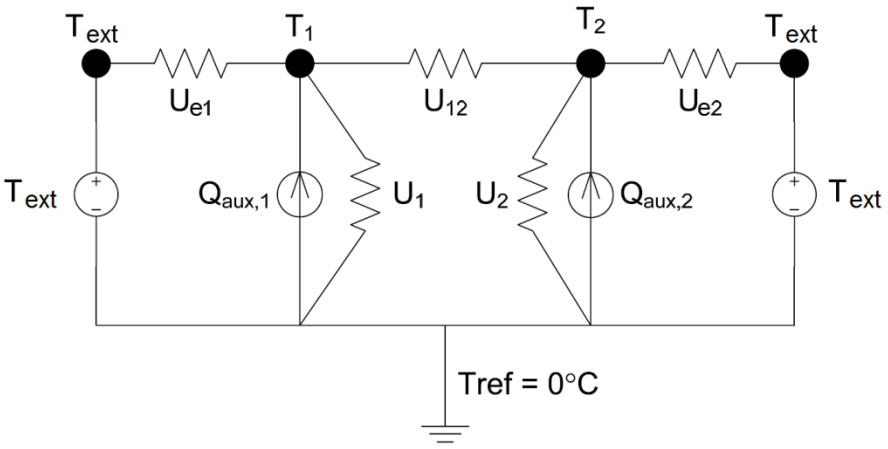


Figura 66. Reţeaua termică echivalentă a clădirii

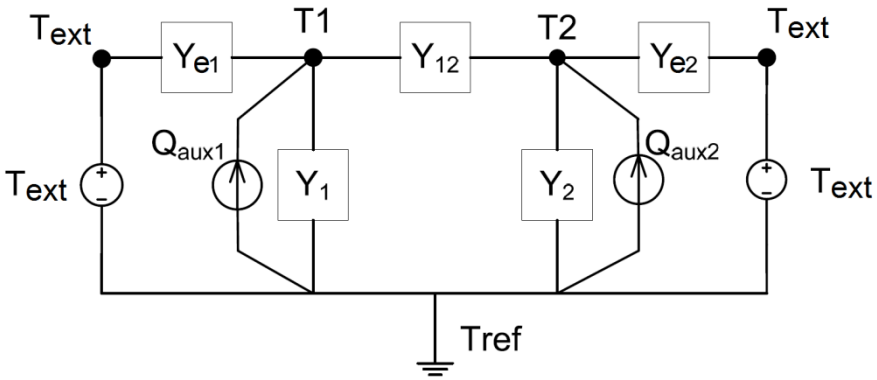


Figura 67. Formularea admitanţelor

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 ecuaţiile 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 SPAŢIU ÎN TIMPUL VERII

În prezentul sub-capitol se prezintă algoritmul de validare a programului „TEMOPER" conceput de autor şi 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 şi a procedurii de validare conform punctului 7, subpunctul 7.2 din SR EN ISO 13791. Validarea modelului constă în calcularea temperaturii operative în condiţii ciclice, pentru o parte din cazurile prezentate în standard şi compararea rezultatelor obţinute cu valorile aferente tabelelor din standard. Pe baza precizărilor din standard, temperatura operativă se calculează ca media dintre temperatura aerului interior $\theta_{a,i}$ şi temperatura radiantă medie θ_{mr}. a suprafeţei interioare a elementelor încăperii, calculată cu relaţia:

$$\theta_{mr} = \frac{\left[\sum_{j=1}^{N}(\theta_{s,j} \cdot A_j)\right]}{\left(\sum_{j=1}^{N} A_j\right)} \qquad (2.128)$$

unde

N este numărul suprafeţelor care delimitează mediul interior;

$\theta_{s,j}$ este temperatura superficială interioară;

A_j este aria suprafeţei j

Încercările se vor efectua pe două geometrii diferite, situate în două zone, cu trei tipuri diferite de anvelopă şi de ventilare a spaţiului.

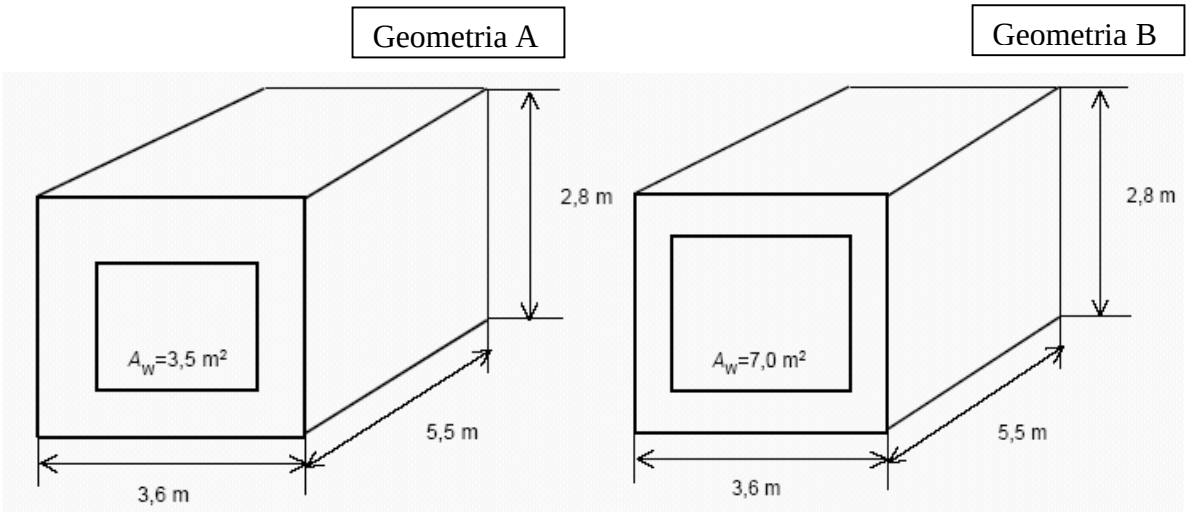


Figura 68. Geometriile studiate

Tabel 45. Caracteristicile geometrice ale încăperii

Element	Geometrie A	Geometrie B
	Arie (m^2)	
Perete exterior opac	6,58	3,08
Fereastră	3,50	7,00
Perete despărţitor (stânga)	15,40	15,40
(dreapta)	15,40	15,40
(în spate)	10,08	10,08
Planşeu	19,80	19,80
Tavan	19,80	19,80
Volum (m^3)	55,44	55,44

Tabel 46. Proprietăţi termofizice ale elementelor opace

Structura	s	λ	ρ	c_p
	m	W/(m·K)	kg/m^3	kJ/(kg·K)
Tipul nr.1 (perete exterior)				
Strat exterior	0,115	0,99	1800	0,85
Izolaţie	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
Izolaţie	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
Şapă	0,06	1,40	2000	0,85
Izolaţie	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
Şapă	0,06	1,40	2000	0,85
Izolaţie	0,04	0,04	50	0,85
Beton	0,18	2,10	2400	0,85
Izolaţie	0,10	0,04	50	0,84
Dală acustică	0,02	0,06	400	
Tipul nr.4 (acoperiş)				
Strat exterior	0,004	0,23	1500	1,3
Izolaţie	0,08	0,04	50	0,85
Beton	0,20	2,1	2400	0,85

Tabel 47. Caracteristici solare ale elementului vitrat şi ecranului pentru toate unghiurile de incidenţă

Element	τ_n	ρ_n
Panou de geam	0,84	0,08
Ecran	0,2	0,50

Pentru determinarea capacităţii termice a aerului interior, se utilizează capacitatea termică masică a aerului egală cu 1008 J/(kg·K) şi densitatea aerului egală cu 1,139 kg/m^3. Rezistenţele termice exterioare, ale stratului de aer şi interioare.

R_{se} = 0,074 m^2·K/W

R_{cav} = 0,08 m^2·K/W

R_{si} = 0,125 m^2·K/W

Legendă

1 Ecran exterior sau oblon

2 Geam

3

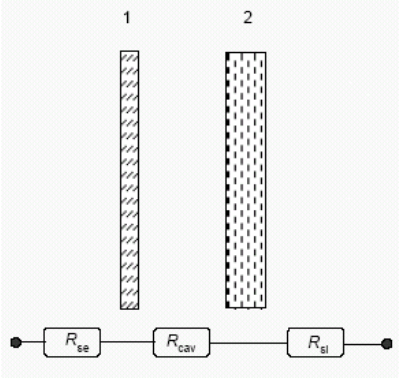


Figura 69. Fereastră cu vitraj simplu

Rezistenţele termice exterioare, ale stratului de aer şi interioare

R_{se} = 0,074 m^2·K/W

R_{ec} = 0,08 m^2·K/W

R_{ic} = 0,173 m^2·K/W

R_{si} = 0,125 m^2·K/W

Legendă

1 Ecran exterior sau oblon

2 Geam exterior

3 Geam interior

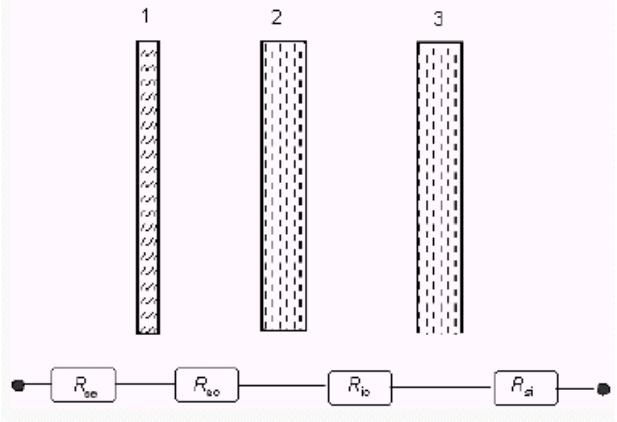


Figura 70. Fereastră cu vitraj dublu cu dispozitiv exterior de umbrire

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 repartiţie solară pentru:
  - planşeu f_d = 0,5;
  - tavan f_d= 0,1;
  - ansamblul de pereţi verticali (cu excepţia ferestrelor) fd = 0,4;
- absorbtanţa solară a tuturor suprafeţelor pereţilor α_{sr}= 0,6;
- absorbtanţa solară a acoperişului α_{sr}= 0,9;

Condiţile la limită considerate în calcul sunt:

- coeficient de schimb convectiv exterior: $h_{c,e}$ = 8,0 W/(m^2·K);
- coeficient de schimb convectiv interior:
  - $h_{c,i}$ = 2,5 W/(m^2·K) (flux termic orizontal);
  - $h_{c,i}$ = 5,0 W/(m^2·K) (flux termic ascendent);
  - $h_{c,i}$ = 0,7 W/(m^2·K) (flux termic descendent);
- coeficient de transfer termic radiativ: $h_{r,e}$ = 5,5 W/(m^2·K) (toate suprafeţele); (valabil pentru ε = 0,93 şi T_{mr} = 303 K)

Datele climatice sunt redate în tabelele care urmează :

Tabel 48. Elemente de radiaţie solară pentru configuraţia geometrică A

Ora	**Latitudine de 40º N**					
	Orizontal			**Vertical, expunere vest**		
	direct	direct	direct	direct	direct	direct
	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	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 radiaţie solară pentru configuraţia geometrică B

Ora	Latitudine de 40° N					
	Orizontal			Vertical, expunere vest		
	direct	direct	direct	direct	direct	direct
	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	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 configuraţia geometrică A

Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}
	°C		°C		°C		°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 configuraţia geometrică B

Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}	Ora	θ_{ao}
	°C		°C		°C		°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 încăpere prin convecţie şi radiaţie în proporţii egale (50% pentru fiecare).

Tabel 52. Fluxul termic total datorită surselor interioare pe suprafaţă de planşeu

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/m^2.

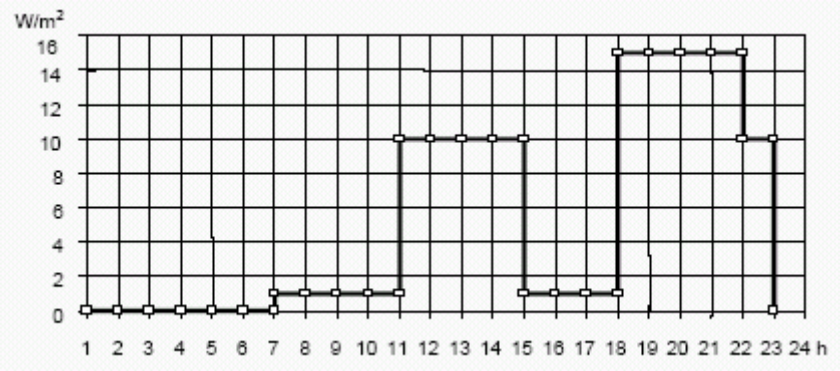


Figura 71. Aporturi interne

În cazul ventilării se vor lua în considerare trei scheme diferite de ventilare prezentate mai jos şi în tabel:

a) schimburi de aer/h egal cu 1 h^{-1}, constant;
b) 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;
c) 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 realizat trei teste aşa cum se observă în tabelul 54, unde tipul elementelor se identifică prin numerele utilizate în tabelul 46 şi 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 m^2 şi aria ferestrei 3,5 m^2.

Tabel 54. Cazurile A de încercări

Încercare nr.	**Perete exterior opac**	**Vitraj**	**Perete despărţitor vertical către încăpere similară**	**Tavan către încăpere similară**	**Planşeu peste încăpere similară**	**Acoperiş**
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 realizat trei încercări aşa cum se observă în tabelul 55, unde tipul elementelor se identifică prin numerele utilizate în tabelul 46 şi 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 m^2 şi aria ferestrei 7,0 m^2.

Tabel 55. Cazurile B de încercări

Încercare nr.	**Perete exterior opac**	**Vitraj**	**Perete despărţitor vertical către încăpere similară**	**Tavan către încăpere similară**	**Planşeu peste încăpere similară**	**Acoperiş**
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 condiţii 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 comparaţia cu valorile din tabelul 56 pentru geometria A şi tabelul 57 pentru geometria B, trebuie să indice o diferenţă mai mică de 0,5 K. Valorile din tabel sunt cele din tabelele 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 obţinute pe fiecăre interval orar, pentru încercările descrise anterior.

Pentru validarea programului „TEMOPER” dezvoltat se prezintă valorile obţinute pentru un caz aferent fiecărei clădiri analizate.

- Tipul de clădire: A şi 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
Condiţia de validare $\Delta\theta<0,5$ [°C]	*0,05*	*0,07*	*0,10*

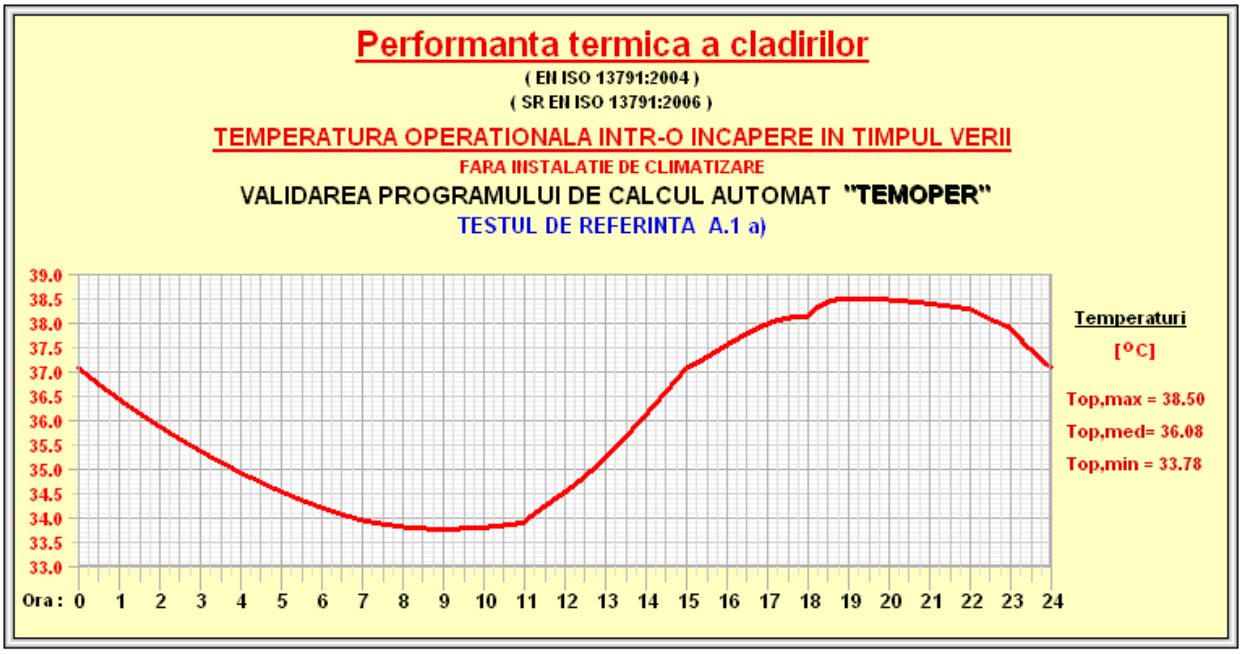
- Tipul de clădire: B şi Varianta Climatică:1

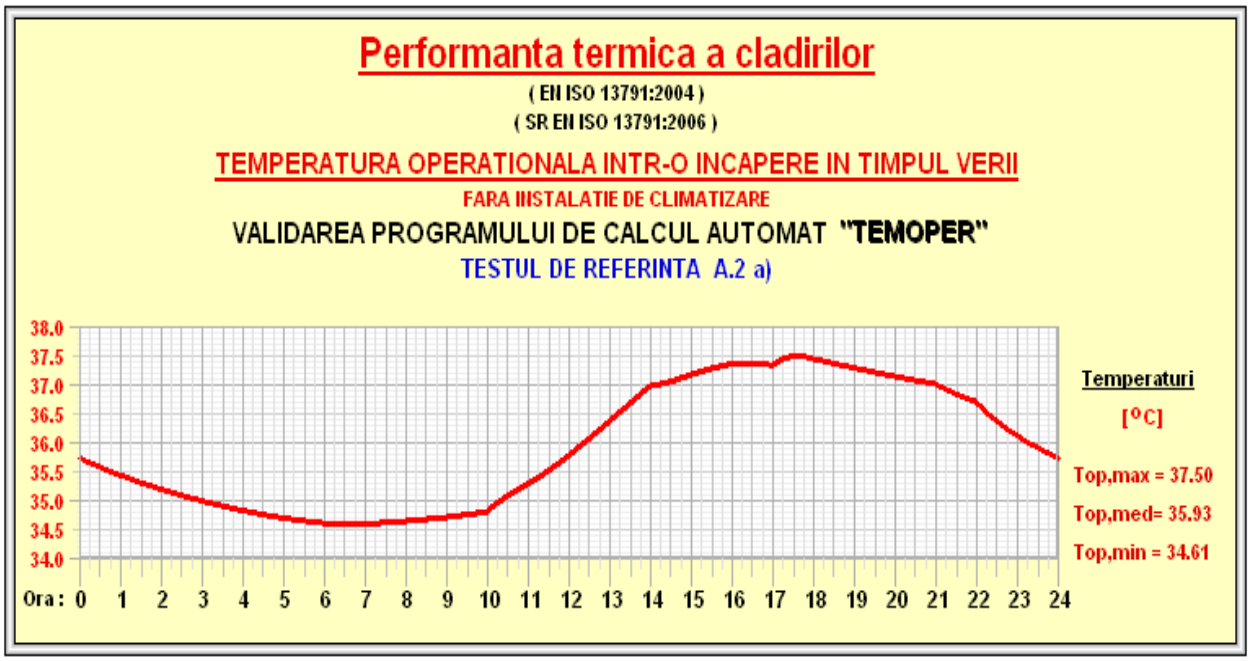
	$\theta_{op,\,max}$	$\theta_{op,\,med}$	$\theta_{op,\,min}$
EN ISO 13791	35,9	30,5	27,2
Prg. „TEMOPER	35,60	30,89	27,16
Condiţia de validare $\Delta\theta<0,5$ [°C]	*0,3*	*0,39*	*0,04*

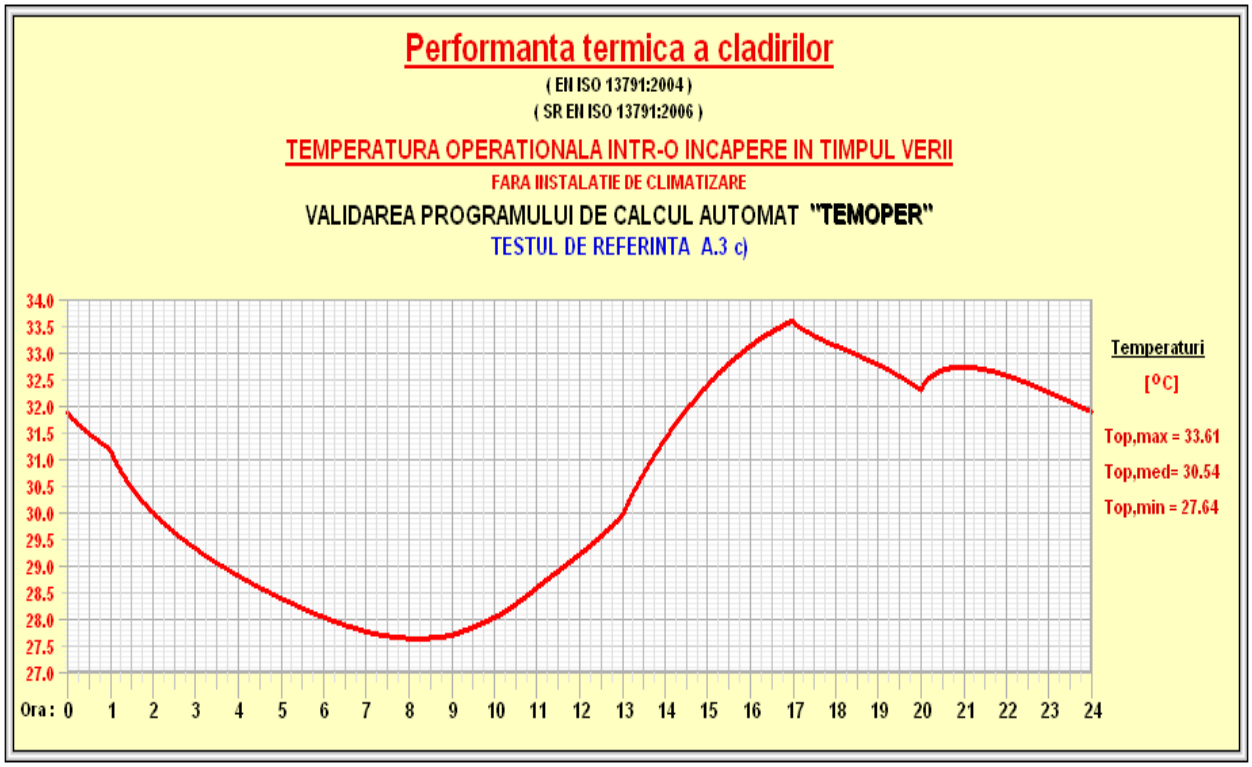
Analizând rezultatele obţinute prezentate în tabele şi graficele generate de program se observă respectarea condiţiei de validare a programului care impune ca temperatura operativă

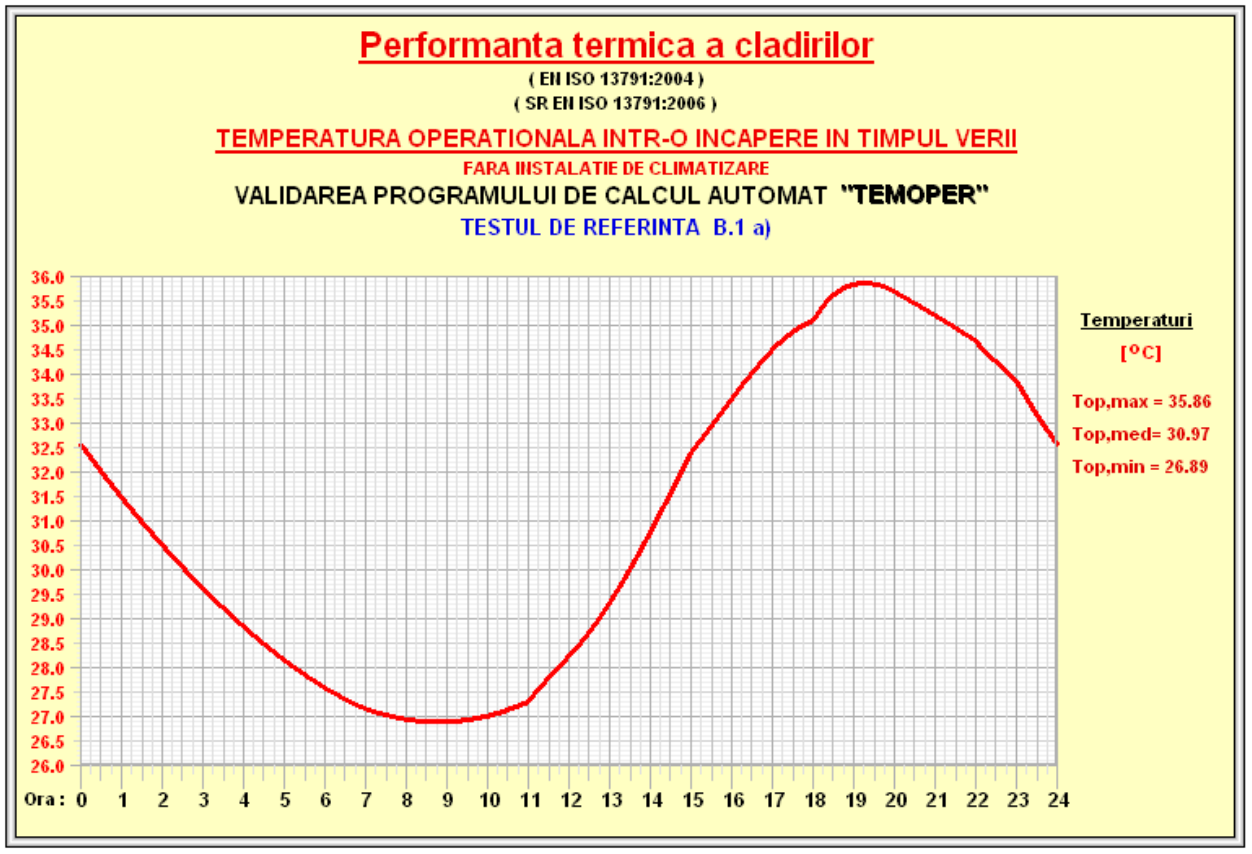
obţinută de programul de calcul să trebuie să indice o diferenţă mai mică de 0,5 K faţă de valorile amintite în standard în anexa J de validare.

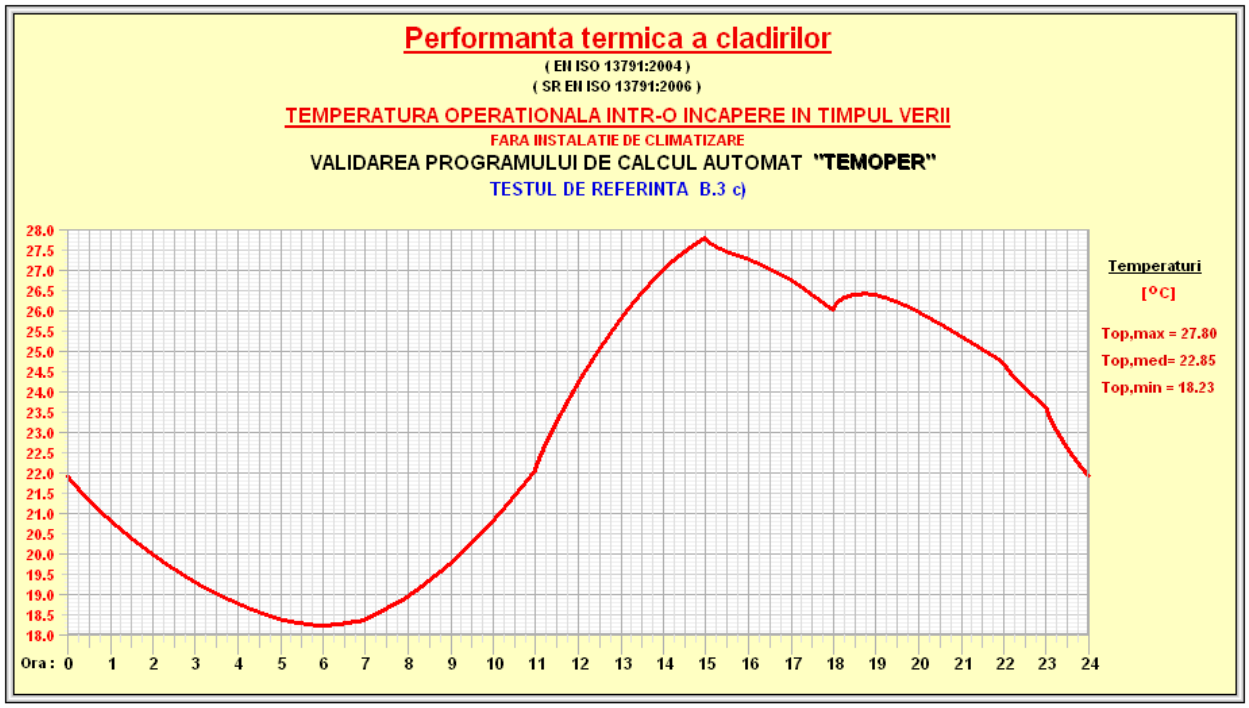
In continuare se prezintă graficele obţinute cu programul „TEMOPER" pentru 6 din cele 18 cazuri de validare impuse de standardul EN ISO 13791.






Performanta termica a cladirilor
(EN ISO 13791:2004)
(SR EN ISO 13791:2006)
TEMPERATURA OPERATIONALA INTR-O INCAPERE IN TIMPUL VERII
FARA INSTALATIE DE CLIMATIZARE
VALIDAREA PROGRAMULUI DE CALCUL AUTOMAT "TEMOPER"
TESTUL DE REFERINTA A.3 c)
Temperaturi
[°C]
Top,max = 33.61
Top,med= 30.54
Top,min = 27.64
Ora: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24


Performanta termica a cladirilor
(EN ISO 13791:2004)
(SR EN ISO 13791:2006)
TEMPERATURA OPERATIONALA INTR-O INCAPERE IN TIMPUL VERII
FARA INSTALATIE DE CLIMATIZARE
VALIDAREA PROGRAMULUI DE CALCUL AUTOMAT "TEMOPER"
TESTUL DE REFERINTA B.1 a)
Temperaturi
[°C]
Top,max = 35.86
Top,med= 30.97
Top,min = 26.89
Ora: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24



5.4. PROPUNEREA UNEI METODOLOGII DE CALCUL PENTRU LUAREA ÎN CONSIDERAREA A PUNŢILOR TERMICE LA EVALUAREA CARACTERISTICILOR TERMICE DINAMICE

Pe baza ideilor prezentate la sub-capitolul 4.6, metodologiile din standardele internaţionale EN ISO 13786, EN ISO 13790 şi EN ISO 13791, precum şi normativul românesc C107/7 , nu ţin seama de prezenţa punţilor termice în stabilirea performanţei termice în regim termic nestaţionar 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 ţină seama de prezenţa reală a punţilor termice în structura elementului de construcţie, precum şi luarea în considerare a efectului masei punţii termice.

Clădirea pe baza a căror elemente s-a realizat studiul este o structură în cadre din beton armat cu stâlpi de 30x40 cm şi grinzi de 30x50 cm şi planşee de 14 cm grosime. Zidăria de închidere este alcătuită din blocuri ceramice de 25 cm grosime, care este tencuită atât pe suprafaţa interioară cât şi pe suprafaţa exterioară. Se prezintă cercetările efectuate pentru trei dintre tipurile de elemente de construcţie analizate:

i. perete exterior cu stâlp înglobat

ii. intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior

iii. intersecţie planşeu de beton armat cu peretele 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 şi cazul izolat termic cu 20 cm de polistiren expandat.

Proprietăţile termice amintite în tabelul 58, definesc soluţiile constructive ale celor 3 punţi termice în soluţii 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·K)

ρ este densitatea aparentă în [kg/m^3]

c este căldura specifică a materialului în [J/(kg·K)]

Tabel 58. Caracteristicile termice ale materialelor elementului de construcţie – 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 cu goluri verticale	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 şi a rezistenţei termice corectate R'

Pe baza geometriei reale a fiecărei soluţii constructive amintite anterior, s-a determinat valoarea coeficientului de cuplaj termic L^{2D}, coeficientului de transfer termic liniar ψ şi valoarea rezistenţei termice corectate R'[(m^{2}K)/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 Construcţiilor de la Departamentul Construcţii Civile şi Management al Facultăţii de Construcţii Cluj. Prezentul program utilizează metoda numerică de mare exactitate a bilanţului termic scris în nodurile reţelei de calcul în conformitate cu prevederile SR EN ISO 10211:2008, Anexa A, punctul A.2. (EN ISO 10211, 2007)

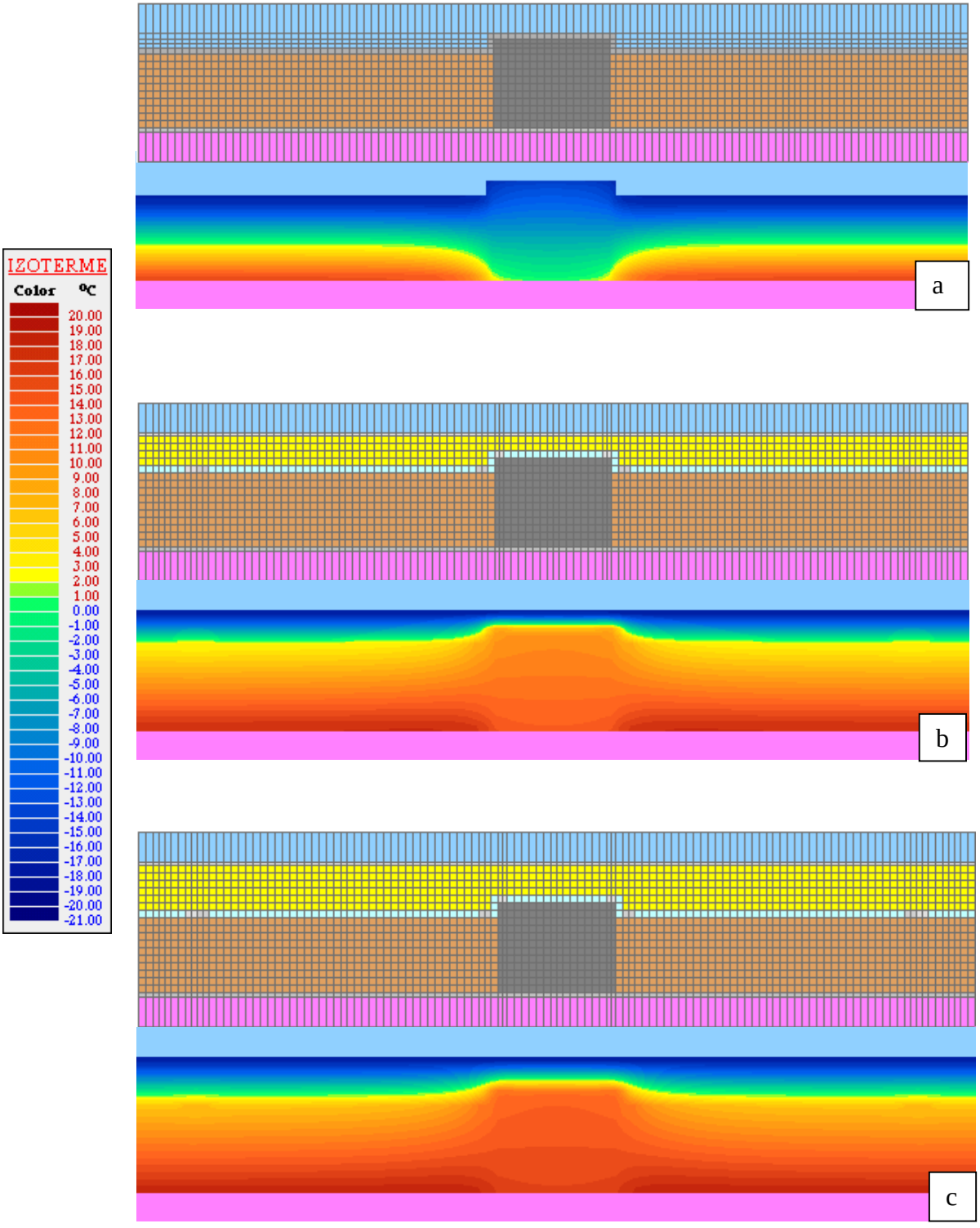
Estimatorul de eroare generează necesitatea extinderii gradului de subdivizare al reţelei de calcul. Extinderea gradului de subdivizare al reţelei de calcul este efectuată de către program în mod automat, până când sunt satisfăcute condiţii de convergenţă a rezultatelor obţinute în urma rezolvării sistemului de ecuaţii, prevăzute în standardul SR EN ISO 10211:2008, punctul 12.2.5 - Estimarea erorilor.

Generarea sistemul de ecuaţii de echilibru energetic, în nodurile reţelei de calcul, se efectuează în mod automat de către programul de calcul. Reţeaua de discretizare cuprinde un număr ridicat de noduri, rezultând sisteme de ecuaţii cu peste 40.000 de necunoscute, şi care se rezolvă prin metode iterative de calcul. Numărul de paşi ai reţelei de discretizare este limitat de capacitatea echipamentului de calcul. Numărul tipurilor de materiale care pot fi utilizate de către program pentru descrierea modelului geometric şi numărul condiţiilor de contur sunt nelimitate.

Pentru simplificarea introducerii datelor de intrare şi prelucrării rezultatelor obţinute, programul de calcul „PSIPLAN" conţine câteva zeci de module de calcul specifice tipurilor de punţi termice întâlnite în practica curentă de proiectare a clădirilor noi şi de expertizare energetică a clădirilor existente. Librăria programului conţine cataloage cu elementele necesare pentru definirea anvelopei clădirii, aranjate pe tipuri constructive şi 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 ecuaţii de echilibru energetic care se scriu în nodurile reţelei şi a căror soluţii matematice sunt unice, indiferent de structura şi tipul programului de calcul utilizat.

I. Perete exterior cu stâlp înglobat



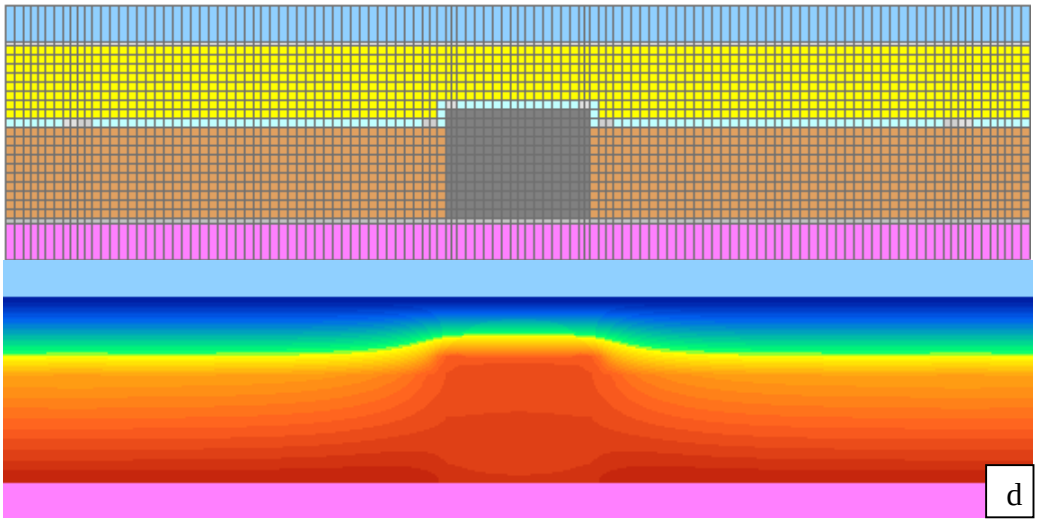


Figura 72. Reţeaua de calcul şi izotermele peretelui exterior pentru cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Valorile numerice ale rezultatelor obţinute din calcul sunt:

Tabel 59. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – perete exterior

Coeficienţi calculaţi	**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’ [$(m^2 \cdot K)W$]	1,112	3,516	4,895	6,202

II. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime

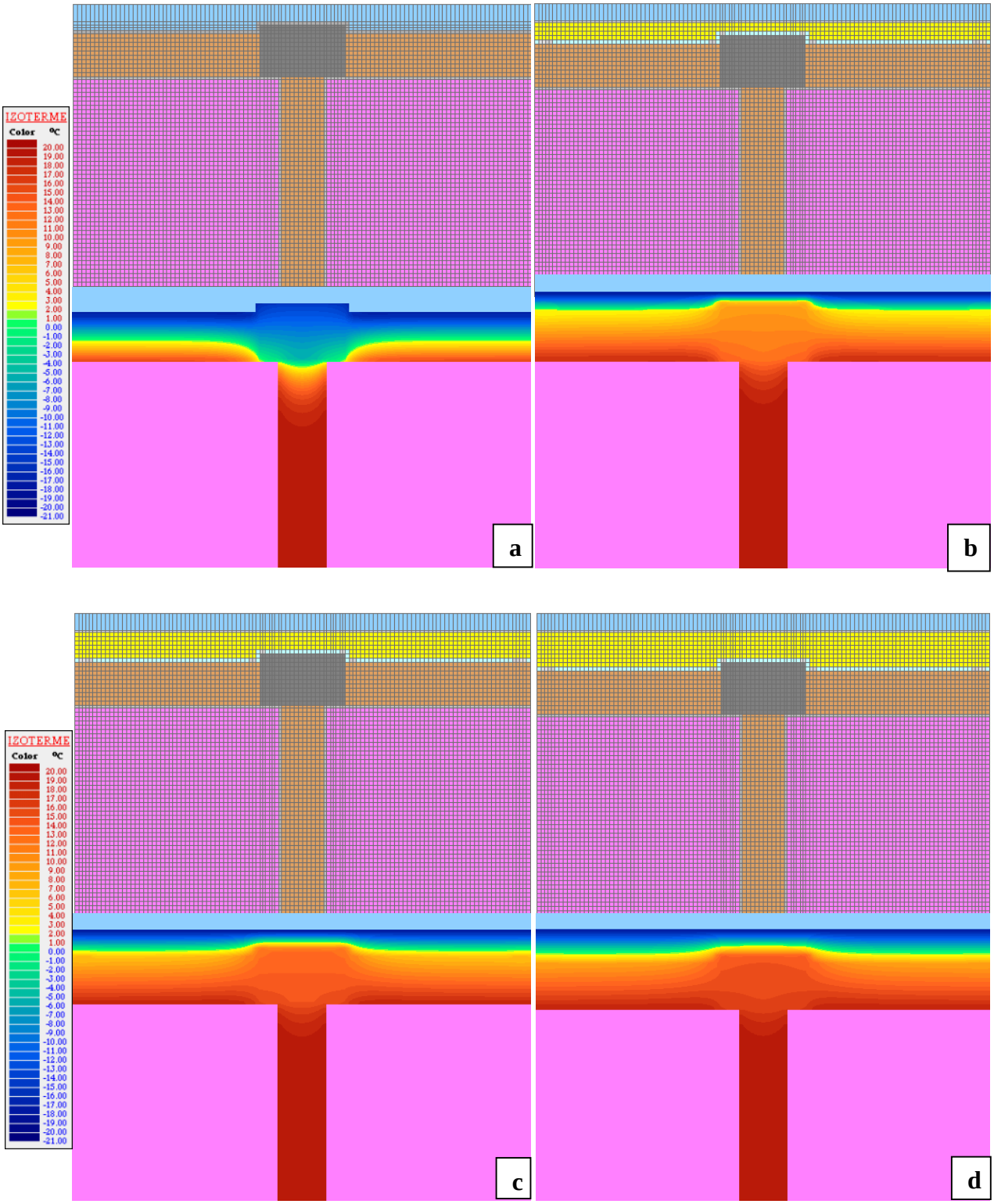


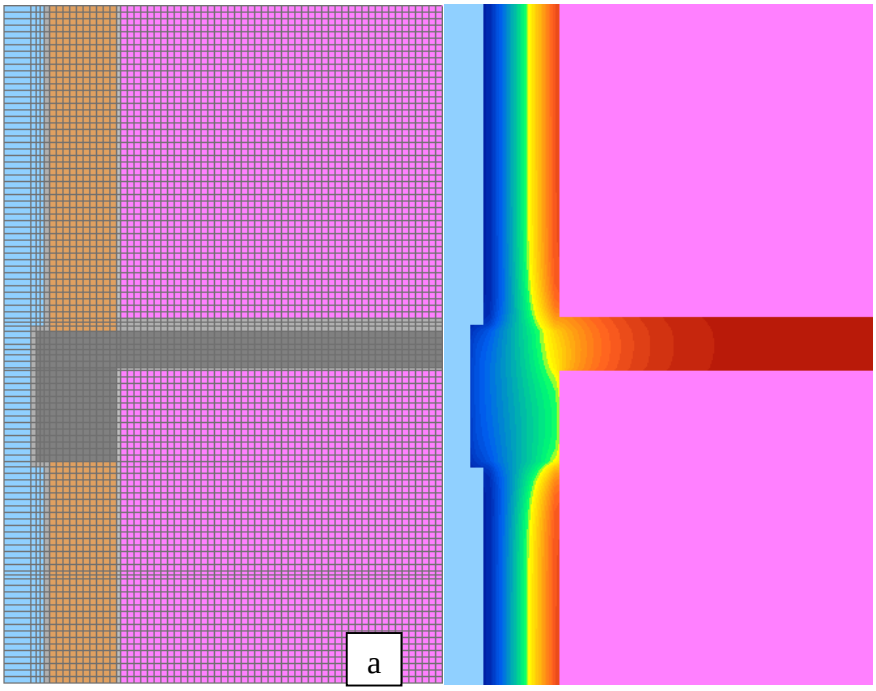
Figura 73. Reţeaua de calcul şi izotermele intersecţiei orizontale perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime pentru cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

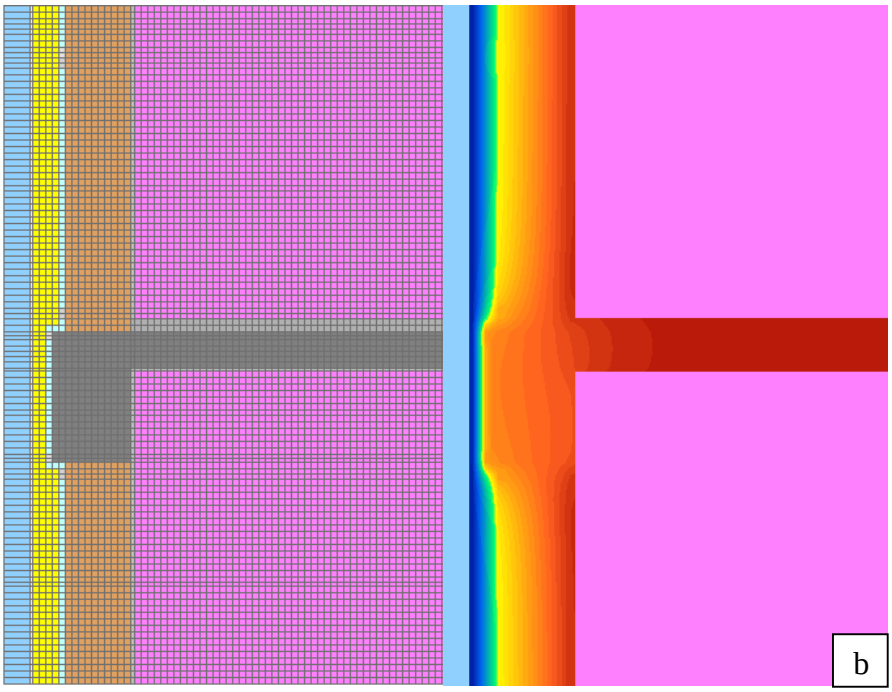
Valorile numerice ale rezultatelor obţinute din calcul sunt:

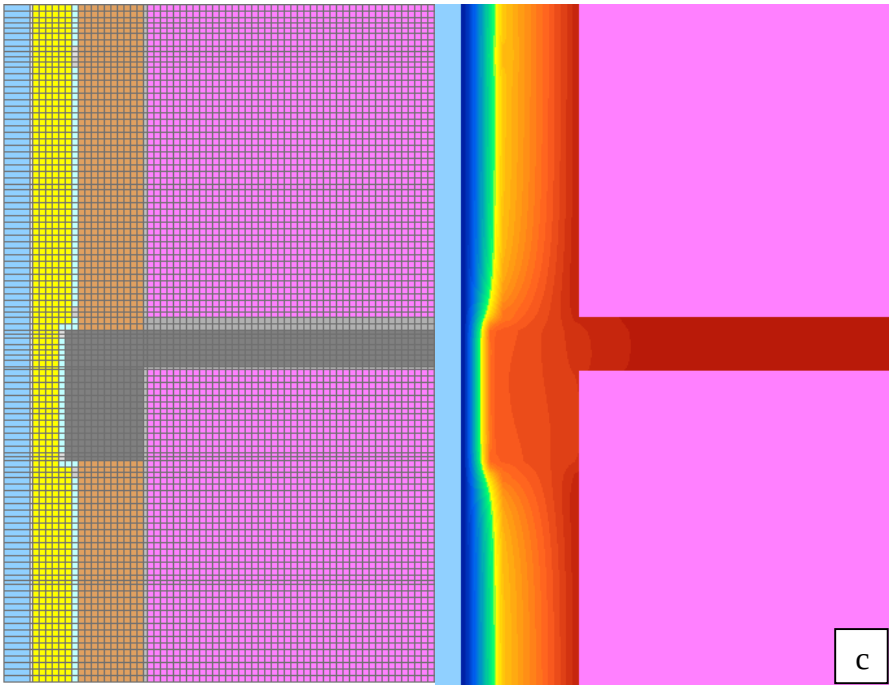
Tabel 60. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime

Coeficienţi calculaţi	**Intersecţie orizontală**			
	Neizolat termic:	**Izolat 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. Intersecţie planşeu de beton armat cu peretele exterior




b


c

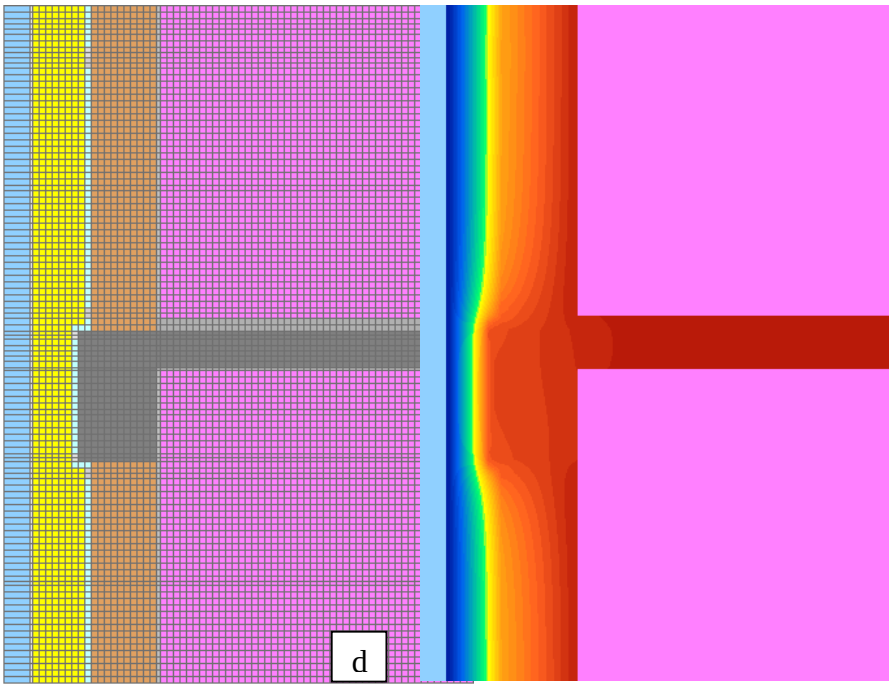


Figura 74. Reţeaua de calcul şi izotermele intersecţiei planşeu beton armat cu perete exterior: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 10 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Valorile numerice ale rezultatelor obţinute din calcul sunt:

Tabel 61. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – intersecţiei planşeu beton armat cu perete exterior

Coeficienţi calculaţi	**Intersecţie planşeu beton armat cu perete exterior**			
	Neizolat termic:	**Izolat 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’ [$(m^2 \cdot K)W$]	0,877	3,022	4,313	5,529

5.4.2. Analiza considerării efectului prezenţei punţilor termice în stabilirea caracteristicilor termice dinamice

Pentru a include efectului punţilor termice în evaluare performanţei dinamice a elementelor anvelopei clădirii, s-au definit cinci modele de calcul. Pe baza rezultatelor obţinute în urma analizei cu aceste modele, se va stabili un modelul adecvat de calcul a fluxului termic unidirecţional care simulează acelaş efect ca şi în cazul fluxuuil termic în regim bi-dimesnional sau tri-dimensional, în calculul necesarului anual de energie al clădirii.

În continuare se prezintă cele 5 modele de calcul definite:

Modelul 1: calcul se efectează utilizând caracteristicile geometrice din câmpul curent al elementului, fără luarea în considerare a prezenţei punţilor termice şi a inerţie termice D a elementului. Pe baza grosimii şi a conductivităţii termice reale a materialelor s-a determinat rezistenţa termică în câmpul elementului $R_{câmp}$

Modelul 2: se transformă modelul real întrun model echivalent având straturile cu conductivitate termică omogenă, element pe baza căruia se obţine rezistenţa termică în câmp care trebuie să fie valoric egală cu rezistenţa termică corectată R' a elementului real (care conţine puntea termică)

Modelul 3: se consideră atât elementul în câmpul curent cu rezistenţa aferentă $R_{câmp}$ cât şi caracteristicile de inerţie c şi ρ din câmpul curent, fără a se ţine seama de prezenţa punţilor termice în conformitate cu prescripţiile metodologiilor uzuale în domeniu.(EN ISO 13786, EN ISO 13790, EN ISO 13791 şi C107/4)

Modelul 4: conţine propunerea autorului privind dezvoltarea unei metode de calcul denumită „*Metoda elementului echivalent*" în care elementul -modelul real se transformă întrun model echivalent având straturile cu conductivitate termică omogenă, element pe baza căruia se obţine rezistenţa termică în câmp care trebuie să fie valoric egală cu rezistenţa termică corectată R' a elementului real (care conţine puntea termică)

Pe baza grosimii straturilor si a conductivităţilor termice omogene, se determină noile caracteristici de inerţie termică a straturilor, respectiv clădura specifică c şi densitatea aparentă, în condiţiile asigurării de către noul element a inerţiei termice D a elementului real.

Caculele numerice 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 nestanţionar, cazul unidirecţional:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x}\right] = c \cdot \rho \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

Modelul 5: presupune aplicarea pe geometria reală ce conţine puntea termică a calculului dinamic utilizând ecuaţiile diferenţiale de transfer termic în regim termic nestaţionar, 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 sub-capitolul 4.3.

Simulările în vederea obţinerii fluxului termic interior pentru cele 5 modele, s-au realizat prin considerarea unei temperaturi interioare constantă θ_i=20°C şi respectiv la suprafaţa exterioară s-a considerat o variaţie sinusoidală definită de următoarea relaţie:

$$\theta_e = \theta_{em} + A_{\theta_e} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{12} - \varepsilon\right) \qquad [°C]$$

unde

θ_{em} este temperatura exterioară medie în [°C], pentru Cluj fiind egală cu 2,9 [°C],

$A_{\theta e}$ este amplitudinea, considerată în calcul cu valoarea de 10 [°C],

ε este defazajul, considerat în calcul cu valoarea de 9

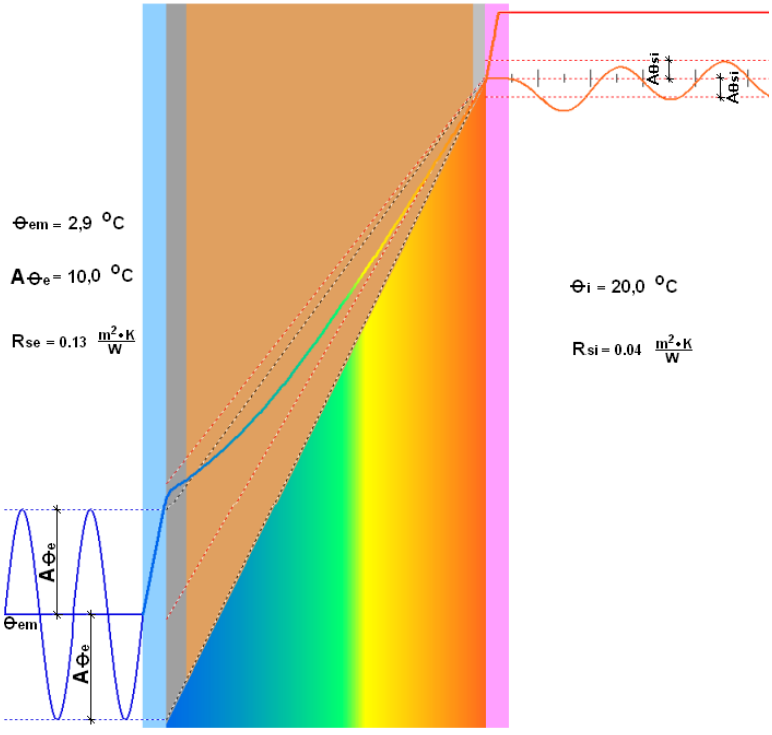


Figura 75. Condiţiile de contur pentru modelele comparate

Rezistenţele termice superficiale considerate în calcul sunt:

R_{si}=0,13 [(m^2·K)/W] rezistenţa termică interioară superficială

R_{se}=0,04 [(m^2·K)/W] rezistenţa termică exterioară superficială

I. Perete exterior cu stâlp de beton armat înglobat

Se prezintă rezultatele obţinute pentru cele 5 modele studiate.

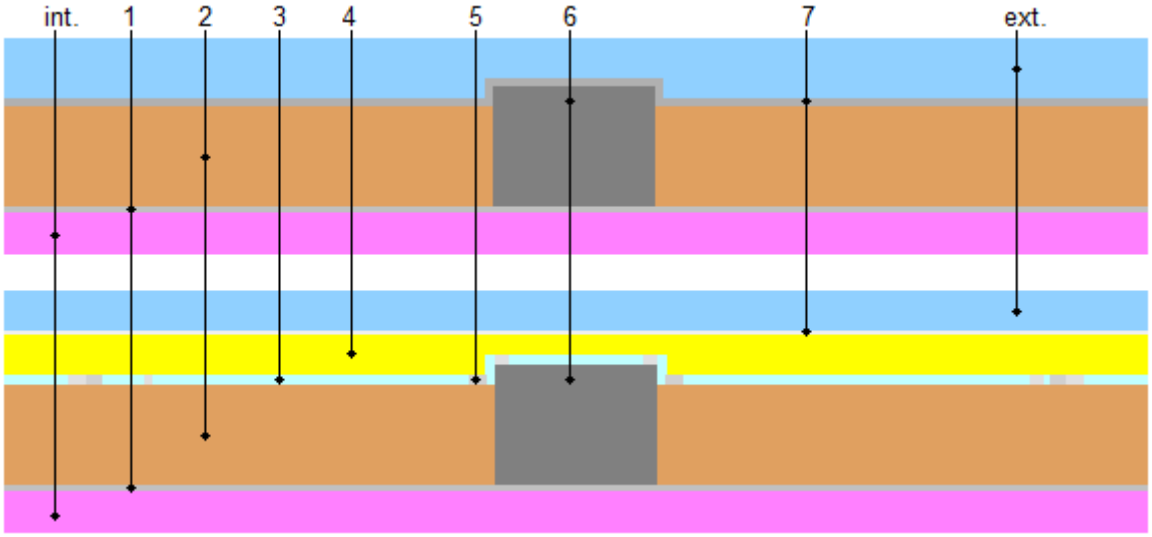


Figura 76. Perete exterior cu stâlp de beton armat de 30x40 cm

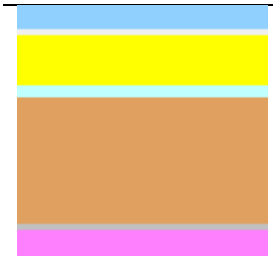
Modelul 1:

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	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**1,874**	[(m^2·K)/W]

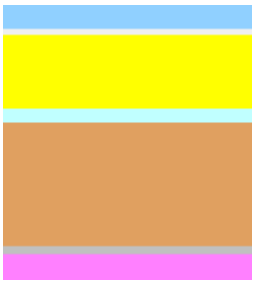
Tabel 63. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS

	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



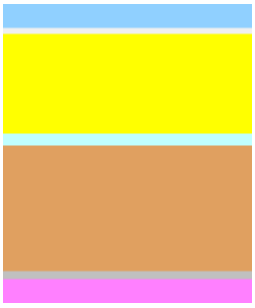
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**4,535**	[(m^2·K)/W]

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 – tencuială 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 cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**5,785**	[(m^2·K)/W]

Tabel 65. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS

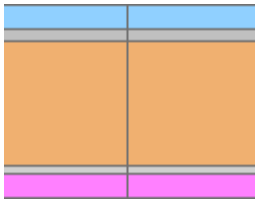


	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară – tencuială decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,20	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**7,035**	[(m^2·K)/W]

Modelul 2:

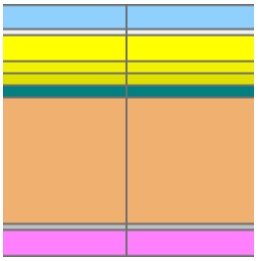
Tabel 66. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic

	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,070
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,276
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87



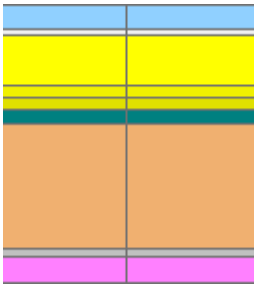
	Mediul interior		7,692
	R'	**1,112**	[(m^2·K)/W]

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– tencuială 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 cu goluri verticale	0,25	0,361
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	**3,515**	[(m^2·K)/W]

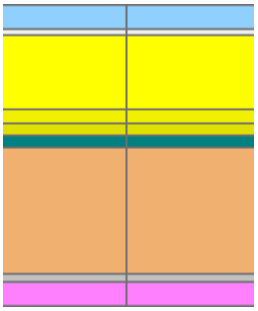
Tabel 68. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	0,25	0,359
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	**4,895**	[(m^2·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 cu goluri verticale	0,25	0,3570
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	R'	**6,202**	[(m^2·K)/W]

Modelul 3:

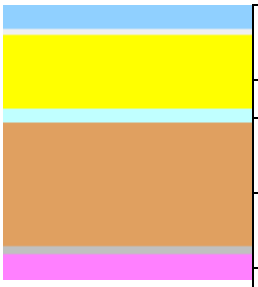
Tabel 70. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic

	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 ceramice cu goluri verticale	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

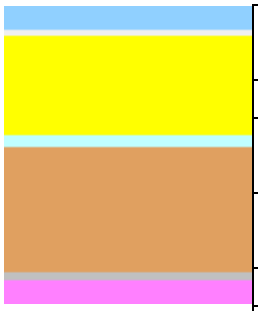
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară–tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială 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 cu goluri verticale	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**			

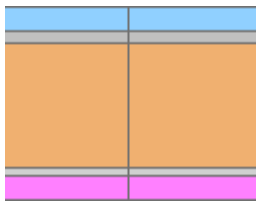
Tabel 73. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	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:

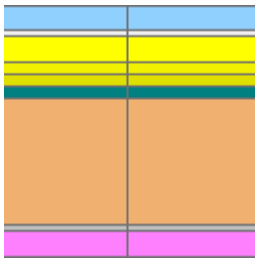
Tabel 74. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic



	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

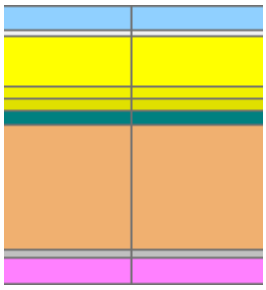
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,276	1477.574	1066,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	R'	**1,112**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**5,519**			

Tabel 75. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



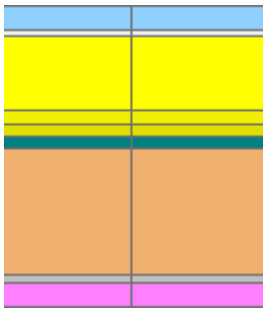
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - – tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04	20	1460
		0,025	0,021	68,954	1384,82
		0,025	0,268	479,464	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4263	649,848	991,18
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	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



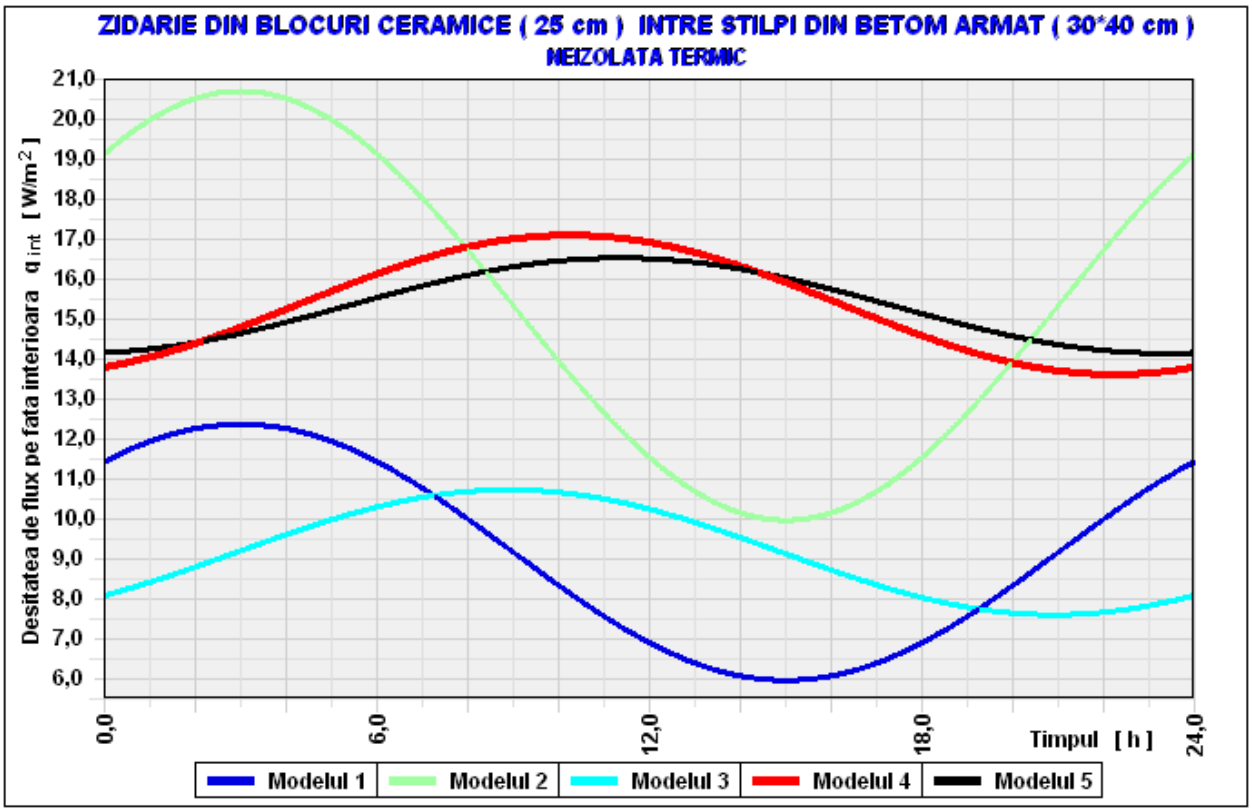
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	P [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
		0,025	0,0186	68,014	1384,82
		0,025	0,266	472,926	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4244	640,986	991,18
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,359	1432,4221	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**			

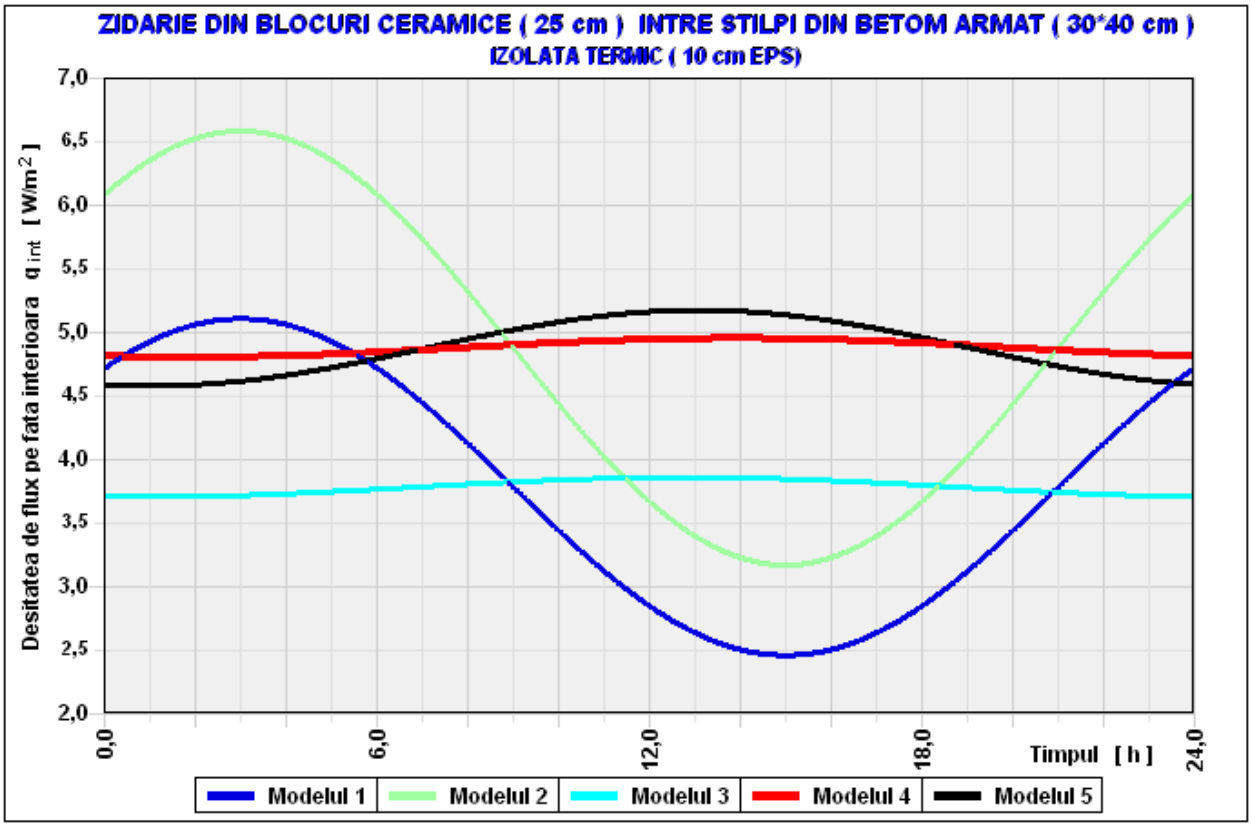
Tabel 77. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS

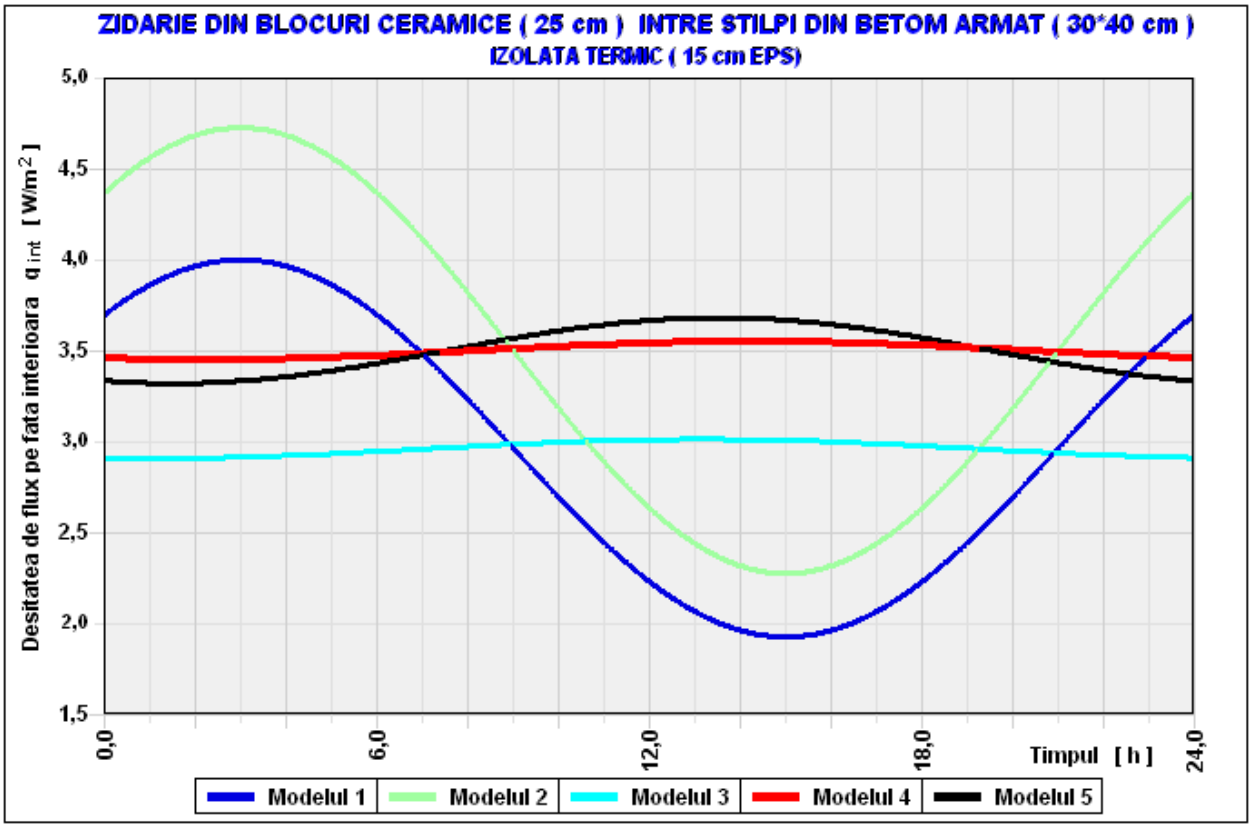


	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară – tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04	20	1460
		0,025	0,0179	67,464	1384,82
		0,025	0,2653	469,103	1387,47
3	Cavitate de aer	0,025	0,4236	635,8050	991,18
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	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**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**6,851**			

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variaţiei sinusoidale a fluxului temic pe suprafaţa interioară a elementului.




ZIDARIE DIN BLOCURI CERAMICE (25 cm) INTRE STILPI DIN BETOM ARMAT (30*40 cm)
IZOLATA TERMIC (10 cm EPS)
Densitatea de flux pe fata interioara q int [W/m2]
7,0
6,5
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
0,0
6,0
12,0
18,0
24,0
Timpul [h]
Modelul 1
Modelul 2
Modelul 3
Modelul 4
Modelul 5


ZIDARIE DIN BLOCURI CERAMICE (25 cm) INTRE STILPI DIN BETOM ARMAT (30*40 cm)
IZOLATA TERMIC (15 cm EPS)
Densitatea de flux pe fata interioara q int [W/m2]
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
0,0
6,0
12,0
18,0
24,0
Timpul [h]
Modelul 1
Modelul 2
Modelul 3
Modelul 4
Modelul 5

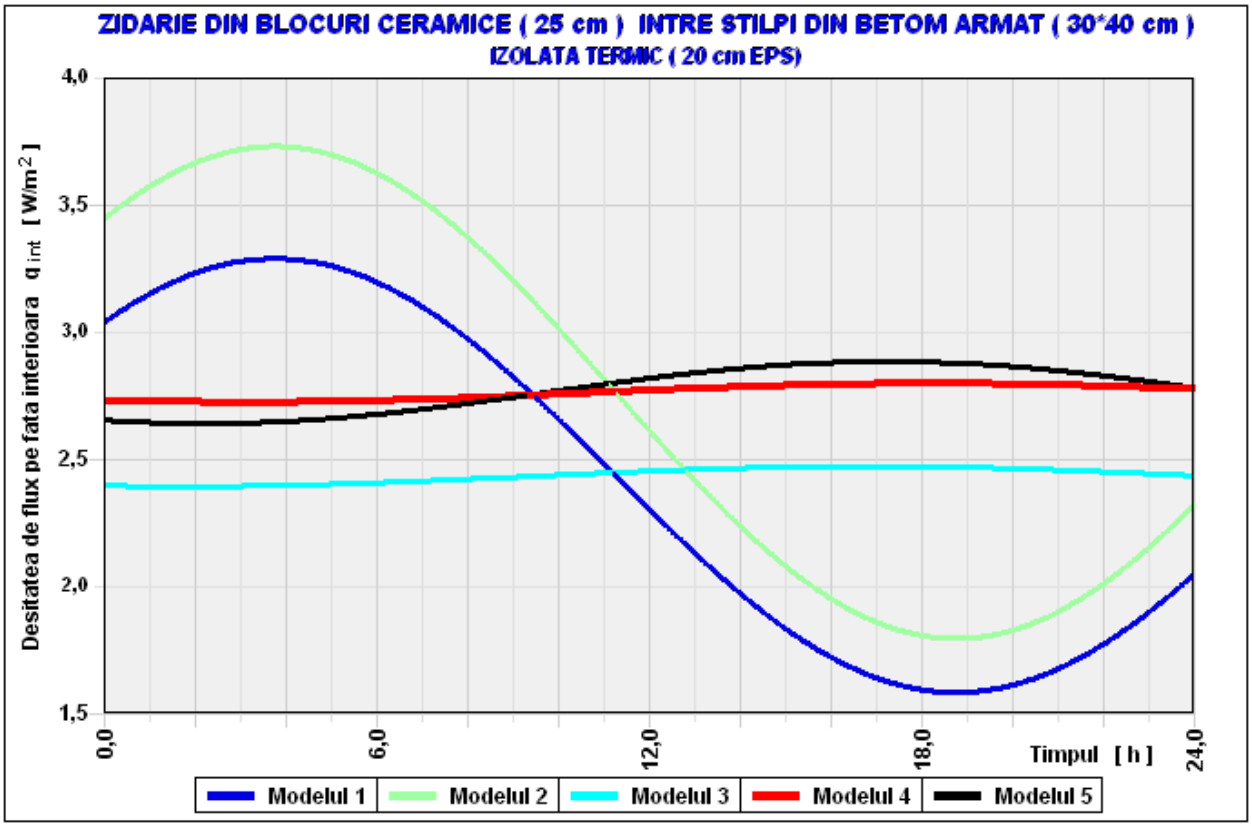


Figura 77. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Pentru un studiu mai cuprinzător a rezultatelor prezentate în figura 76, valori numerice ale q_{max} şi ale defazajelor sunt prezentate în tabelul 78. Ca şi definire a termenilor prezentaţi:

- q_{max}: valoarea maximă fluxului termic pe faţa interioară a elementului
- *Defazajul de undă termică (ε):* timpul, exprimat in ore, dupa care un maxim de temperatură a aerului exterior care vine în contact cu faţa exterioară a elementului se resimte tot la o valoare maximă pe faţa interioară a acestuia;

$$\varepsilon = t_{max}^{\theta si} - t_{max}^{\theta se}$$

Tabel 78. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolat 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	12,32	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. *Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime*

Paşii de calcul sunt aceaşi cu cei prezentaţi la exemplul anterior. Se prezintă rezultatele obţinute pentru cele 5 modele studiate.

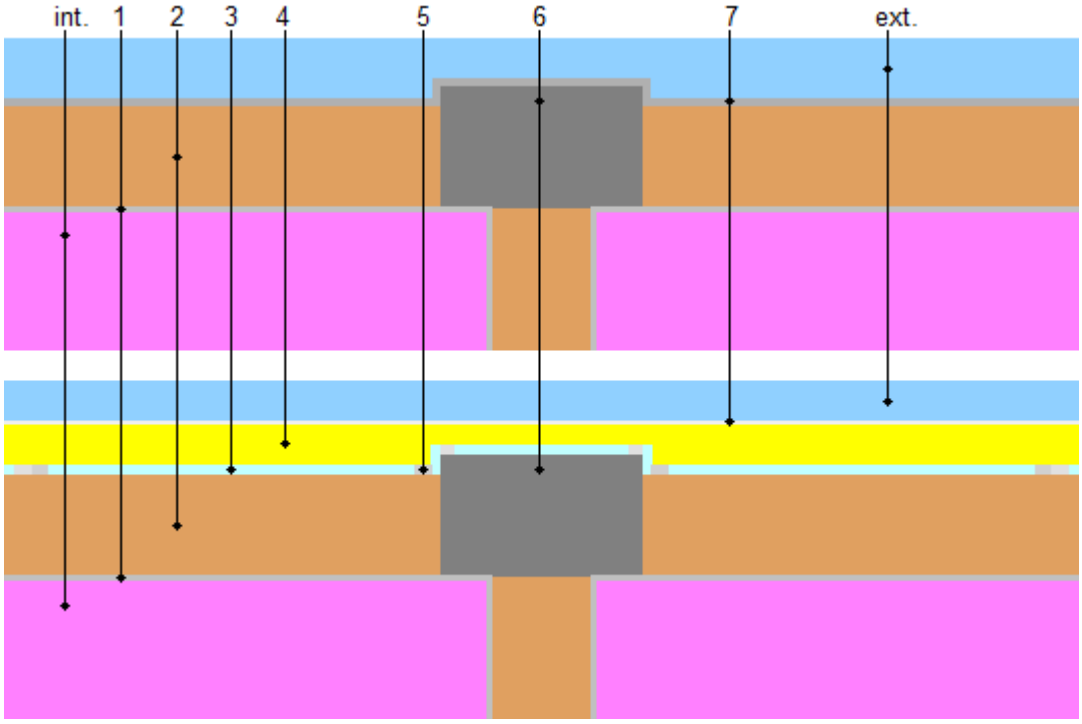


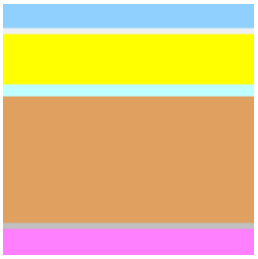
Figura 78. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime

Modelul 1:

Tabel 79. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic

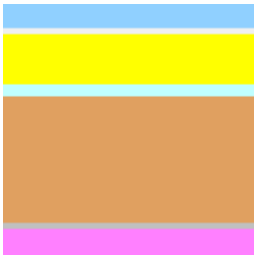
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**1,874**	[(m^2·K)/W]

Tabel 80. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



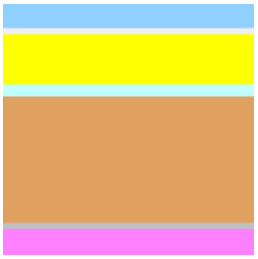
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**4,396**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 81. Intersecţie 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 cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**5,645**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

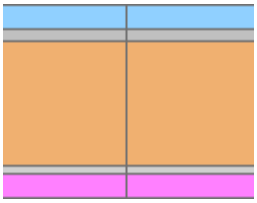
Tabel 82. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**6,895**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

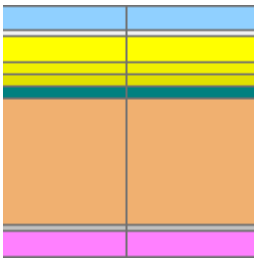
Modelul 2:

Tabel 83. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic



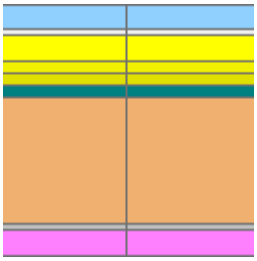
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,013
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,322
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,624
	Mediul interior		7,692
	R'	**0,991**	[(m^2·K)/W]

Tabel 84. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



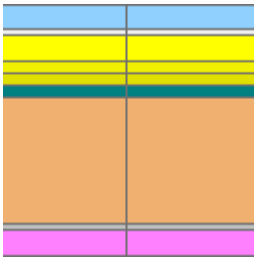
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,361
3	Cavitate de aer	0,025	0,519
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,448
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,692
	R'	**3,037**	[(m^2·K)/W]

Tabel 85. Intersecţie 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 cu goluri verticale	0,25	0,448
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,692
	R'	**4,273**	[(m^2·K)/W]

Tabel 86. Intersecţie 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 cu goluri verticale	0,25	0,451
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,751
	Mediul interior		7,53
	R'	**5,445**	[(m²·K)/W]

Modelul 3:

Tabel 87. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic

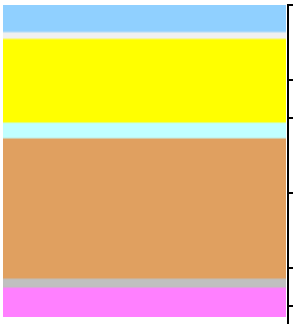
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m³]	c [J/(kg·K)]
	Mediul interior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,00	1800	1000
2	Bloc ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul exterior		7,692		
	$R_{câmp}$	**1,874**	[(m²·K)/W]		
	D	**5,875**			

Tabel 88. Intersecţie 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/m³]	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 cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077

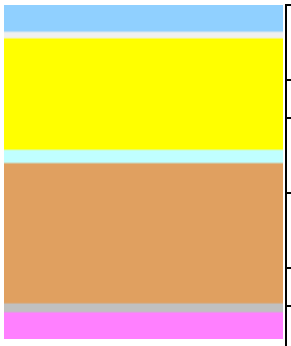
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	$R_{câmp}$	**4,396**	[(m^2·K)/W]		
	D	**6,516**			

Tabel 89. Intersecţie 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 cu goluri verticale	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**			

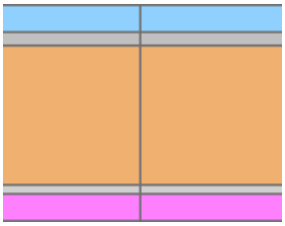
Tabel 90. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	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**			

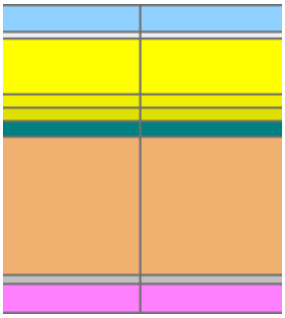
Modelul 4:

Tabel 91. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic



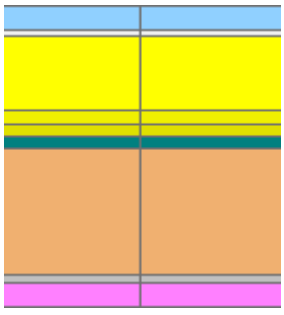
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,013	2554,174	1000
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,322	1617,119	1062,63
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,624	2132,348	862,11
	Mediul interior		7,692		
	R'	**0,991**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**5,416**			

Tabel 92. Intersecţie 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 cu goluri verticale	0,25	0,459	1710,051	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2407,278	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	**3,037**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**6,003**			

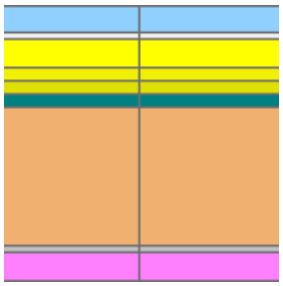
Tabel 93. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



	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 EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
		0,025	0,028	77,544	1363,11

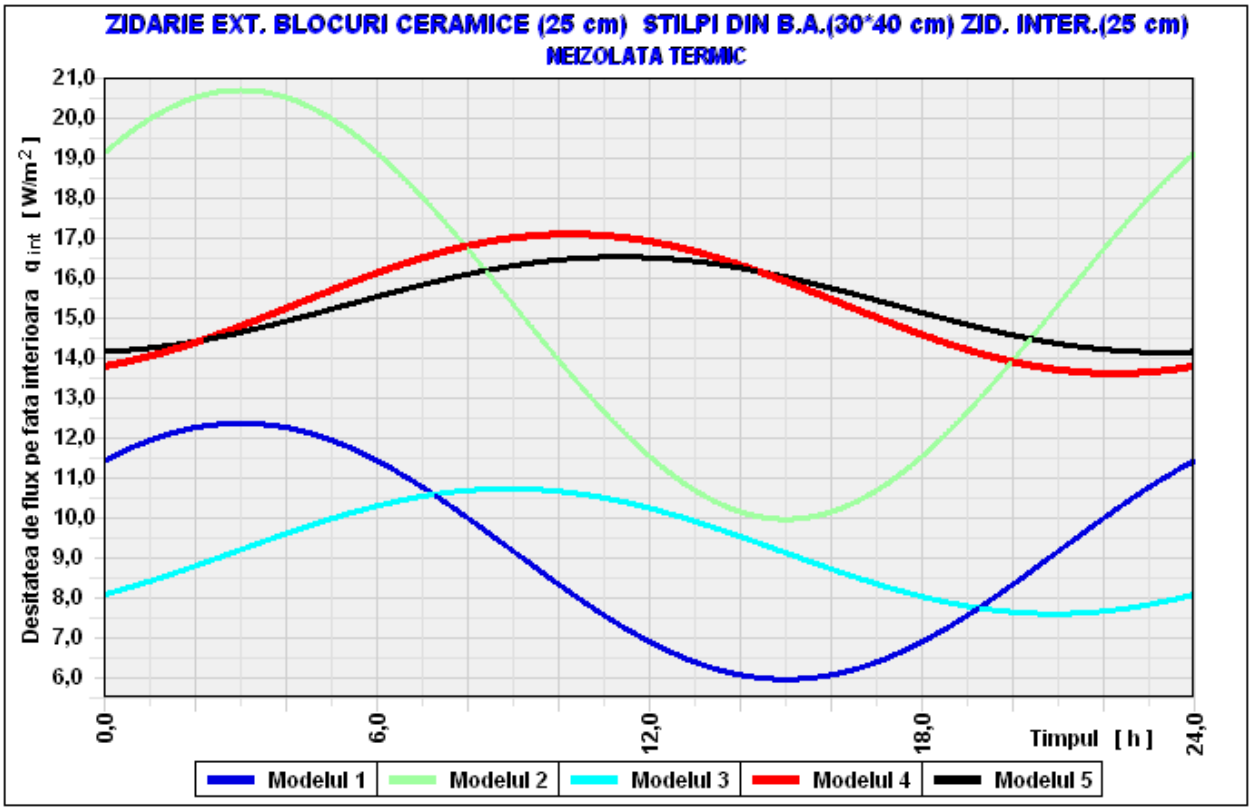
		0,025	0,371	688,577	1365,71
3	Cavitate de aer	0,025	0,506	889,471	990,01
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,459	1696,253	1062,63
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2236,645	862,11
	Mediul interior		7,692		
	R'	**4,273**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**6,367**			

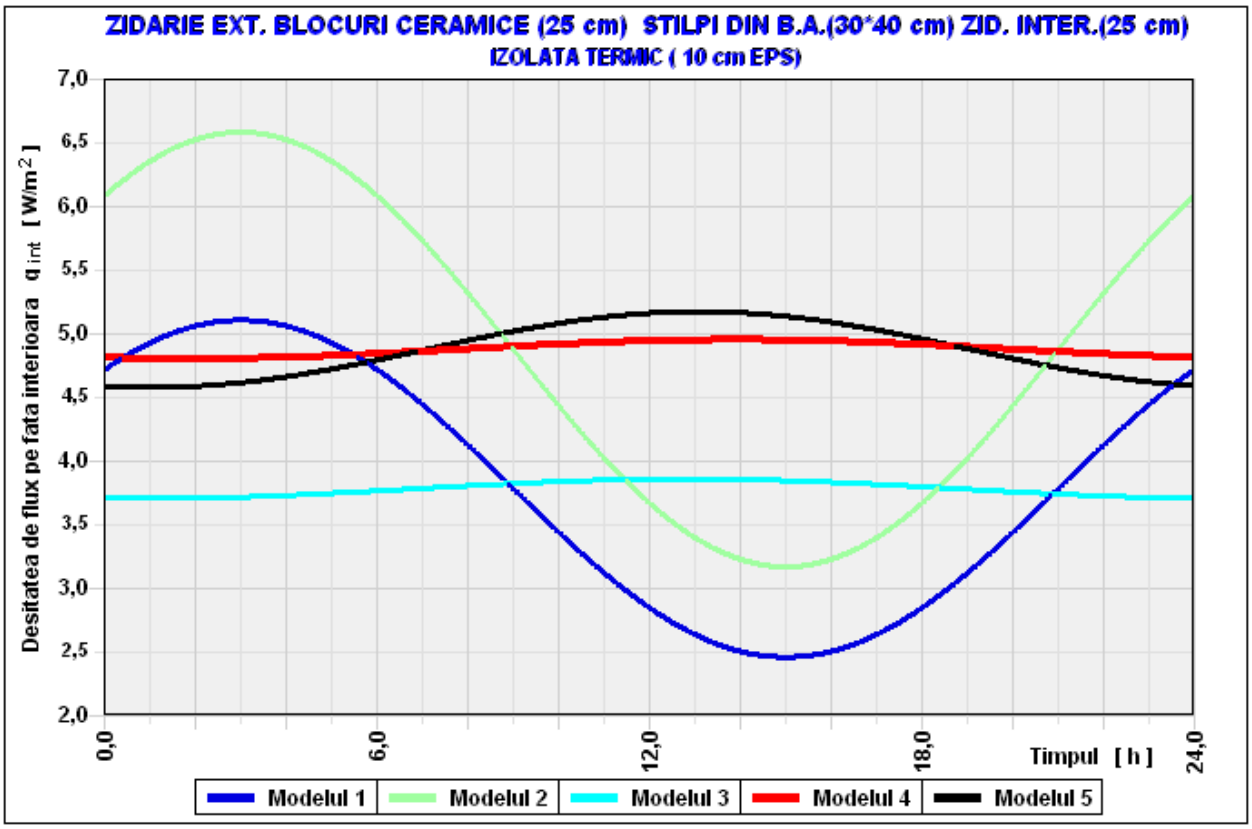
Tabel 94. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară -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 cu goluri verticale	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**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**6,732**			

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variaţiei sinusoidale a fluxului temic pe suprafaţa interioară a elementului.


ZIDARIE EXT. BLOCURI CERAMICE (25 cm) STILPI DIN B.A.(30*40 cm) ZID. INTER.(25 cm)
NEIZOLATA TERMIC
Desitatea de flux pe fata interioara q int [W/m2]
21,0
20,0
19,0
18,0
17,0
16,0
15,0
14,0
13,0
12,0
11,0
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
0,0
6,0
12,0
18,0
24,0
Timpul [h]
Modelul 1
Modelul 2
Modelul 3
Modelul 4
Modelul 5


ZIDARIE EXT. BLOCURI CERAMICE (25 cm) STILPI DIN B.A.(30*40 cm) ZID. INTER.(25 cm)
IZOLATA TERMIC (10 cm EPS)
Desitatea de flux pe fata interioara q int [W/m2]
7,0
6,5
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
0,0
6,0
12,0
18,0
24,0
Timpul [h]
Modelul 1
Modelul 2
Modelul 3
Modelul 4
Modelul 5

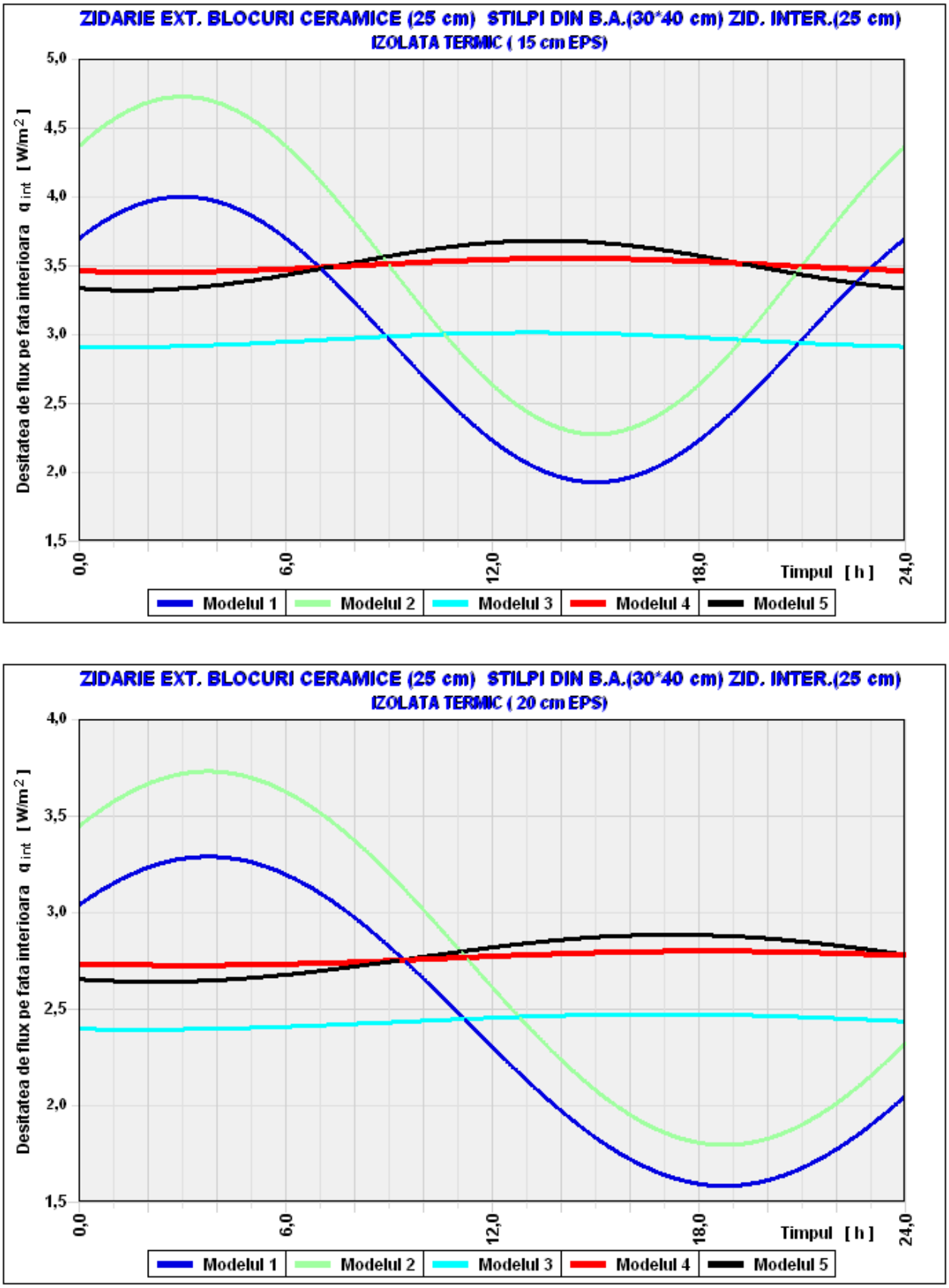


Figura 79. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Tabel 95. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolat 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	4,4,09	10,40	3,17	10,63

III. Intersecţie planşeu de beton armat cu perete exterior

Paşii de calcul sunt aceaşi cu cei prezentaţi la exemplul anterior. Se prezintă rezultatele obţinute pentru cele 5 modele studiate.

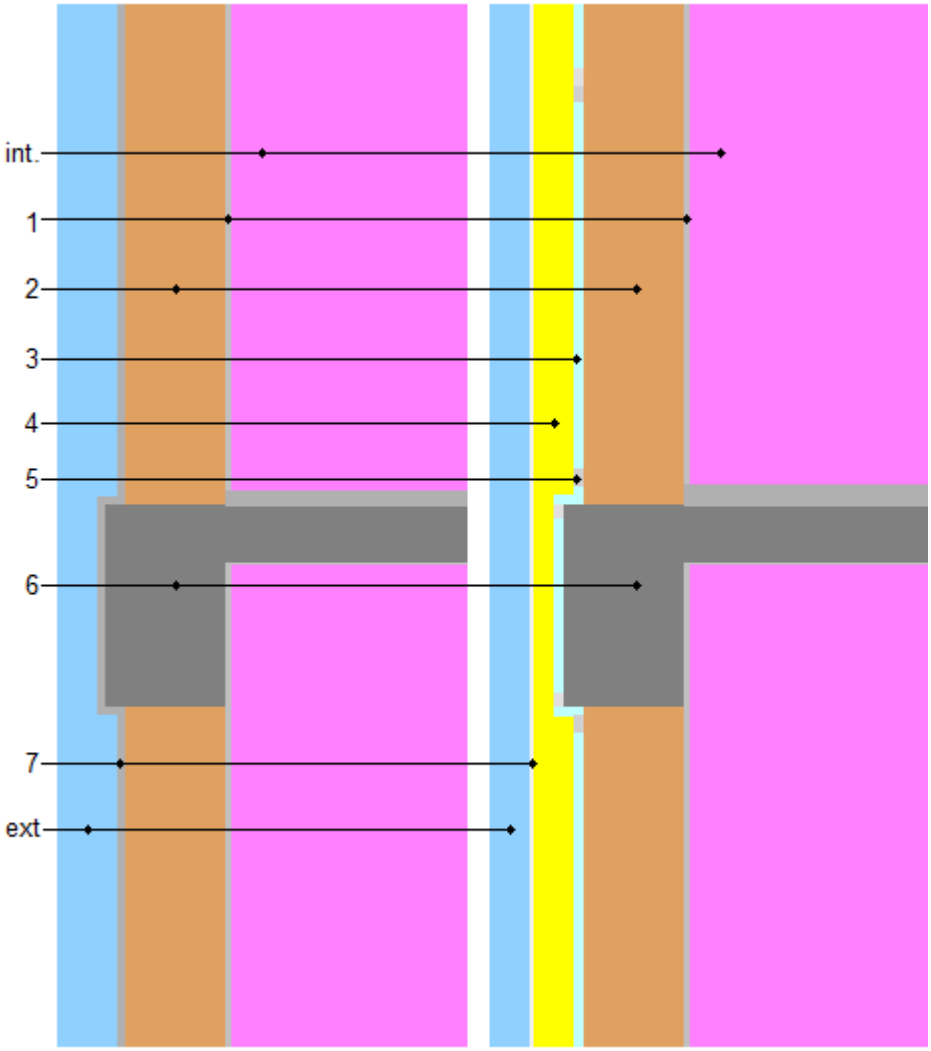


Figura 80. Intersecţie planşeu din beton armat cu perete exterior

Modelul 1:

Tabel 96. Intersecţie perete exterior cu planşeu 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	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**1,874**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 97. Intersecţie perete exterior cu planşeu 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 cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**4,535**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 98. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS

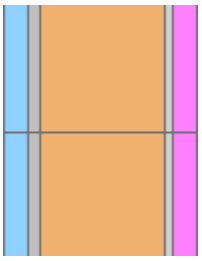
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,15	0,04
3	Cavitate de aer	0,025	0,15
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**5,785**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 99. Intersecţie perete exterior cu planşeu 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 cu goluri verticale	0,25	0,15
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87
	Mediul interior		7,692
	$R_{câmp}$	**7,035**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

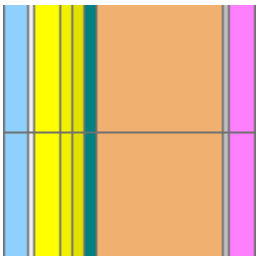
Modelul 2:

Tabel 100. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



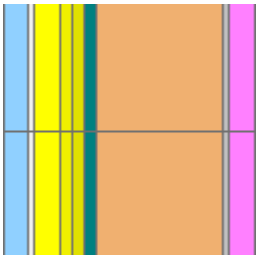
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară - mortar	0,020	1,060
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,374
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,797
	Mediul interior		7,692
	R'	**0,877**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 101. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



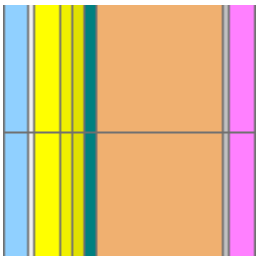
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]
	Mediul exterior		25
7	Tencuială exterioară– tencuiala decorativă	0,010	0,70
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,05	0,04
		0,025	0,028
		0,025	0,371
3	Cavitate de aer	0,025	0,506
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	**3,022**	[$(m^2 \cdot K)/W$]

Tabel 102. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu 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 cu goluri verticale	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	**4,313**	[(m^2·K)/W]

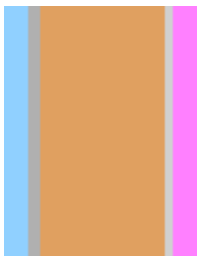
Tabel 103. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	0,25	0,459
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881
	Mediul interior		7,692
	R'	**5,529**	[(m^2·K)/W]

Modelul 3:

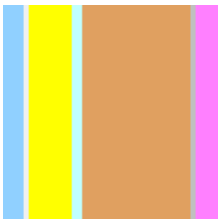
Tabel 104. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic



	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	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077

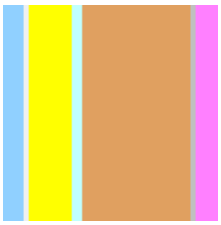
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul exterior		7,692		
	$R_{câmp}$	**1,874**	[$(m^2 \cdot K)/W$]		
	D	**5,875**			

Tabel 105. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



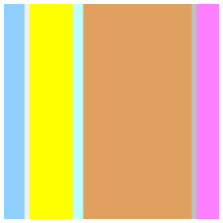
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară–tencuiala decorativă	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
3	Cavitate de aer	0,025	0,15	1,23	1006
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	$R_{câmp}$	**4,535**	[$(m^2 \cdot K)/W$]		
	D	**6,516**			

Tabel 106. Intersecţie perete exterior cu planşeu 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 cu goluri verticale	0,25	0,15	921	1077
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,87	1700	840
	Mediul interior		7,692		
	$R_{câmp}$	**5,785**	[$(m^2 \cdot K)/W$]		
	D	**6,880**			

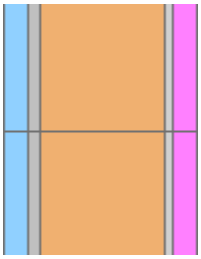
Tabel 107. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	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**			

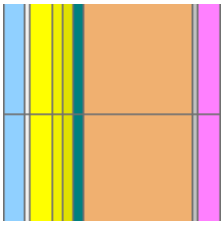
Modelul 4:

Tabel 108. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu 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 cu goluri verticale	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**			

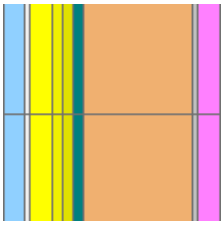
Tabel 109. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS



	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

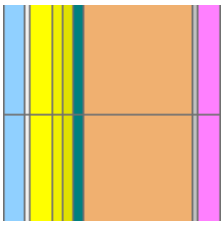
		0,025	0,371	709,362	1362,81
3	Cavitate de aer	0,025	0,506	841,244	994,63
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,459	1710,051	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,881	2407,278	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	**3,022**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**5,963**			

Tabel 110. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS



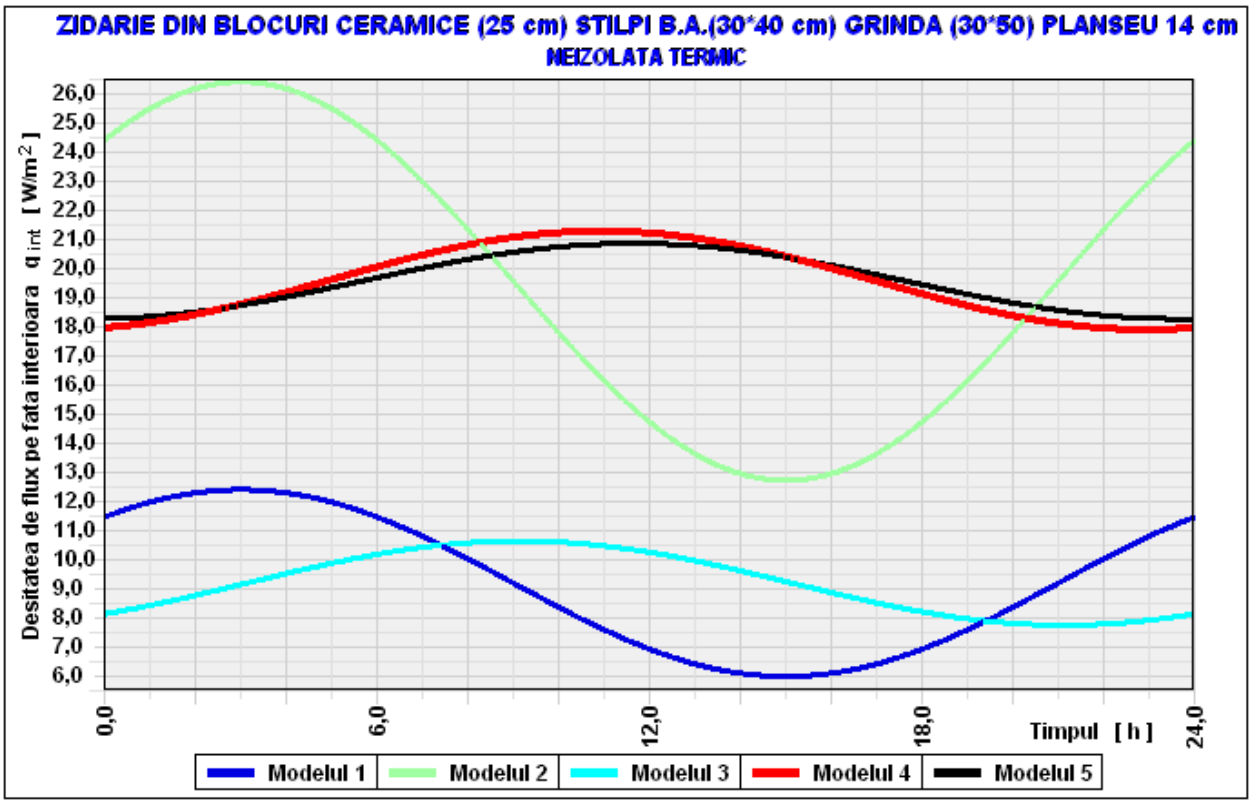
	Materiale	d [m]	λ [W/(m·K)]	ρ [kg/m^3]	c [J/(kg·K)]
	Mediul exterior		25		
7	Tencuială exterioară - – tencuiala decorativa	0,010	0,70	1700	840
5	Polistiren extrudat EPS spumă rigidă	0,10	0,04	20	1460
		0,025	0,027	78,542	1360,13
		0,025	0,369	704,069	1362,81
3	Cavitate de aer	0,025	0,504	834,966	994,63
2	Blocuri ceramice cu goluri verticale	0,25	0,457	1697,597	1062,19
1	Tencuială interioară - mortar	0,015	0,880	2389,313	851,69
	Mediul interior		7,692		
	R'	**4,313**	[(m^2·K)/W]		
	D'	**6,327**			

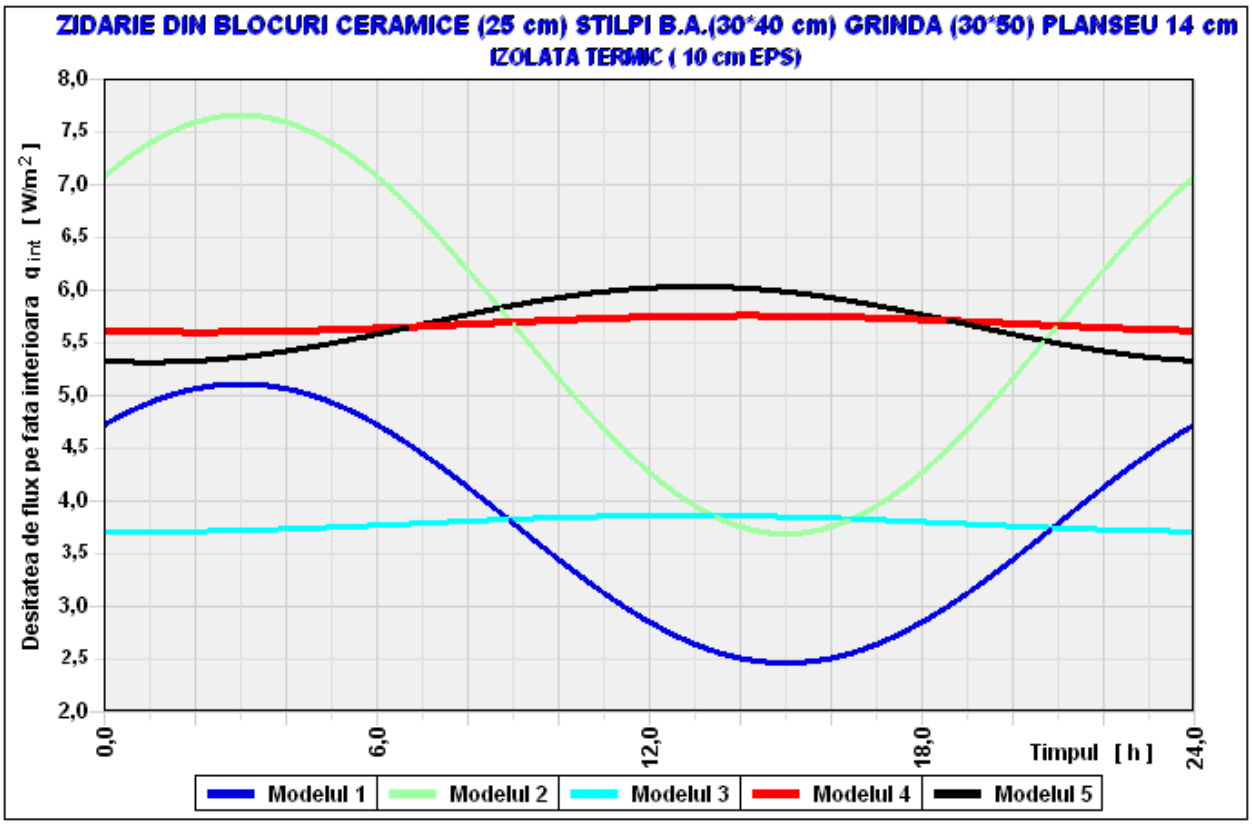
Tabel 111. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS



	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 cu goluri verticale	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·K)/W]		
	D'	**6,691**			

În urma calculelor efectuate pentru cele 5 modele au fost generate curbele aferente variaţiei sinusoidale a fluxului temic pe suprafaţa interioară a elementului.





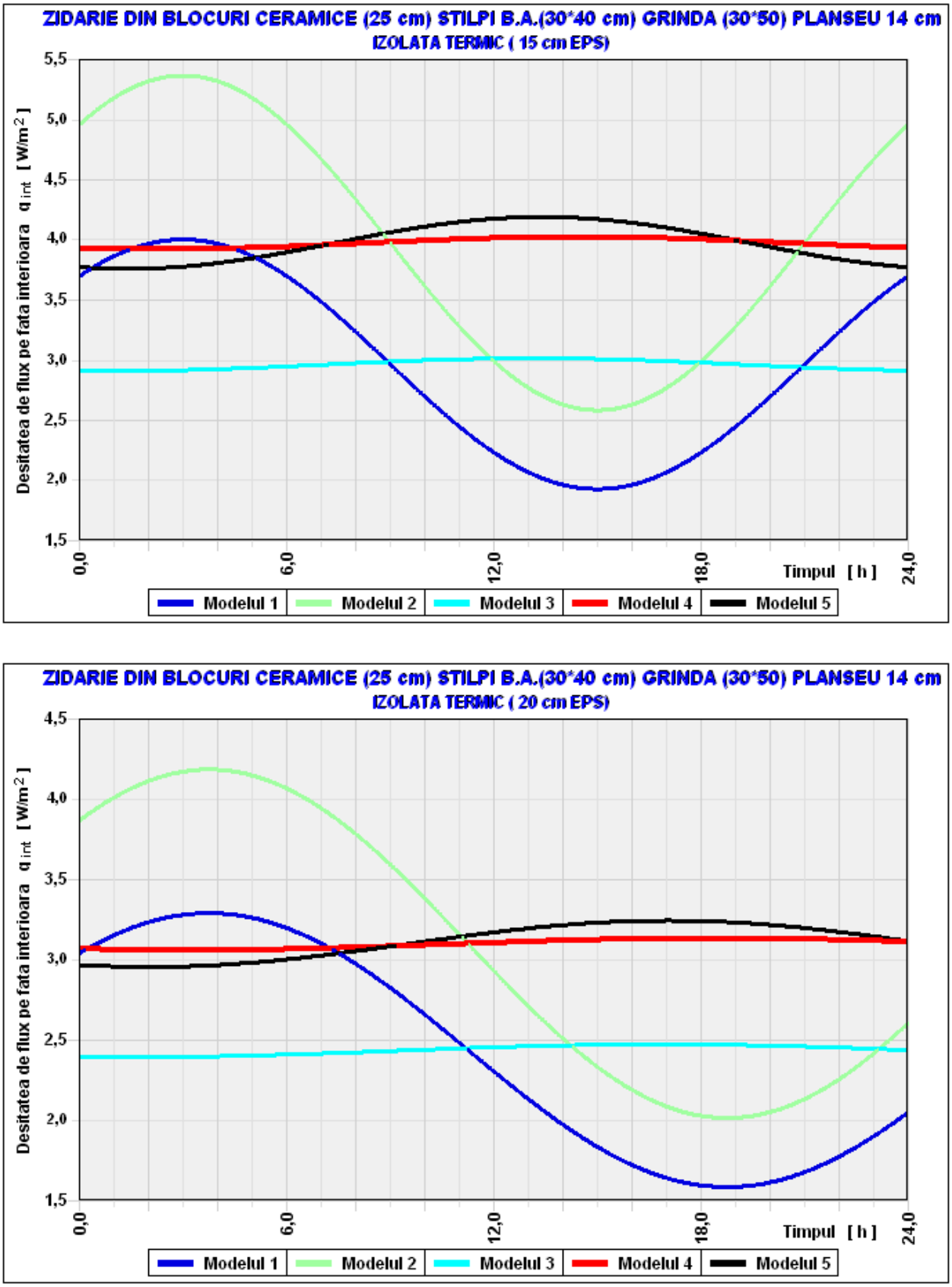


Figura 81. Compararea fluxurilor termice interioare pentru modelele definite în cele 4 cazuri studiate: a) neizolat termic, b) izolat termic cu 10 cm EPS, c) izolat termic cu 15 cm EPS, d) izolat termic cu 20 cm EPS

Tabel 112. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate

Cazul	Neizolat termic		Izolat 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 obţinute şi reprezentate în graficele celor trei elemente cu punţi termice, în cele 5 modele de calcul, rezultă următoarele:

- prin luarea în considerare a prezenţei punţilor termice se obţin rezultate sensibil diferite atât în calculul în regim termic staţionar cât şi în calculul în regim termic dinamic;
- din punct de vedere a intensităţii densităţii de flux pe faţa interioară a elementului modelul 1, care este utilizat în mod curent în proiectarea performanţei termice a elementelor de construcţii, are valoarea mai redusă decă în cazul modelului 2 unde se ţine seama de rezistenţa termică R', adică de prezenţa punţii termice. Datorită faptului că în cele două modele nu se ţine seama de inerţia termică, defazajul ε este egal cu 0h;
- în modelul 3, în care se utilizează rezistenţa termică în câmpul curent şi inerţia termică în câmpul curent al elementului, fără a ţine seama de prezenţa punţilor termice, se obţine valoarea fluxului densităţii de flux termic cea mai scăzută dintre toate modelel studiate. De asemenea defazajul are valoarea cea mai redusă dintre cele 5 modele de calcul;
- în modelul 4 se obţine valoarea densităţii interioare de flux de regulă, mai mare decât a modelului 3 dar mai mică decât a modelului 2. Defazajul rezultă mai mare decă la modelul 3;
- valorile densităţii de flux interior scad odată cu creşterea gradului de protecţie termică a elementului (cu creşterea grosimei termoizolaţiei);
- defazajul este mai ridicat la elementele izolate termic faţă de cazul elementului neizolat termic, cu diferenţe de creştere a defazajelor fiind foarte reduse;
- pentru toate elementele studiate se observă că comportarea modelul 4 se apropie cu diferenţe reduse faţă de comportarea modelului 5 care generează rezultate apropiate de fenomenul real de comportare a elementului.

Actualele programe de simulare a eficienţei energetice a clădirilor au două neajunsuri în ceea ce priveşte includerea efectului dinamic al punţilor termice. Primul neajuns constă în faptul că fluxul termic bi-dimensional generat de o punte termică este evaluat unidirecţional de către programe. Iar cel de-al doilea neajuns constă în faptul că nu se ia în considerare efectul inerţiei termice a punţii termice.

În consecinţă se impune necesitatea găsirii unui model de calcul unidirecţional care să aibă acelaş efect în calculul necesarului anual de energie ca şi 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 punţilor termice şi a inerţiei 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 enegetice rezultate pentru o clădire de locuit P+4E. Pentru evaluarea performanţei energetice a clădirii s-au luat în considerare consumurile energetice pentru încălzire. Calculele s-au efectuat în regim termic nestaţionar.

Clădirea evaluată este de tip “bloc de locuinţe” fiind situată în Cluj-Napoca. Construcţia a fost realizată în anii 1980. Accesul principal în clădire are loc pe faţada orientată sud.

Clădirea este de formă dreptungiulară cu un regim de înălţime P+4E. Dimensiunile în plan ale clădirii sunt 20,15 m x 12,35 m cu o suprafaţă totală construită de 248,85 m^2.

Blocul are 20 apartamente, câte 4 apartamente pe fiecare etaj. Clădirea are o scară interioară şi nu este prevăzută cu ascensor. Soluţia arhitecturală grupează următoarele funcţiuni pe nivel:

- parter: 4 apartamente (dormitor,bucătărie,baie,hol)

-etaj 1…4: apartamente (dormitor,bucătărie,baie,hol) şi uscătorie

Inălţimile de nivel sunt:

- parter: 3,00m

- etajele 1…4 : 3,00m

Fiecare apartament are o suprafaţă utilă de 44,85 m^2. Uscătoriile în număr de 4, au fiecare 11,02 m^2. Pe ansamblul clădirii, apartamentele au suprafaţa utilă de 896,9 m^2 şi împreună cu uscătoriile au o suprafaţă de 941,80 m^2.

Suprafaţă totală a casei scării este de 93,35 m^2, rezultând aria apartamentelor, uscătoriilor şi aria casei scării cu o valoare egală cu 1035,15 m^2.

Volumul util pentu fiecare apartament 125,58 m^2 şi pentru toate apartamentele clădirii 2511,6 m^3. Volumul util al fiecărei uscătorii este 30,856 m^3 si pentru toate uscătoriile este 123,424 m^3. In consecinţă, volumul util al clădirii este 2635,024 m^3.

Volumul casei scării este 261,38 m^3.

Suma celor două volume ne va da volumul interior al clădirii 2896,404 m^3.

Tâmplăria exterioară a apartamentelor din clădire este cu rama din lemn de răşinoase, de tip cuplată, cu 2 foi de geam simplu, prezentând elemente de degradare. Uşa de intrare în clădire este metalică, neetanşă, prezentând rosturi mari. Aceasta nu este prevăzută cu sistem automat de închidere.

Structura de rezistenţă este realizată din zidărie portantă tip GVP de 29 de cm, tencuită pe ambele feţe, cu sâmburi din beton armat în toate intersecţiile pereţilor din zidărie. Planşeul este din beton armat monolit de 14 cm grosime. Accesul pe verticală se realizează printro scară cu 2 rampe realizată din beton armat. Planşeul terasă este o soluţie clasică, având o termoizolaţie de 25 de cm din zgură granulară.

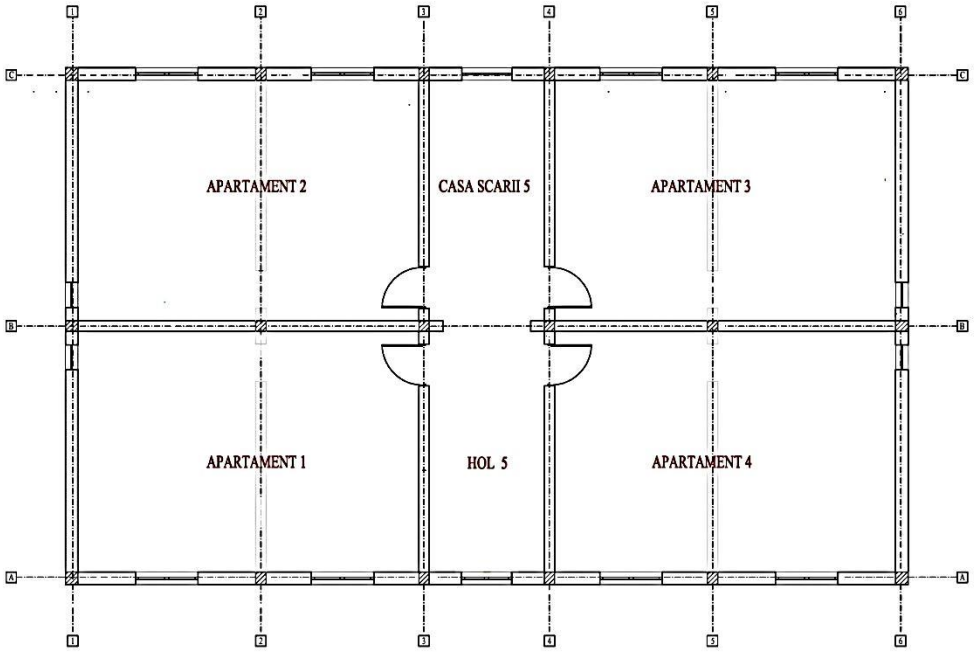


Figura 82. Schema de dispunere a apartamentelor la parter

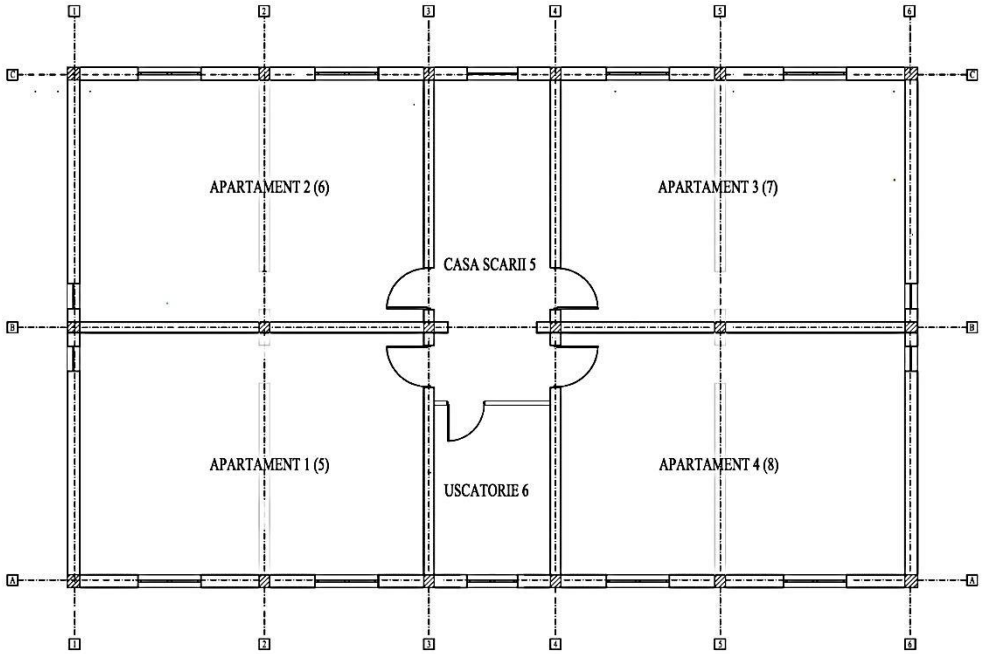


Figura 83. Schema de dispunere a apartamentelor la etaj

5.5.2. Condiţii climatice specifice amplasamentului clădirii

Clădirea s-a considerat amplasată în Cluj-Napoca (respectiv zona III climatică) cu orientarea faţadei principale spre sud. Condiţiile 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 variaţia orară a temperaturii aerului exterior. Pentru a putea fi vizualizată într-un format inteligibil, se prezintă în figura 83 variaţia medie zilnică a temperaturii exterioare pe perioada de încălzire din timpul unui an.

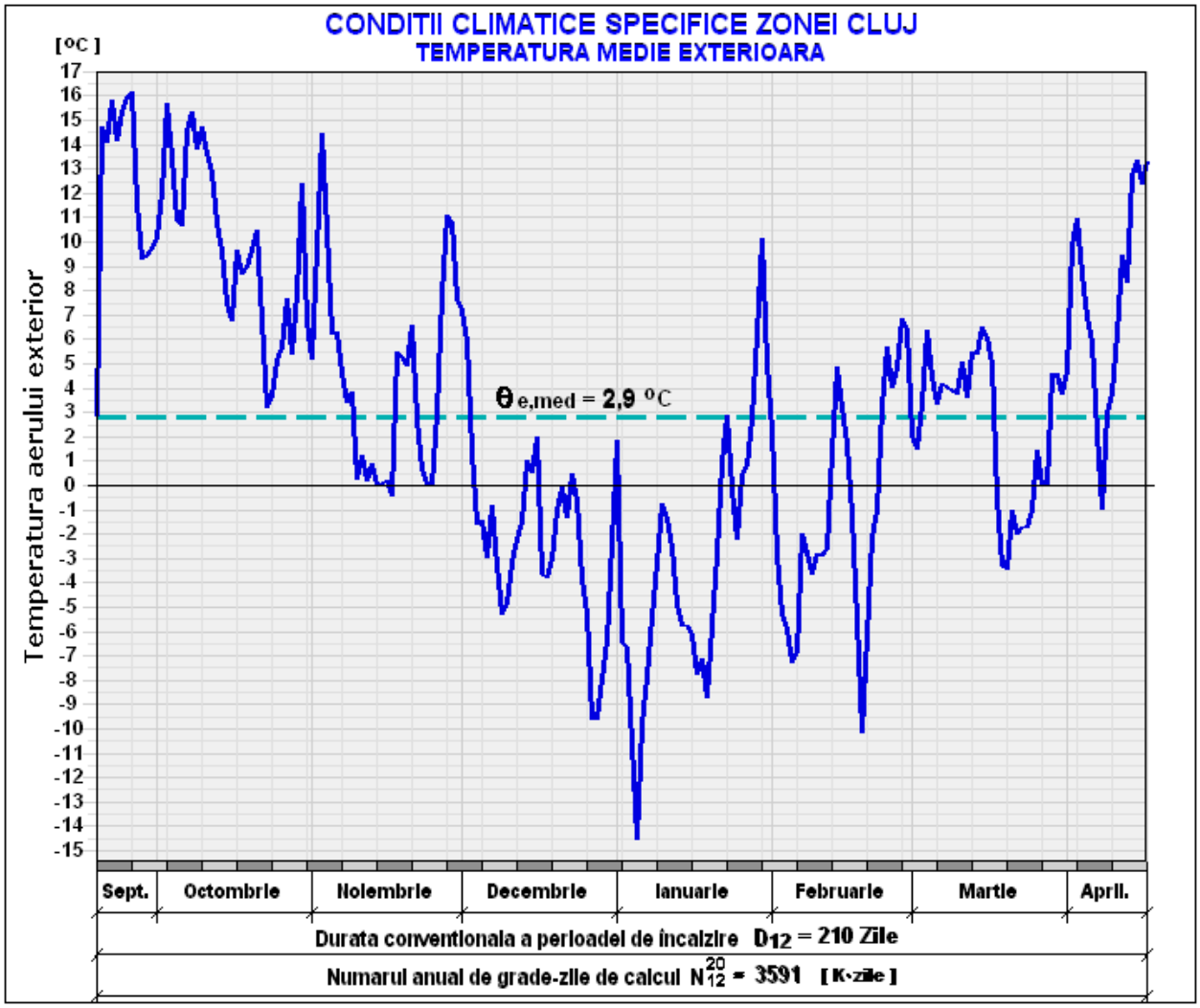


Figura 84. Variaţia temperaturii aerului exterior pentru zona Cluj

Pentru evaluarea aporturilor de căldură din variaţia solară s-au utilizat datele cu valorile orare ale intensităţii radiaţiei solare pentru toate orientările cardinale uzuale, atât pentru radiaţia directă cât şi pentru radiaţia difuză. Pentru o mai bună vizualizare a variaţiei intensităţii radiaţiei solare, se prezintă în figura 84 curbele de variaţie pentru principalele orientări cardinale, pentru elementele verticale ale anvelopei clădirii.

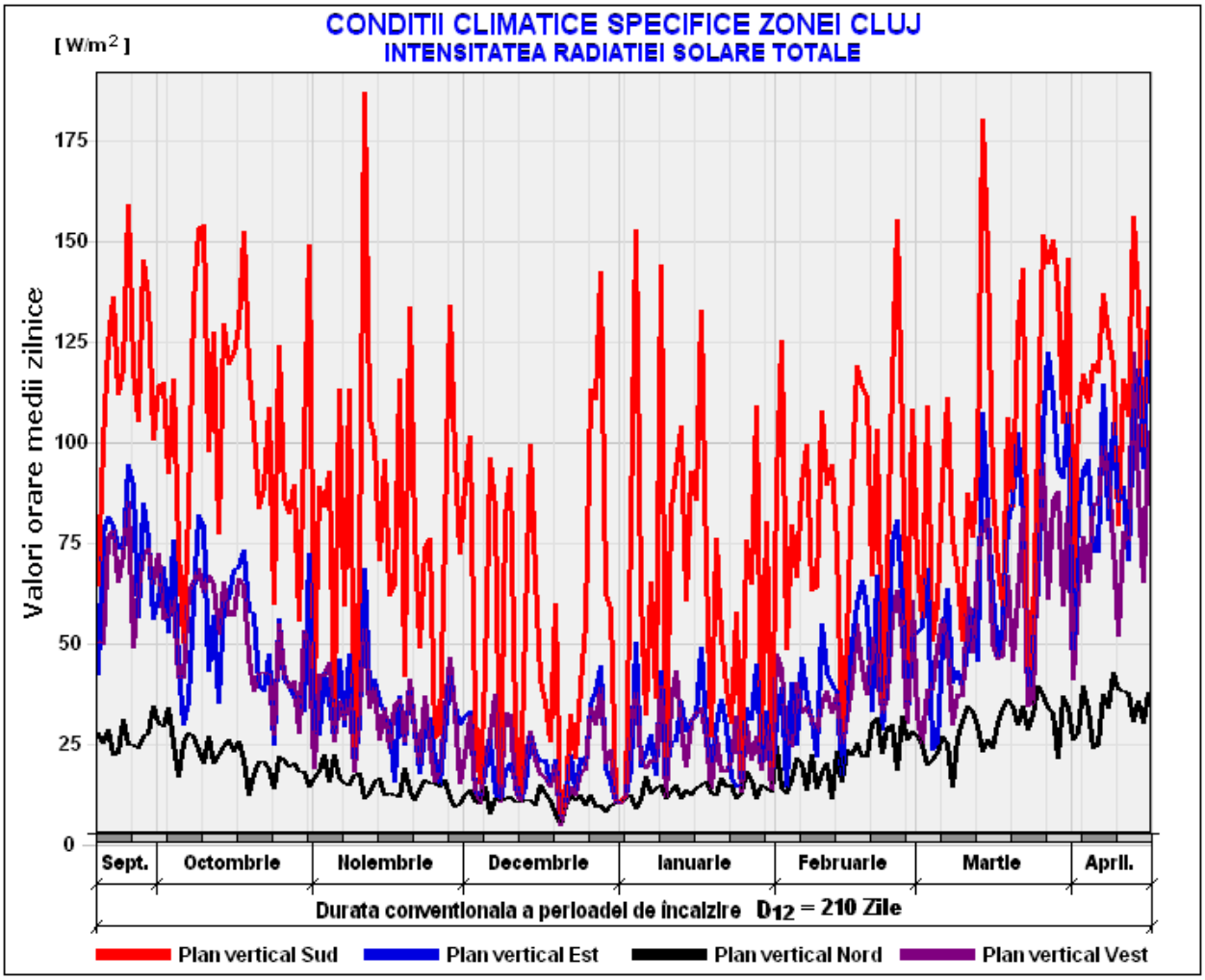


Figura 85. Intensitatea radiaţiei solare totale pentru zona Cluj

O diferenţă majoră faţă de calculul clasic în regim termic staţionar 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 şi temperaturii medii radiante a elementelor (vezi cap. 4.5). Această temperatură este temperatura de comfort resimţită de locatari.

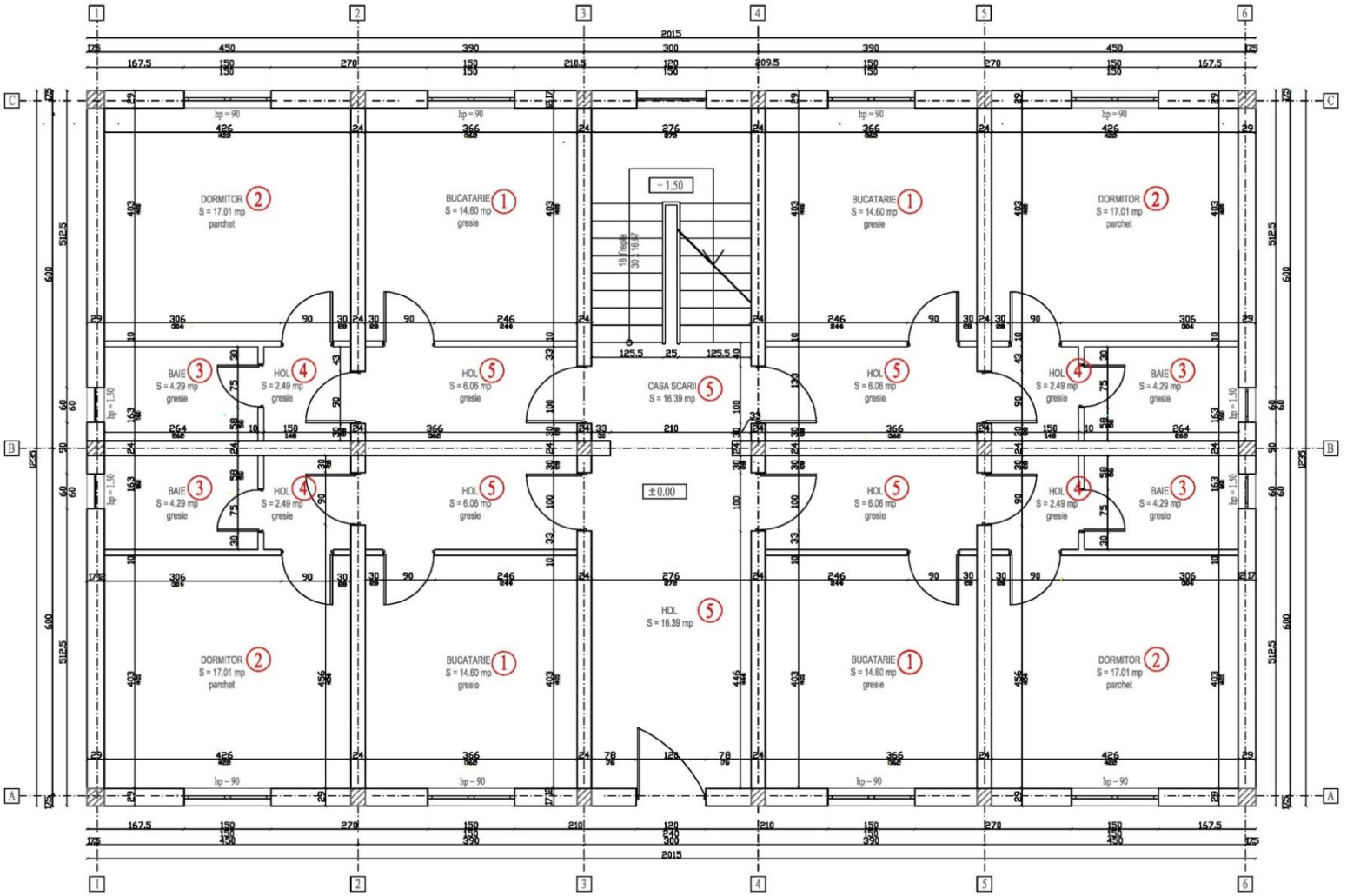


Figura 86. Plan parter

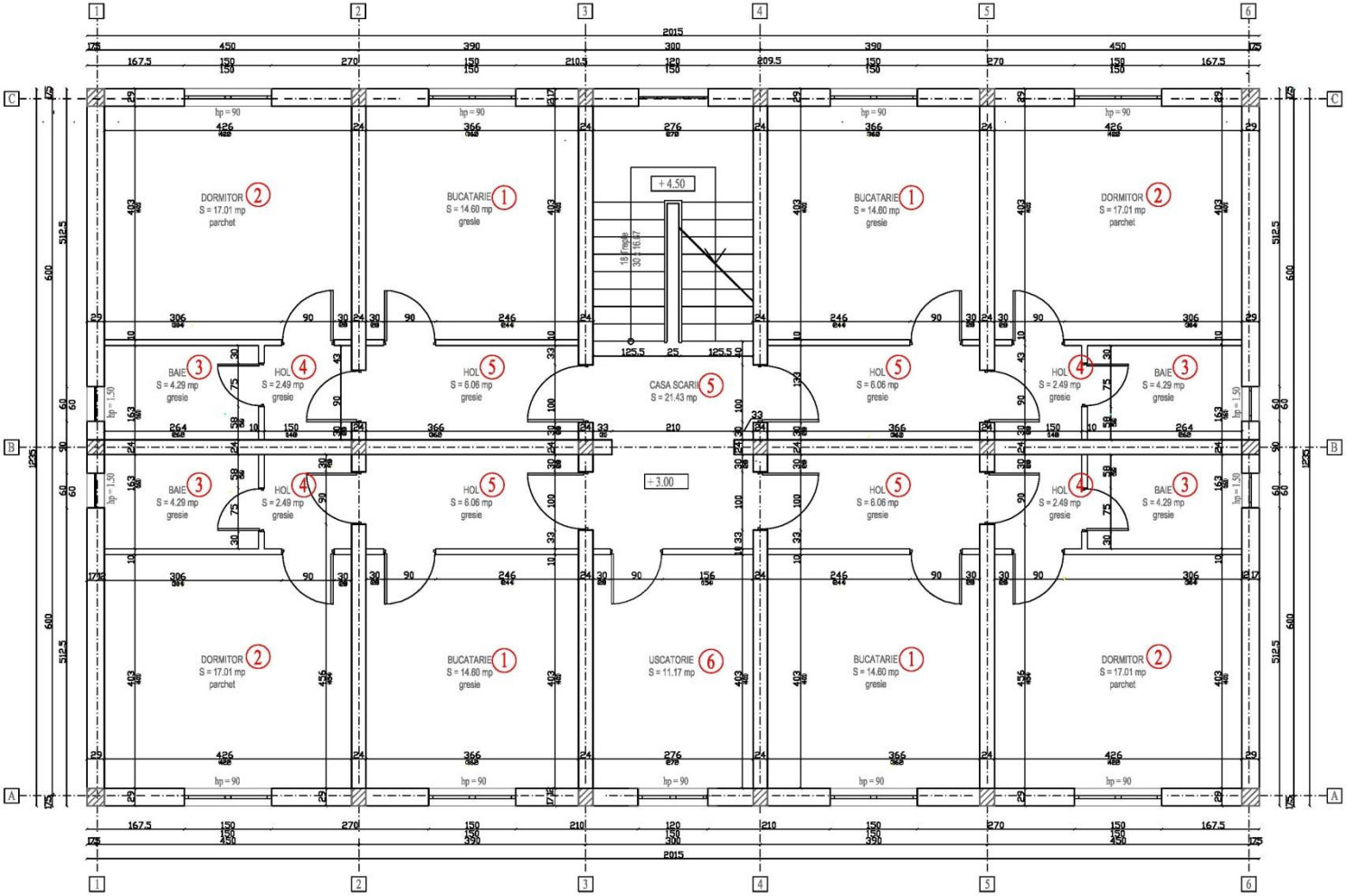
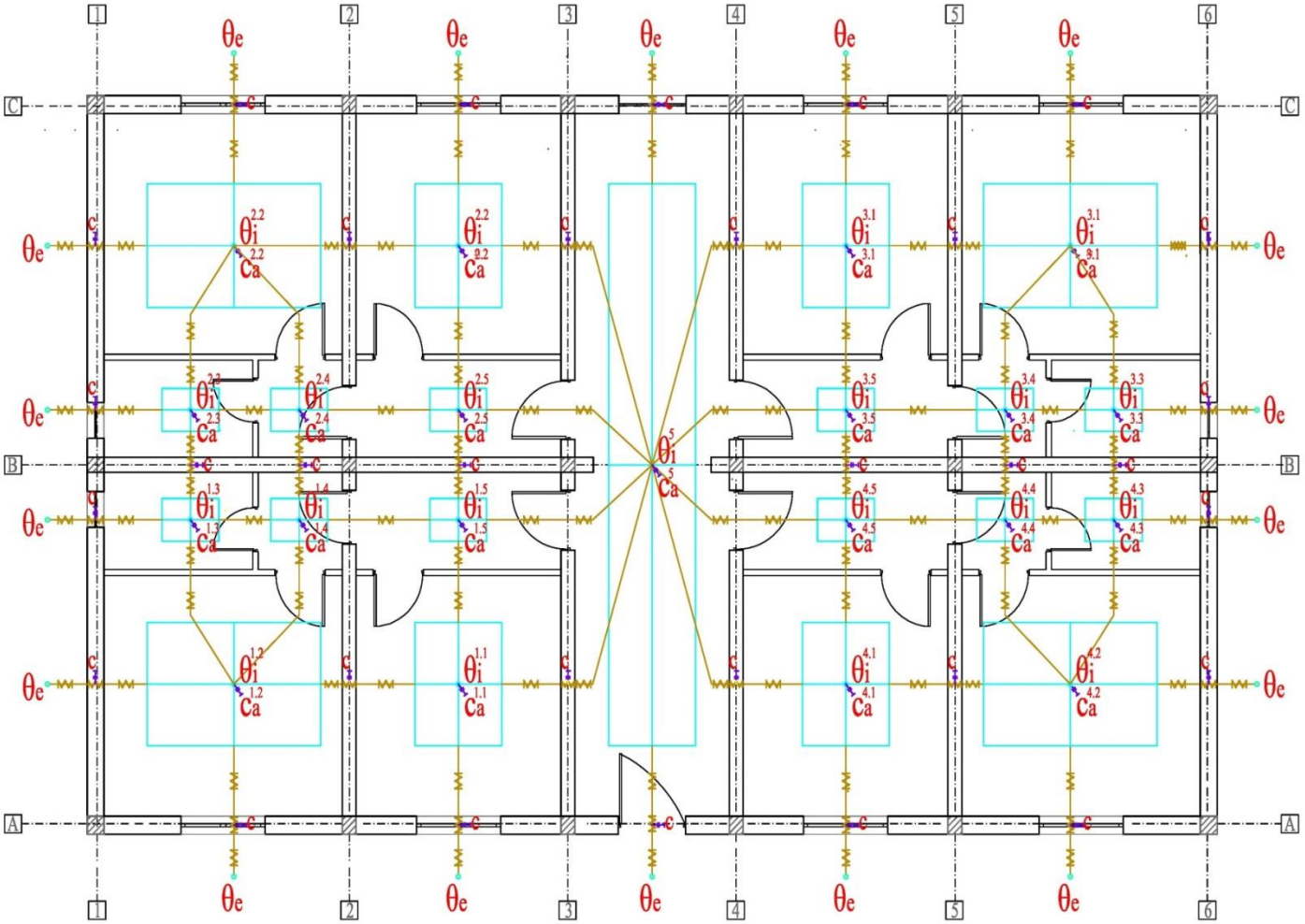


Figura 87. Plan etaj

Figura 88. Reţeaua termică echivalentă în zona parterului



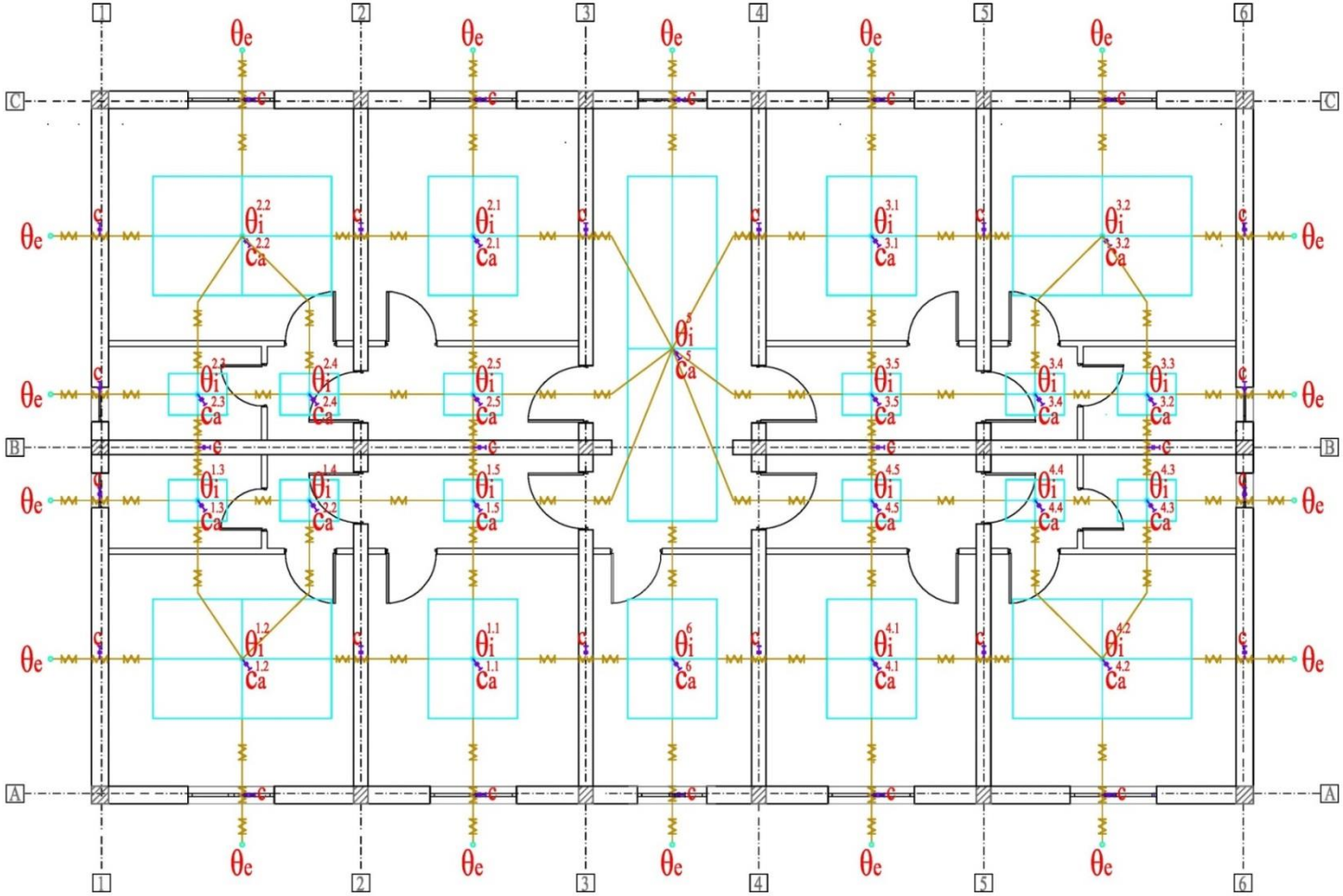


Figura 89. Reţeaua termică echivalentă în zona etajelor curente

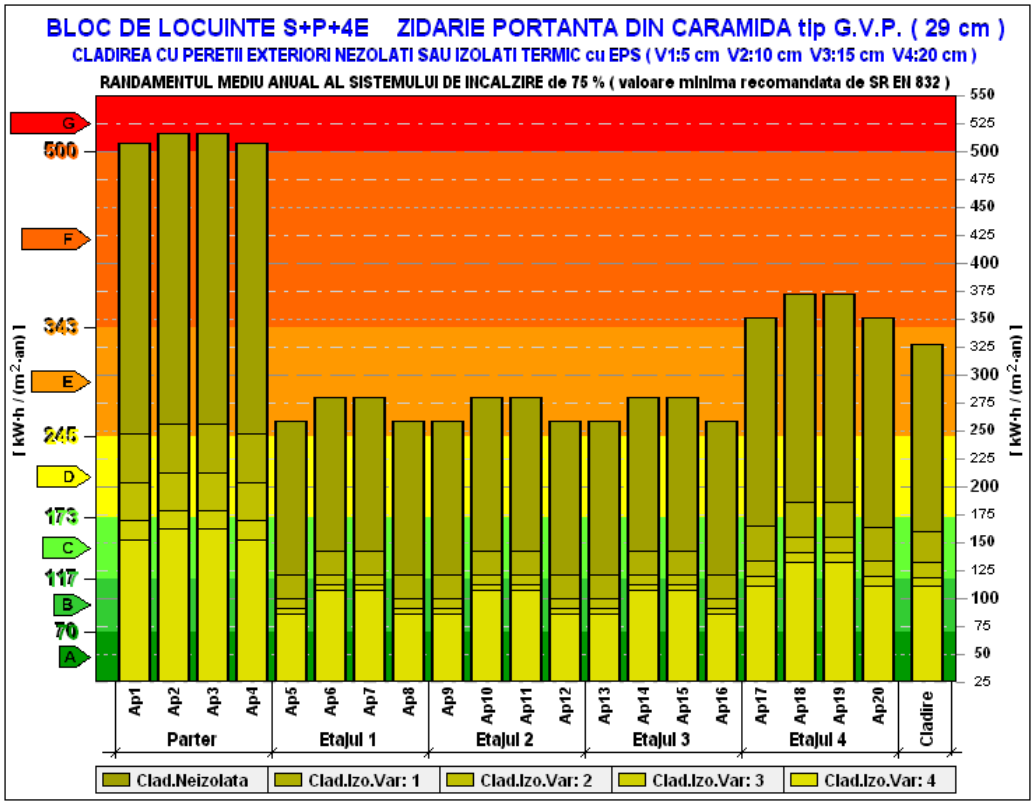


Figura 90. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 75%

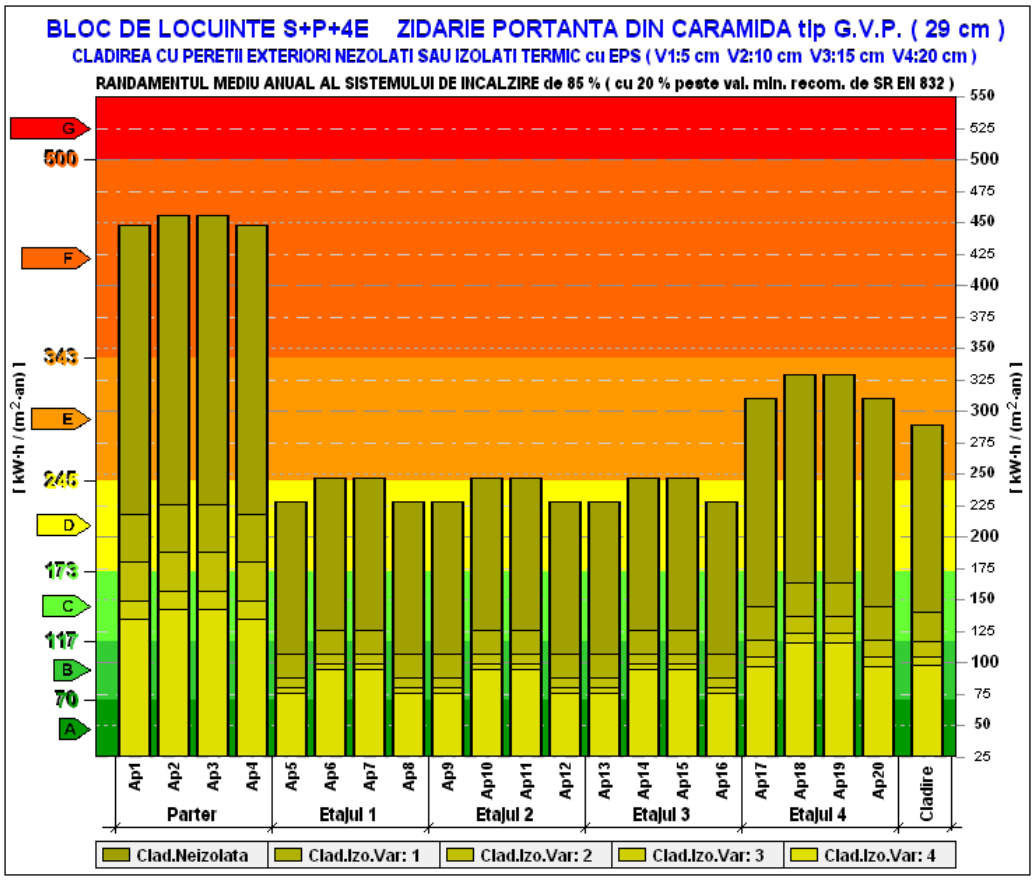


Figura 91. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 85%

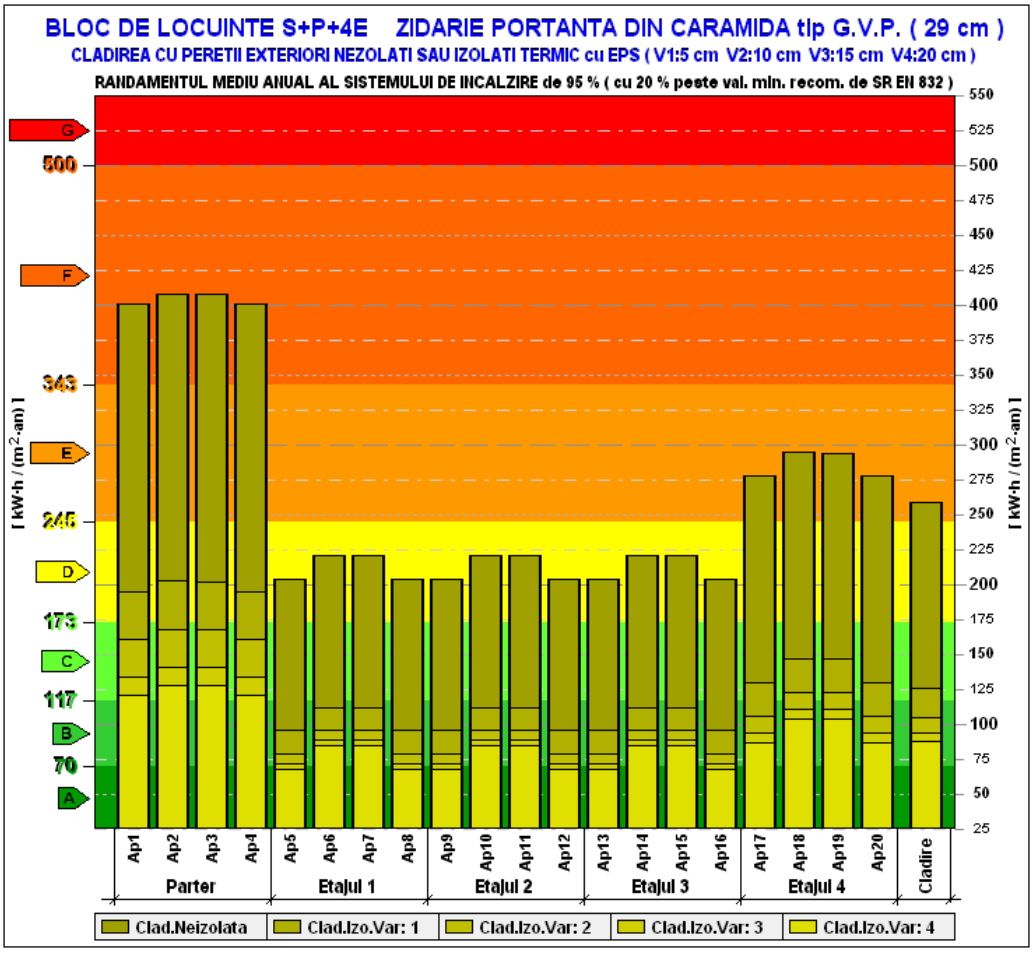


Figura 92. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 95%

5.5.3. Evaluarea necesarului de energie pentru încălzirea clădirii şi primenirea aerului

Pe baza principiilor prezentate la capitolele anterioare, s-a stabilit o reţea termică echivalentă spaţială. Dispunerea reţelei la parter este prezentată în figura 87 şi dispunerea la etaj în figura 88. Pentru o bună întelegere a acesteia, se prezintă dispunerea reţelei termice echivalente în planul clădirii.

Calculele s-au efectuat cu ajutorul programului „RETEATERM" având algoritmul de calcul dezvoltat pe baza teoriei şi algoritmilor prezentaţi la capitolele anterioare.

Datorită volumului mare de rezultate numerice obţinut pe baza calculului, s-a optat pentru o prezentare sintetizată a rezultatelor sub formă grafică. Din variantele obţinute s-a optat pentru prezentarea doar a 3 cazuri, respectiv cazurile în care randamentul anual al sistemului de încălzire este de 75%, 85 % şi respectiv 95%.

In urma analizei rezultatelor obţinute, se constată următoarele:

- consumurile energetice pentru încălzirea clădirii scad odată cu creşterea randamentului sistemului de încălzire.
- consumurile scad semnificativ odată cu creşterea gradului de protecţie termică a clădirii
- comparând consumurile pe apartamente în cadrul aceluiaşi nivel al clădirii se observă că cele amplasate pe faţada 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 funcţie de consumul de căldură anual specific pentru încălzire,
- pentru aceste tipuri de blocuri de locuinţe, consumurile rezultate pentru ansamblul clădirii sunt mai reduse decât pentru apartamentele aflate la ultimul nivel, dar mai mari decăt apartamentele aflate la nivelele intermediare (etajul 1, 2 şi 3).
- pentru acest tip de clădire indiferent de varianta de reabilitare termică aleasă şi de randament al sistemului de încălzire, clădirea nu poate fi adusă prin activitatea de reabilitare termică în clasa energetică A (consum sub 70 kWh/m^2),
- în cea mai favorabilă ipoteză (vezi fig 91) apartamentele din faţada sudică de la nivelele intermediare pot să intre în clasa energetică A. In toate celelalte variante această condiţie nu este asigurată.

O altă concluzie rezultată din această analiză este faptul că în activitatea de certificare a clădirilor şi apartamentelor, fiecare soluţie este un caz individual de clasă energetică, certificatul neputându-se generaliza de la un apartament la alte apartamente sau la ansamblul clădirii şi 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 şi pentru clădirea prezentată se observă că au consumurile cele mai mari, cât şi 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 faţă de parter şi ultimul nivel

Diferenţele între consumurile obţinute între regimul staţionar şi nestaţionar au fost reliefate încă în sub-capitolul 5.4, respectiv prin diferenţele intre modelul 2 şi modelul 4, unde modelul 2 este reflectat de calculul în regim staţionar ţinând seama de prezenţa punţilor termice şi modelul 4 unde se aplică un calcul dinamic. În funcţie de prezenţa punţilor termice în alcătuirea anvelopei clădirii şi a numărului acestora, diferenţele de evaluare între cele 2 moduri este curpinsă între 15% şi 30%. şi în mod paradoxal între 30% şi 35% la clădirile izolate termic. Aşa cum rezultă din tabele 78, 95 şi 112 de la capitolul 5.4 aceste diferenţe procentuale se referă la consumuri diminuate în funcţie nivelul izolaţiei termice.

Realizarea unui calcul dinamic se impune pentru a putea evalua cât mai aproape de realitate consumurile energetice şi în consecinţă pentru a încadra corect energetic clădirea. O altă consecinţă pozitivă a aplicării calculului dinamic în stabilirea consumurilor energetice a clădirii o reprezintă posbilitatea unei juste proiectări a instalaţiilor clădirii analizate. Acest fapt permite un control al emisiilor de CO_2 în natură şi păstrarea unui mediu curat. De asemenea, controlul asigurării temperaturii operative în încăperi duce la asigurarea temperaturii de confort cu consecinţe pozitive asupra stării de sănătate a populaţiei.

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 ţările 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 şi a Consiliului din 19 mai 2010 privind performanţa 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 şi Metodologia de evaluare a performanţei 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 performanţa 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 redate 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 şi a apărut întro nouă formă la data de 20 iulie 2013 datorită alinierii la ţinta 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 şi 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.

Cunoaşterea şi întelegerea 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 importanţă tratarea corespunzătoare a rezolvării numerice atăt 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 Parlamanetului 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 cerinţele 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, şi în consecinţă a dimensionării şi implementării corecte sistemelor de instalaţii eficiente în clădire.

In acest sens se impune soluţionarea mai multor probleme legate de comportamentul clădirii în regim termic nestaţionar, cum ar fi tratarea punţilor termice în mod corect şi implementarea acestor calcule în programe de simulare a eficienţei energetice a clădirilor, calcularea temperaturii operative dintr-un spaţiu atât în perioada rece cât şi în perioada caldă a anului prin considerarea condiţiilor tranzitorii şi aplicarea unor modele de calul (e.g. reţele termice echivalente) care să ajute la rezolvarea problemelor complexe de transfer termic în regim nestaţionar, precum şi implementarea în stabilirea necesarului de încălzire şi răcire a condiţiilor de comportament nestaţionar al clădirii, în vederea evaluării corecte a acestor consumuri.

Teza îşi propune să aducă un aport efortului general al specialiştilor în domeniu privind dezvoltarea unor abordări şi metode de calcul care să ajute la simularea cât mai reală a performanţei energetice a clădirilor, în vederea optimizării alcătuirii constructive a elementelor anvelopei clădirilor şi implicit a reducerii consumurilor energetice în exploatare în vederea atingerii cerinţelor impuse de Directiva 2010/31/EU.

6.2. SINTEZA CONTRIBUŢIILOR AUTORULUI

1. Studierea şi sinteza unui număr important de materiale ştiinţifice documentare, de provenienţă românească şi străină: cărţi, teze de doctorat, articole apărute în diverse publicaţii, lucrări prezentate în cadrul unor conferinţe, congrese, articole din editoriale, site-uri de internet, privitoare la probleme specifice calculului performanţei termice a clădirilor în regim termic nestaţionar.
2. Realizarea unei sinteze privitoare la cadrul legislativ atât pe plan internaţional cât şi naţional în domeniul eficientizării energetice a clădirilor.
3. Prezentarea sintetizată a metodelor de evaluare de mediu folosite la ora actuală pe plan internaţional şi naţional.
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 staţionar şi nestaţionar
6. Sintetizarea aspectelor legate de caracteristicile termice dinamice şi 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 construcţie exterioare şi interioare ale anvelopei clădirii.
8. Elaborarea unui exemplu de aplicare a reţelelor termice echivalente la clădiri.
9. Dezvoltarea unui program de calcul în vederea stabilirii temperaturii operative întrun spaţiu în timpul verii.
10. Propunerea unei metode „Metoda elementului echivalent" privitoare la includerea efectului punţilor termice în vederea evaluării caracteristicilor termice dinamice ale elementului, prin abordarea şi rezolvarea acesteia.
11. Realizarea unui studiu privitor la consumurile energetice obţinute în cazul comportării în regim termic nestaţionar al clădirii.
12. Dezvoltarea unui programul de calcul în vederea stabilirii consumurilor energetice a unei clădiri în regim termic dinamic.

O parte din studiile şi cercetările din lucrarea de faţă au fost publicate şi prezentate la o serie de conferinţe din ţară şi străinatate, urmând ca diseminarea să se realizeze în continuare prin participări la conferinţele şi simpozioane în domeniul energeticii clădirilor.

BIBLIOGRAFIE

BRE Global Ltd. (2015, August 23). *http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM%20UK%20NC%202014%20Resources/SD5076_DRAFT_BREEAM_UK_New_Construction_2014_Technical_Manual_ISSUE_0.1.pdf.* Preluat de pe http://www.breeam.org/.

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-constructie-amera-tower-1_50ae37637c42d5a6639abfd4/index.html

Asanache, H. (1999). *Higrotermica clădirilor. Elemente fundamentale referitoare la transferul de căldurăşi vapori de apă prin elementele de anvelopă ale clădirilor.* Bucureşti: Editura MATRIX ROM.

ASHRAE. (2013). *Standard 55-2013 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.* ASHRAE.

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 Performanţa 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.

BPIE, B. P. (2011, October). Europes-Buildings-Under-the-Microscope-BPIE. Preluat pe January 2014

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). Noţiuni teoretice ale transferului de căldură prin intermediul radiaţiei termice. *Lucrarile celei de a IX-a Conferinte Nationale Multidisciplinare cu Participare Internationala-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Romanesti.* Sebes.

Bruma, B., & Dumitrescu, S. (2010). Consideraţii teoretice privind apariţia punţilor termice şi efectul lor asupra elementelor anvelopei clădirii. *Lucrarile celei de a X-a Conferinte Nationale Multidisciplinare cu Participare Internationala-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Romanesti.* 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.) Bucuresti, București, Romania: Asociatia Inginerilor de Instalaţii din Romania – 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: Asociatia Inginerilor de Instalaţii din Romania – AIIR.

C 107/4. (2005). *Ghid privind calculul performanţelor temotehnice ale clădirilor de locuit.* Asociatia Inginerilor de Instalatii din Romania - AIIR.

C 107/5. (2005). *Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de constructie in contact cu solul.* Asociatia Inginerilor de Instalatii din Romania- AIIR.

C 107/6. (2002). *Normativul privind calculul transferului de masa (umiditate) prin elementele de constructie.* Ministerul Lucrarilor Publice, Transportului si a Locuintei.

C 107/7. (2002). *Normativ pentru proiectarea la stabilitate termica a elementelor.* Ministerul Lucrarilor Publice, Transporturilor si Locuintei.

C 107-modificat. (2010). *Ordin pentru modificarea Reglementarii tehnice "Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de constructie ale cladirilor, indicativ c 107-2005, aprobată de Ministerul Transporturilor,Constructiilor şi Turismului nr.2055/2005.* Ministerul dezvoltarii Regionale si 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 Assesment 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

CE. (2010). *Analiză a opțiunilor pentru depășirea obiectivului de reducere cu 20% a emisiilor de.* Bruxelles: Comisia Europeana.

CE. (2014). *Strategia europeană a securității energetice* . Bruxelles: Comisia Europeană.

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/Cl%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 şi impactul asupra proiectării clădirilor de locuit* (Vol. I). Cluj-Napoca: UT CLUJ.

Comisia Europeana. (2013). *Raport al comisiei către parlamentul european şi consiliu privind progresele înregistrate de statele membre cu privire la clădirile al căror consum de energie este apoape egal cu zero.* Bruxelles, 7.10.2013: COM (2013) 483 final/2.

Comsa , E., Moga, I., & Munteanu, C. (1986). *Proiectarea funcţională şi constructivă a clădirilor de locuit, Partea I-a.* Cluj-Napoca: Editura I.P.C.-N.

Comsa , E., Moga, I., & Munteanu, C. (1987). *Proiectarea funcţională şi constructivă a clădirilor de locuit, Partea a II-a.* Cluj-Napoca: Editura I.P.C.-N.

Comsa, E., & Moga, I. (1992). *Construcţii 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 perfecţionare "Audit energetic – Construcţii", 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.cepheus.de/eng/index.html

Consorțiu 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 rezidential 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 incălzire. (2013). Preluat pe 01 10, 2014, de pe 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 construcţii.* Bucureşti: Editura Academiei.

Dimitriu-Vâlcea, E., & Bîrligă, N. (1976). *Îndrumător de proiectare în fizica construcţiilor.* Bucureşti: Editura Tehnică.

Directiva 2002/91/CE. (2002). *Directiva privind performanţa energetică a clădirilor.* Parlamentul European si 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 Conferinte Nationale Multidisciplinare cu Participare Internationala-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Romanesti.* Sebes.

Dumitrescu, S., & Bruma, B. (2010). Curent 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 deşeurilor. *Lucrarile celei de a X-a Conferinte Nationale Multidisciplinare cu Participare Internationala-Profesorul Dorin Pavel-Fondatorul Hidroenergeticii Romanesti.* Sebes.

Ecomagazin. (2010, 10 23). Preluat pe 01 20, 2014, de pe Ecomagazin: http://www.ecomagazin.ro/eficienta-energetica-in-constructii-case-pasive-si-surse-de-energie-regenerabila/

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 energy use for space heating and cooling.*

EN ISO 13790. (2007). *Thermal performance of building components – Calculation of energy use for space heating and cooling.*

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

Energy, U. S. (2009). *Buildings Energy Data Book.* Department of Energy.

ENTRANZE. (2008). Retrieved 01 25, 2014, from ENERDATA: http://www.entranze.enerdata.eu/total-unit-consumption-per-m2-in-residential-at-normal-climate.html

ENTRANZE. (2014). *Direcţii de urmat spre clădiri cu consum de energie aproape zero.* Entranze.

Europe, I. E. (2011). *Performanţa energetică a clădirilor.Glosar de termeni.* INTENSE - "Din Estonia până în Croaţia: măsuri inteligente de economisire a energiei pentru clădiri în ţările Europei Centrale şi 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.

iea, I. E. (2014). Energy Efficiency. Preluat pe June 2014, de pe http://www.iea.org/aboutus/faqs/energyefficiency/

Incălzirea globală. (2013). Preluat pe 11 12, 2013, de pe Wikipedia: http://ro.wikipedia.org/wiki/%C3%8Enc%C4%83lzirea_global%C4%83

Insitutul National de Statistica. (2013). *Insitutul National de Statistica*. Preluat pe 10 11, 2013, de pe insse: www.insse.ro

Institut, P. (2006). *Passive House or Passivhaus?* Gemania: 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/izolatia-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.

Kośnya, 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 Construcţii Bucureşti, Ed.)

Mc 001/4. (2009). *Metodologie de calcul al performantei energetice a cladirilor - Breviar de calcul a performanţei energetice a clădirilor şi 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 performanţei energetice a clădirilor noi şi existente, dimensionării instalaţiilor de climatizare a clădirilor şi dimensionării higrotermice a element. Ministerul Dezvoltării regionale şi Administraţiei Publice- MDRAP.

MEF, & MMDD. (2007). *Strategia Energetică a României pentru Perioada 2007-2020.* Ministerul Economiei şi Finanţelor împreună cu Ministerul Mediului şi Dezvoltării Durabile.

Mladin, E. C., Georgescu, M., & Dutianu, D. (2011). Eficenta Energiei in Cladiri – Situatia in Romania şi Acquis-ul Comunitar. *Universitatea Politehnica București*, 12.

Moga, I. (1987). *Contribuţii la optimizarea higrotermică a clădirilor din zona Cluj-Napoca, Teză de doctorat.* Institutul Politehnic Iaşi.

Moga, I., & Comsa, 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 Tsinguha University.

Molnar, L. M. (2012). *Contribuții priviind studiul micro si macroscopic al unor mortare de tencuială ecologice în contextul dezvoltarii durabile.* Cluj-Napoca: Facultatea de Constructii, Universitatea Tehinca 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-constructiilor.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.

Negoiță, A., Focșa, V., Pop, I., Tutu, L., Dumitraș, M., & Negoiță, 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 Passivhauss Institute: http://www.passiv.de/de/04_phpp/04_phpp.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. *Eficienta Energetica Germana în cladiri şi case Pasive Romanesti* (p. 21). Bucuresti: Editura Econet Romania.

PSIPLAN. (1995-2014). Program de calcul pentru determinarea coeficienţilor liniari de transfer termic pentru secţiuni plane cu alcătuire complexă. *Colectiv de Fizica Constructiilor*. Facultatea de Constructii, UTCN.

Raupach, M. R. (2007). Global and regional drivers of accelerating. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10288–10293.

RENESTL. (1982-2014). Programul pentru calcul câmpul unidirecţional de temperatură în regim termic nestaţionar la elemente de construcţii cu structura complexă, Validat în C107/7. *Pachetul de programe "RENEST", Colectivul de Fizica Constructiilor*. Facultatea de Constructii, UTCN.

RENESTP. (1983-2014). Programul pentru calculul şi analiza câmpului plan de temperatură în regim termic nestaţionar pentru elemente de închidere cu structură complexă. *Pachetul de programe "RENEST", Colectivul de Fizica Constructiilor*. Facultatea de Constructii, UTCN.

Scrigroup. (2012, 06 22). Preluat pe 12 03, 2013, de pe Notiuni fundamentale – transmisia caldurii: http://www.scrigroup.com/casa-masina/constructii/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) 6
Figura 2. Consumul final de energie pe sectoare în România (Insitutul National de Statistica, 2013) 8
Figura 3. Producerea CO2 prin arderea combustibililor fosili perioada 2000-2004 (Raupach, 2007) 9
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) 9
Figura 5.Intensitatea în CO_2 a consumului energetic (Insitutul National de Statistica, 2013) 10
Figura 6. Abordarea conceptului Dezvoltării Durabile 28
Figura 7. Sediul băncii din Statele Unite ale Americii - America Tower, New York (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012) 31
Figura 8. 30 The Bond, Sydney, Australia (The 7 Coolest Existing Green Buildings, 2012) 31
Figura 9. Prima clădire verde din România - Multinvest Business Center, Târgu-Mureș ..32
Figura 10. Clădire verde certificată LEED - Amera Tower, Cluj-Napoca (Adevărul, 2010) 32
Figura 11. Centrul de inovatie Eliot Park (Steel Construction, 2012) 34
Figura 12. Clădiri certificate cu platină după standardul LEED (LEED, 2012) 35
Figura 13. Reprezentarea celor două categorii de evaluare: Q - Calitatea și performanța mediului interior și L: Impactul construcțiilor asupra mediului înconjurător (CASBEE, 2011) ..36
Figura 14. Etichetă standard GREEN STAR (GREEN STAR, 2012) 37
Figura 15. Aeroportul Internațional Canberra și Council House 2 Melbourne din Australia (Council House 2, 2012), (Canberra Airport, 2012) 38
Figura 16. Conceptul de sustenabilitate conform DGNB (dgnb-system, 2012) 38
Figura 17. Clădiri certificate DGNB Germania (dgnb-system, 2012) 39
Figura 18. Transferul căldurii prin conducție, convecție și radiație (Scrigroup, 2012) 40
Figura 19. Transmisia căldurii prin conducție la un element omogen (Mârza & Abrudan, 2012) 44
Figura 20. Transferul căldurii prin convecție în interiorul încăperii (Despre incălzire, 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 incălzire, 2013) 52
Figura 23. Transmiterea căldurii prin radiație la suprafața elementelor de construcții (Focșa, 1975) 53
Figura 24. Transmiterea căldurii printr-un perete exterior alcătuit din 3 straturi (Izolarea termica, 2013) 57
Figura 25. Transmisia căldurii prin conducție la un perete omogen (Focșa, 1975) 58
Figura 26. Câmpul termic constant în planurile paralele cu peretele (Focșa, 1975) 59
Figura 27. Transmisia globală a căldurii printr-un element omogen 61
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 & Comsa, Construcții civile. Elemente de higrotermică și acustica clădirilor, 1992) 63
Figura 29. Variații sinusoidale ale fluxului termic și ale temperaturii elementelor de construcție. 68
Figura 30. Amortizarea oscilațiilor termice în elementele de construcție 70
Figura 31. Definirea eficienței energetice a unei construcții (Petrea, 2012) 82
Figura 32. Consumul total de energie pe m^2 în cazul clădirilor rezidențiale 85
Figura 33. Consumul de energie pe m^2 pentru toate tarile Uniunii Europene (pentru un climat normal) [kWh/(m²an)] (ENTRANZE, 2008) 86
Figura 34. Cererea finală de energie pentru încălzire şi apă caldă menajeră până în 2030 în România [Gwh] (ENTRANZE, 2014) 86
Figura 35. Consumuri pentru o clădire rezidențială din România (ISOVER , 2010) 87
Figura 36. Casa Unifamilială. Urbana, Illinois, America de Nord, 2003 90
Figura 37. Principii de alcătuire ale unei case pasive (passiv.de, 2013) 92
Figura 38. Casă multi – familială, Hamburg; Germania (Passivehaus Datenbank, 2013) .. 93
Figura 39. Locuință individuală unifamilială, Kärnten; Austria 94
Figura 40. Centru sportiv și de recreere, Gent; Belgia 95
Figura 41. Locuință individuală unifamilială, Kriessern 96
Figura 42. Locuință individuală unifamilială, Laholm 97
Figura 43. Locuință individuală unifamilială, Cluj-Napoca, România 99
Figura 44.Locuință individuală unifamilială, Wisconsin; SUA (passivhausprojekte.de, 2013) 100

Figura 45. Centrul de Tehnologie a Mediului de la Universitatea de Stat Sonoma, Statele Unite ale Americii 107
Figura 46. Centrul de Energie Gateway din Hawai (ENERGY, 2008) 108
Figura 47. Soleta zeroenergy ONE (Construction21.eu, 2012) 110
Figura 48. Ansamblul Rezidențial Luceafărul (construction21, 2013) 114
Figura 49. Multinvest Business Center, Târgu Mureș (construction21.eu, 2013) 114
Figura 50. Moliere Residence, București (construction21.eu, 2013) 115
Figura 51. Taipei 101 (Taipei 101, 2014) 116
Figura 52. Casa Triplu zero (Clear Glass House is Triple Zero Climate-Friendly, 2010) 116
Figura 53. Casa cu energie pozitivă. 117
Figura 54. Curba de încălzire pentru clădiri grele şi clădiri uşoare (EN ISO 13790, 2005) 120
Figura 55. Caracteristicile admitanţei termice. (EN ISO 13786, 2005) 123
Figura 56. Caracteristicile factorului de amortizare. (EN ISO 13786, 2005) 124
Figura 57. Defazajul. (EN ISO 13786, 2005) 125
Figura 58. Caracteristicile factorului de suprafaţă. (EN ISO 13786, 2005) 125
Figura 59. Factorul de amortizare f vs masa elementului pe unitate de suprafaţă pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009) 128
Figura 60. Defazajul Δt_f vs masa elementului pe unitate de suprafaţă pentru 24 de detalii constructive. (Aste, Angelotti, & Buzzetti, 2009) 128
Figura 61. Discretizarea elementului de calcul, cazul a.) si b.) (Moga I. , 1987) 137
Figura 62. Câmpul de temperatură plan în regim termic staţionar într-o zonă interioară a domeniului studiat (Moga I. , 1987) 140
Figura 63. Suprafaţa exterioară a unui element studiat (EN ISO 13791, 2006) 147
Figura 64. Planul clădirii studiate 163
Figura 65. Reţeaua termică a clădirii 163
Figura 66. Reţeaua termică echivalentă a clădirii 164
Figura 67. Formularea admitanţelor 164
Figura 68. Geometriile studiate 165
Figura 69. Fereastră cu vitraj simplu 167
Figura 70. Fereastră cu vitraj dublu cu dispozitiv exterior de umbrire 167
Figura 71. Aporturi interne 170

Figura 72. Reţeaua de calcul şi 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 179

Figura 73. Reţeaua de calcul şi izotermele intersecţiei 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 180

Figura 74. Reţeaua de calcul şi izotermele intersecţiei planşeu 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 183

Figura 75. Condiţiile de contur pentru modelele comparate 185

Figura 76. Perete exterior cu stâlp de beton armat de 30x40 cm 186

Figura 77. 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 194

Figura 78. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime 195

Figura 79. 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 203

Figura 80. Intersecţie planşeu din beton armat cu perete exterior 204

Figura 81. 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 212

Figura 82. Schema de dispunere a apartamentelor la parter 215

Figura 83. Schema de dispunere a apartamentelor la etaj 216

Figura 84. Variaţia temperaturii aerului exterior pentru zona Cluj 217

Figura 85. Intensitatea radiaţiei solare totale pentru zona Cluj 218

Figura 86. Plan parter 219

Figura 87. Plan etaj 220

Figura 88. Reţeaua termică echivalentă în zona parterului 221

Figura 89. Reţeaua termică echivalentă în zona etajelor curente 222

Figura 90. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 75% 223

Figura 91. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 85% 223

Figura 92. Consumul energetic specific pentru încălzire - randament sistem 95%.....224

LISTĂ TABELE

Tabel 1. Valori normate și valorile limită apreciate, ale rezistențelor termice la clădirile de locuit noi (Mc 001/1, Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor, 2006).....19

Tabel 2. Rezistențe termice minime R'_{min} ale elementelor de construcție, pe ansamblul clădirii - la clădiri de locuit (Mc 001/1, Metodologie de calcul al performanței energiei a clădirilor, 2006).....20

Tabel 3. Pentru clădiri de categoria 1 21

Tabel 4. Pentru clădiri de categoria 2 22

Tabel 5. Rezistențe termice minime R'_{min} ale elementelor de construcție al clădirilor (Consorțiu Universitar, 2005) 23

Tabel 6. Valorile coeficienților a, b, c, d, e pentru clădiri de categoria 1.....24

Tabel 7. Pentru clădiri de categoria 2 24

Tabel 8. Valorile normate pe țară și valori diferențiate pe cele patru zone climatice (Mone, 2013).....25

Tabel 9. Izolații termice standardizate în Europa (Mladin, Georgescu, & Dutianu, 2011).26

Tabel 10. Strategia dezvoltării durabile în România 29

Tabel 11. Clasificare Green Star Australia (Mone, 2013) 37

Tabel 12. Simboluri și unități de măsură 41

Tabel 13. Valori ale coeficientului de transfer termic λ (C 107/3, 2005).....46

Tabel 14. Valori ale coeficientului de radiație a corpului negru h_{ro} 54

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).....74

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).....79

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).....80

Tabel 19. Valori ale caracteristicilor energetice (Mc 001/3 , 2006) 83

Tabel 20. Necesarul anual de căldură pentru încălzire termică (Bhavin, Jayeshkumar, & Bhavnaben, 2013).....89

Tabel 21. Caracteristicile clădirii 93
Tabel 22. Caracteristicile clădirii 94
Tabel 23. Caracteristicile clădirii 95
Tabel 24. Caracteristicile clădirii 96
Tabel 25. Caracteristicile clădirii 98
Tabel 26. Caracteristicile clădirii 99
Tabel 27.Caracteristicile clădirii 100
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) 101
Tabel 29. Metodologii cu privire asupra sistemului metric, perioadei şi tipului de echilibru, tipuri de utilizare a energiei incluse, cu diverse tipuri de alimentare regenerabile (Marszal, et al., 2010) 105
Tabel 30. Definiții nZEB propuse pentru România (Atanasiu & Petran, 2012) 109
Tabel 31. Analogia termo-electrică 131
Tabel 32. Perete exterior – zona câmpului curent 153
Tabel 33. Perete exterior – zona planşeului din beton armat 153
Tabel 34. Perete exterior – zona centurii şi a buiandrului din b.a. 154
Tabel 35. Perete exterior – zona stâlpişorilor din b.a. 154
Tabel 36. Perete exterior – zona şapei planşeului 155
Tabel 37. Perete exterior 155
Tabel 38. Perete exterior 156
Tabel 39. Perete exterior 156
Tabel 40. Perete exterior 157
Tabel 41. Perete exterior 158
Tabel 42. Perete interior 160
Tabel 43. Perete interior 160
Tabel 44. Perete interior 161
Tabel 45. Caracteristicile geometrice ale încăperii 166
Tabel 46. Proprietăţi termofizice ale elementelor opace 166
Tabel 47. Caracteristici solare ale elementului vitrat şi ecranului pentru toate unghiurile de incidenţă 166
Tabel 48. Elemente de radiaţie solară pentru configuraţia geometrică A 168
Tabel 49. Elemente de radiaţie solară pentru configuraţia geometrică B 169

Tabel 50. Temperatura aerului exterior pentru configuraţia geometrică A 169
Tabel 51. Temperatura aerului exterior pentru configuraţia geometrică B 169
Tabel 52. Fluxul termic total datorită surselor interioare pe suprafaţă de planşeu 170
Tabel 53. Schimburi de aer pe oră [h^{-1}] 170
Tabel 54. Cazurile A de încercări 171
Tabel 55. Cazurile B de încercări 171
Tabel 56. Temperatura operativă pentru geometria A 171
Tabel 57. Temperatura operativă pentru geometria B 172
Tabel 58. Caracteristicile termice ale materialelor elementului de construcţie – perete exterior 176
Tabel 59. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – perete exterior 179
Tabel 60. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat de 30x40 cm grosime 181
Tabel 61. Valorile coeficienţilor rezultate din calcul – intersecţiei planşeu beton armat cu perete exterior 183
Tabel 62. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic 186
Tabel 63. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 186
Tabel 64. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 187
Tabel 65. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 187
Tabel 66. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic 187
Tabel 67. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 188
Tabel 68. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 188
Tabel 69. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 188
Tabel 70. Perete exterior în câmpul curent, neizolat termic 189
Tabel 71. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 189
Tabel 72. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 190
Tabel 73. Perete exterior în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 190
Tabel 74. Perete exterior echivalent în câmpul curent, neizolat termic 190
Tabel 75. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 191
Tabel 76. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 191
Tabel 77. Perete exterior echivalent în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 192
Tabel 78. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate 194
Tabel 79. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic 195

Tabel 80. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 196

Tabel 81. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 196

Tabel 82. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 196

Tabel 83. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic 197

Tabel 84. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 197

Tabel 85. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 197

Tabel 86. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 198

Tabel 87. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic 198

Tabel 88. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 198

Tabel 89. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 199

Tabel 90. Intersecţie orizontală perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 199

Tabel 91. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, neizolat termic 200

Tabel 92. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 200

Tabel 93. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 200

Tabel 94. Intersecţie orizontală echivalentă perete exterior cu perete interior cu stâlp din beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 201

Tabel 95. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate 204

Tabel 96. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic 205

Tabel 97. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 205
Tabel 98. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 205
Tabel 99. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 206
Tabel 100. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic 206
Tabel 101. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 206
Tabel 102. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 207
Tabel 103. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 207
Tabel 104. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic 207
Tabel 105. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 208
Tabel 106. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 208
Tabel 107. Intersecţie perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 209
Tabel 108. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, neizolat termic 209
Tabel 109. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 10 cm de EPS 209
Tabel 110. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 15 cm de EPS 210
Tabel 111. Intersecţie echivalentă perete exterior cu planşeu de beton armat în câmpul curent, izolat termic cu 20 cm de EPS 210
Tabel 112. Compararea fluxlui termic $q_{i,\,max}$ şi a defazajului la modelele studiate 213