



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

# **Cercetări privind clădirile pasive la nivel mondial și național**

**Masterand: Alexandr ROZMERIȚA**

**Conducător: conf.univ. dr. Natalia BEGLEȚ**

**Chișinău 2023**

**Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova**  
**Universitatea Tehnică a Moldovei**  
**Programul de master ” Ingeria instalațiilor de asigurare a microclimei în clădiri”**

**Admis la susținere**  
**Șef Departament ACAG și PM: conf. univ. dr. Vera GUȚUL**

# **Cercetări privind clădirile pasive la nivel mondial și național**

**Teza de master**

**Masterand: Alexandr ROZMERIȚA**  
**Conducător: Natalia BEGLEȚ**

**Chișinău 2023**

## REZUMAT

Autor **Alexandr ROZMERIȚA**. Tema tezei de master **Cercetări privind clădirile pasive la nivel mondial și național**

**Actualitatea temei** Clădirile pasive sunt esențiale pentru atingerea obiectivelor climatice și energetice ale UE, și anume reducerea cu 20 % a emisiilor de gaze și de realizarea unei economii de energie de 20 %, până în 2020. Îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor este o modalitate eficientă de combatere a schimbărilor climatice și de îmbunătățire a securității energetice.

**Teza de master** include: introducere, 2 capitole, concluzii, bibliografie din 36 titluri, 68 pagini text.

**Scopul** cercetării științifice a fost acela de a studia principiile utilizării pasive a energiei care stau la baza proiectării, construcției și evaluării caselor cu consum redus de energie, în special case pasive, și aplicarea acestor strategii în cazul clădirilor aflate în reabilitare, pentru asigurarea confortului interior și îmbunătățirea performanța energiei lor.

**Obiectivele cercetării științifice au cuprins:** cercetare bibliografică privind dezvoltarea cadrului legislativ privind eficiența energetică a clădirilor la nivel Uniunii Europene și național, cercetare bibliografică privind dezvoltarea cercetării științifice privind implementarea principiilor standardului Casei Pasive la nivel european, modul în care sistemele pasive au fost implementate în legislația europeană privind reabilitarea termică a clădirilor, precum și fezabilitatea deciziei acestora în cadrul Strategiei naționale de creștere a eficienței energetice a clădirilor din Republica Moldova, pentru reabilitarea fondului național de clădiri rezidențiale și publice.

## SUMMARY

**Author** Alexandr ROZMERIȚA.

**Master's thesis topic** Global and national passive building research

**The actuality of the topic** Passive buildings are essential to achieve the EU's climate and energy goals, namely to reduce gas emissions by 20% and achieve 20% energy savings by 2020. Improving the energy performance of buildings is an effective way to combating climate change and improving energy security.

**The master's thesis includes:** introduction, 2 chapters, conclusions, bibliography of 36 titles, 68 text pages.

**The aim of the scientific research** was to study the principles of passive energy use that underlie the design, construction and evaluation of low-energy houses, especially passive houses, and the application of these strategies to buildings under rehabilitation to ensure indoor comfort and improving their energy performance.

**The objectives of the scientific research included:** bibliographic research on the development of the legislative framework on the energy efficiency of buildings at the European Union and national level, bibliographic research on the development of scientific research on the implementation of the principles of the Passive House standard at the European level, the way in which passive systems were implemented in the legislation European regarding the thermal rehabilitation of buildings, as well as the feasibility of their decision within the National Strategy for increasing the energy efficiency of buildings in the Republic of Moldova, for the rehabilitation of the national fund of residential and public buildings.

## CUPRINS

Introducere .....	9
1. Energetica clădirilor pasive.....	13
1.1. Conceptul “Casă Pasivă” .....	13
1.2. Clădirea pasivă prototip din Darmstadt-Kranichstein.....	15
1.3. Principiile conceptului Casei Pasive .....	20
1.4. Cercetări privind clădirile pasive la nivel mondial și național.....	22
1.5. Metode de ventilare a clădirilor pasive .....	46
1.5.1. Metode de ventilare pasive (naturale).....	47
1.5.1.1. Ventilarea naturală windcatcher .....	47
1.5.1.2. Ventilarea higroreglabilă .....	49
1.5.2. Metode de ventilare mecanică cu recuperare de căldură.....	51
1.5.2.1. Ventilare mecanică descentralizată simplu flux.....	52
1.5.2.2. Ventilare mecanică descentralizată dublu flux.....	52
2. Clădiri pasive. Studiu de caz .....	58
2.1. Utilizarea energiei alternative pentru clădiri pasive.....	58
2.2. Concluzii.....	67
Bibliografie .....	71

## Introducere

La nivel mondial, în ultimii douăzeci de ani, creșterea exploatării într-un ritm fără precedent a resurselor naturale convenționale, ca urmare a tendinței de creștere a cererii de utilizare a energiei la consumatorul final, consecință a creșterii populației și gradului de dezvoltare economico-socială, a generat în mediile științifice, economice și decizionale provocări majore cu privire la două aspecte de importanță capitală:

- riscul epuizării resurselor naturale ale planetei;
- impactul masiv pe care îl are asupra mediului consumul de energie primară, prin emisiile de gaze cu efect de seră (distrugerea stratului de ozon, încălzirea globală, schimbări climatice, etc.).

Riscul de epuizare a resurselor primare de energie și nivelul crescut de poluare înregistrat au impus măsuri de conservare și exploatare rațională a acestor resurse, precum și producerea, furnizarea și utilizarea energiei într-un mod mai eficient decât până acum, pentru a se atinge durabilitatea acestor resurse și reducerea impactului devastator asupra mediului.

Aceste preocupări au devenit deziderate la nivel mondial, fapt ce a condus la crearea primului instrument legal, în anul 1997, când prin semnarea Protocolului de la Kyoto, cele cincizeci și cinci de state semnatare au convenit unanim stabilirea de constrângeri legale de monitorizare a emisiilor de gaze cu efect de seră (GES) și reducerea cu minim 8 % a acestora în perioada 2008-2012 față de anul 1990.

Potrivit datelor și estimărilor făcute de International Energy Agency (IEA) în ultimele două decenii consumul de energie primară a crescut cu 49 % și emisiile de dioxid de carbon cu aproximativ 43 %.

La nivel mondial, sectorul clădirilor este responsabil de consumul cel mai ridicat de energie motiv pentru care este considerat drept sursa semnificativă generatoare de gaze cu efect de seră.

Sectorul clădirilor a fost identificat ca fiind unul dintre cele mai rentabile sectoare pentru reducerea consumului de energie, potențialul estimat de economisire de energie fiind de 27 % pentru clădirile rezidențiale și de 30 % pentru clădirile terțiare.

La nivelul Uniunii Europene, energia utilizată în clădiri reprezenta în anul 2020 aproximativ 40 % din consumul final de energie și aproape 55 % din consumul total de energie electrică. Din consumul total de energie al clădirilor, ponderea cea mai mare este reprezentată de clădirile rezidențiale, aproximativ două treimi din acesta. Consumul total final de energie al clădirilor a crescut în medie cu 1 % în fiecare an din 1990, iar consumul de energie electrică a

crescut anual în medie cu 2,4 %. Este de așteptat ca și în următorii ani cererea de energie în sectorul clădirilor să crească rapid, fiind antrenată de presiunea creșterii populației și diversificarea nevoilor odată cu creșterea nivelului de trai.

Anumite studii arată că din consumul total de energie al unei clădiri, aproximativ 90-95 % reprezintă consumul de energie pe durata de viață a clădirii, iar restul de 5 – 10 % reprezintă energia înmagazinată în materialele de construcție și procesul de producție.

În anul 2002, Uniunea Europeană (UE) a lansat prima directivă, Directiva 2002/91/EC privind Performanța Energetică a Clădirilor reprezentând cadrul legal în vederea reducerii consumului de energie la nivelul clădirilor. Principalul obiectiv al acestei Directive îl reprezintă promovarea îmbunătățirii performanțelor energetice ale clădirilor folosind măsuri rentabile din punct de vedere al costurilor (Directiva 2002/91/CE, 2002).

Măsurile trasate prin directiva europeană au fost adoptate și transpuse în legislația națională odată cu apariția Legii 372/2005, privind performanța energetică a clădirilor, generând astfel startul spre realizarea unei strategii naționale de creștere a eficienței energetice a clădirilor noi precum și a celor care vor intra în procese de renovare/reabilitare la nivel structural și funcțional.

În anul 2009 a fost făcută o revizuire a Directivei 2002/91/EC privind Performanța Energetică a Clădirilor cu scopul consolidării cerințelor de performanță și, totodată, pentru a clarifica unele dintre dispozițiile sale. Astfel, în 2009 a fost lansată această Directivă revizuită sub titlul Directiva 2010/31/EU cu privire la Performanța Energetică a Clădirilor (Directiva 2010/31/EU, 2010).

Directiva 2010/31/EU subliniază necesitatea stabilirii unor acțiuni mai concrete în perspectiva atingerii potențialului ridicat dar încă nevalorificat al reducerii consumului de energie în clădiri, promovând clădirile cu consum foarte redus de energie primară sau chiar consum de energie aproape zero în care, în mod implicit, și emisiile de CO<sub>2</sub> sunt foarte reduse sau chiar nule.

Toate statele membre trebuie să stabilească cerințe minime de performanță energetică a clădirilor care să aibă în vedere atingerea echilibrului de cost optim între investiția inițială și economia din costurile cu energia pe ciclul de viață al clădirii.

La nivel mondial au apărut și s-au dezvoltat o serie de concepte de clădiri eficiente energetic ale căror cerințe au fost preluate ulterior în standardele naționale de proiectare. Printre cele mai cunoscute tipuri de clădiri eficiente energetic se numără: clădirile cu consum redus de

energie, casele pasive, clădirile zero energie și clădirile cu consum de energie aproape zero, clădirile verzi.

În scopul creșterii performanței energetice a clădirilor din sectorul rezidențial și terțiar se definesc direcții principale de dezvoltare în sectorul energetic. Una dintre direcții o reprezintă realizarea de clădiri inteligente auto sustenabile energetic din punct de vedere al construcției, arhitecturii, operării, captării, transformării și stocării energiei, cu caracteristici de *prosumator* (**producător + consumator**). Astfel, se impune accentuarea promovării pe termen lung a unor strategii de construcție privind clădirile eficiente energetic la nivel național prin adoptarea unor standarde validate de eficiență energetică pentru construcțiile noi în special dar și pentru renovarea celor existente aflate în fondul național de locuințe.

O soluție eficientă de creștere a performanței energetice a clădirilor și implicit de reducere a consumului de energie în clădiri presupune adoptarea principiilor pasive promovate prin standardul casei pasive care a devenit standard de referință, demonstrându-și viabilitatea la nivel mondial și implementarea acestuia în cadrul Strategiei energetice naționale în domeniul construcțiilor de imobile noi și a celor care vor intra în proces de renovare majoră.

Asistăm astăzi, după mai bine de două decenii de la lansarea conceptului casei pasive, materializat și validat încă de la construirea primei clădiri pasive în anul 1991 în Darmstadt Kranichstein, Germania, și reconfirmat odată cu investigațiile privind performanțele energetice ale acesteia în 2016, că la nivel mondial există un interes impresionant în aplicarea principiilor acestuia. În aceste decenii clădirile pasive și-au dovedit efectul benefic asupra sănătății ocupanților prin asigurarea și menținerea unui nivel ridicat de confort și calitate a aerului interior, costuri reduse de exploatare și protecția mediului înconjurător.

Principiile impuse de standardul casei pasive răspund unitar la realizarea cerințelor Politicii Energetice a Uniunii Europene denumită “Europa 2020” care prevede ca, până în anul 2020, toate țările din UE să fie nevoite să reducă cu 20% atât consumul global de energie primară cât și emisiile de gaze cu efect de seră, în comparație cu cele din anul 1990 și să crească cu 20% ponderea surselor regenerabile de energie în totalul mixului energetic din totalul consumului de energie al UE.

Necesitatea cercetării științifice în zona analizată a apărut în contextul preocupărilor la nivelul comunităților științifice care studiază și promovează, pe criterii științifice, confortul intern și eficiența energetică a clădirilor sub toate aspectele sale. Așadar, oportunitatea și necesitatea este generată de cadrul general în care se rezolvă în prezent problematica măsurilor de reabilitare a fondului de construcție existent, motiv pentru a pune din nou în prim plan



modalități de îmbunătățire a performanței energetice construcțiilor prin cercetare și implementare de sisteme pasive.

**Scopul** cercetării științifice a fost acela de a studia principiile utilizării pasive a energiei care stau la baza proiectării, construcției și evaluării caselor cu consum redus de energie, în special case pasive, și aplicarea acestor strategii în cazul clădirilor aflate în reabilitare, pentru asigurarea confortului interior și îmbunătățirea performanța energiei lor.

**Obiectivele cercetării științifice au cuprins:** cercetare bibliografică privind dezvoltarea cadrului legislativ privind eficiența energetică a clădirilor la nivel Uniunii Europene și național, cercetare bibliografică privind dezvoltarea cercetării științifice privind implementarea principiilor standardului Casei Pasive la nivel european, modul în care sistemele pasive au fost implementate în legislația europeană privind reabilitarea termică a clădirilor, precum și fezabilitatea deciziei acestora în cadrul Strategiei naționale de creștere a eficienței energetice a clădirilor din Republica Moldova, pentru reabilitarea fondului național de clădiri rezidențiale și publice.

## 1. ENERGETICA CLĂDIRILOR PASIVE

### 1.1. Conceptul "Casă Pasivă"

În contextul internațional al declanșării crizei petrolului de la începutul anilor '70 care a generat creșterea masivă a prețului energiei a început să se manifeste o cerere semnificativă pe piața de clădiri cu consum redus de energie. Dacă până la apariția crizei proiectarea clădirilor se realiza doar după standarde de siguranță structurală, siguranță la foc și din condițiile unui mediu sănătos pentru ocupanți, odată cu criza energetică au început să apară reglementările de eficiență energetică în special în standardele țărilor nordice. Aceste reglementări presupuneau în esență creșterea nivelului de izolare termică a clădirilor. Rezultatele cercetărilor sistematice asupra elementelor care puteau să conducă la reducerea consumului de energie precum și validările în practică a acestora au creat premisele impunerii cerințelor caselor cu consum redus de energie ca standarde energetice pentru proiectarea și execuția clădirilor noi din Suedia și Danemarca.

Pentru prima dată, conceptul "Casă pasivă" a fost definit și lansat în 1988 de către prof. Bo Adamson, împreună cu prof. Wolfgang Feist în timpul perioadei de cercetare (având ca obiect de studiu o clădire aflată în construcție) efectuată la Universitatea din Lund / Suedia.

"Casele pasive" au fost considerate ca fiind clădiri care au o cerere extrem de redusă de energie termică chiar și în climatul central european și, prin urmare, nu au nevoie de încălzire activă. Astfel de case pot fi păstrate calde "pasiv", numai prin utilizarea surselor interne de căldură existente și a aporturilor solare, precum și prin încălzirea minimă a aerului proaspăt introdus.

În acord cu principiile care stau la baza teoriei enunțate de Institutul de Case Pasive (Passiv Haus Institut-PHI) din Darmstadt, Casa pasivă nu reprezintă "doar" o clădire cu consum redus de energie - un standard energetic, ci un concept integrat care asigură cel mai înalt nivel de confort. Mai exact: "O *casă pasivă* este o clădire pentru care confortul termic, conform ISO 7730, poate fi realizat exclusiv prin post-încălzirea sau post-răcirea masei de aer proaspăt, care este necesară pentru a obține suficiente condiții de calitate a aerului în interior, conform DIN 1946, fără a fi nevoie de recircularea suplimentară a aerului.

Termenul de casă pasivă scoate în evidență faptul că pentru asigurarea necesarului de energie în vederea satisfacerii condițiilor optime de microclimat sunt suficiente aporturile de energie solară pasivă, sursele interioare de căldură și la nevoie sursele de energie regenerabilă.

Altfel spus, casele pasive sunt acele construcții “sănătoase” echipate cu sisteme de elemente constructive și sisteme de instalații capabile să asigure confortul termic dorit atât vara cât și iarna la nivel maxim, prin măsuri pasive (izolare termică, recuperare de căldură, utilizare pasivă a energiei solare și a surselor interne de căldură), "utilizând cât mai puțin surse convenționale de producere a energiei".

Inițiatorii conceptului au extins sfera de testare și validare lansând provocarea de a vedea dacă principiul poate fi transferat în Europa prin mijloace tehnice, și astfel ideea lansării unui proiect de cercetare științifică cu scopul de a realiza o construcție rezidențială cu consum redus de energie, odată cu integrarea unor soluții constructive pasive care sunt foarte puțin dependente de sistemele convenționale de producere a energiei active.

În acest scop a fost constituită o echipă internațională din oameni de știință care a participat la “Passive House Preparatory Research Project”, "Proiectul de cercetare pentru construirea Casei pasive" și în care au fost implicați și prof. Bo Adamson și Gerd Hauser. Proiectul a efectuat cercetări sistematice asupra cerințelor pentru clădirile eficiente din punct de vedere energetic și a dezvoltat prototipuri de componente noi pentru acest tip de clădire: inclusiv rame termopan, modele de detalii de construcție pentru reducerea efectului punților termice și sisteme de ventilație controlată.

Dovezile teoretice ale fezabilității clădirilor pasive au fost demonstrate de către Wolfgang Feist în teza: “Passive Houses in Central Europe,” through computerised simulations of the energy balance of buildings („Clădiri Pasive în Europa Centrală”, simulare computerizată a bilanțului termic al clădirilor).

În această lucrare au fost luate în considerare toate elementele caracteristice ale unei clădiri, de care depinde consumul de energie, care au fost analizate și optimizate în ceea ce privește calitatea, eficiența energetică și costul de execuție. Un exemplu extrem de important este analiza impactului elementelor vitrate asupra cererii anuale de încălzire. În graficul prezentat în figura 1.1, se poate observa că pentru sistemul de geam triplu al ferestrelor, necesarul de energie pentru încălzire scade odată cu creșterea suprafeței acestora. O soluție constructivă pasivă de optimizare a consumului de energie al clădirii constă astfel în realizarea elementelor componente perimetrice din suprafețe mari de sticlă, amplasate pe fațada orientată spre sud, pentru a crește aportul pasiv de energie solară.

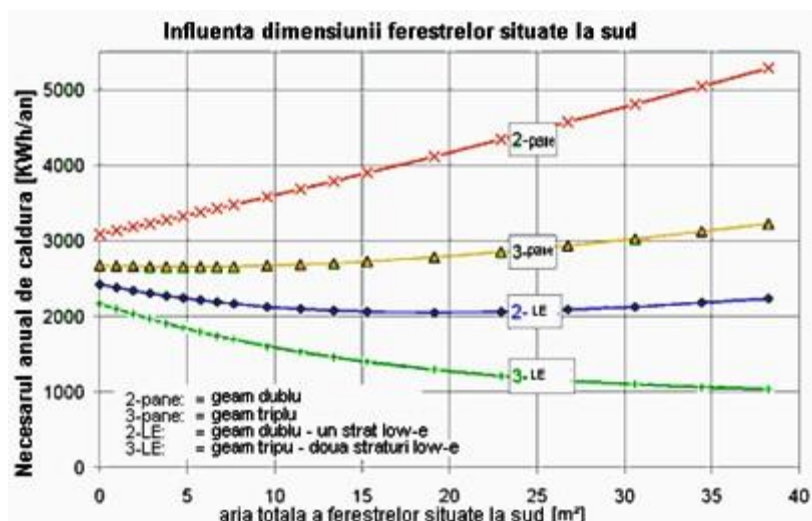


Figura 1.1: Influența dimensiunilor ferestrelor asupra necesarului anual de energie pentru încălzire

## 1.2. Clădirea pasivă prototip din Darmstadt-Kranichstein

Datorită interesului ministrului german al Economiei, Alfred Schmidt, a fost înființată o echipă de cercetare finanțată de Ministerul Economiei și Tehnologiei pentru dezvoltarea clădirilor pasive. Echipa de cercetare a supravegheat opt proiecte de cercetare, ale căror rezultate urmau să fie utilizate direct în construcția primei case pasive din Kranichstein.

Pentru aceasta, au fost pregătite o serie de proiecte arhitecturale alternative și se fac cercetări pentru îmbunătățirea eficienței unităților ventilate cu recuperare de căldură. Testele pentru sistemele de ventilație s-au bazat pe prevederile din reglementările tehnice privind calitatea aerului. Totodată, a fost creat un nou tip de rame de ferestre foarte bine izolate, au fost concepute detalii de construcție pentru conectarea componentelor anvelopei clădirii pentru a minimiza efectul punților termice, au fost analizate și dezvoltate tehnologii de încălzire solară, precum și un concept pentru recuperarea căldurii din apele uzate.

În urma diseminării rezultatelor cercetărilor autoritățile din orașul Darmstadt și-au exprimat foarte rapid intenția de a realiza primul proiect de clădire pasivă prototip, în cadrul unui program de promovare al "Construcțiilor experimentale de locuințe Darmstadt-Kranichstein K7". Un prim pas a fost constituirea Societății dezvoltatorilor de clădiri pasive, formată din patru persoane fizice, care au desemnat arhitecții prof. Bott / Ridder / Westermeyer să managerieze acest proiect.

*Prima Clădire Pasivă* construită pe baza planurilor prof. Bott / Ridder / Westermeyer, a fost realizată între anii 1990/91 în orașul Darmstadt Kranichstein, Germania, figura 1.2, de către o echipă de specialiști care efectuau cercetări de profil în cadrul proiectului “Passive House Preparatory Research Project”, aflați în strânsă colaborare și consultare cu profesorii Bo Adamson și Gerd Hauser.



a) fațada nord

b) fațada sud

Figura 1.2: Prima Clădire Pasivă, Darmstadt Kranichstein, Germania (passipedia.org)

Clădirea prototip din Darmstadt Kranichstein are în componență patru unități rezidențiale terasate (apartamente distincte), fiecare unitate locativă având suprafața de 156 m<sup>2</sup>. Din punct de vedere arhitectural, clădirea are în componere: subsol, parter și două niveluri. Structura de rezistență este realizată din cadre din beton armat.

**Pereții exteriori** sunt realizați din zidărie din cărămizi pe bază de nisip și var ranforsată cu fibre, având grosimea de 175 mm, izolați cu polistiren expandat cu grosimea de 275 mm, montată în două straturi, cu grosimea de 150, respectiv 125 mm, placați cu ghips carton de grosime 15 mm peste care s-a aplicat un strat de emulsie de vopsea, având,  $U_{pe}=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Planșeul peste subsol** are o placă de beton armat având grosimea de 160 mm, izolație termică din panouri din polistiren de grosime 250 mm, izolație fonică din polistiren cu performanțe acustice speciale, cu grosime 40 mm grosime, strat de egalizare din ciment de 50 mm și un strat de finisaj din parchet cu grosimea cuprinsă între 8-15 mm asamblat cu adeziv fără solvenți, având  $U_{pard}=0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Acoperișul** dispune de o structură de lemn, membrană de protecție, izolație de vată minerală suflată de grosime 445 mm, plăci din polietilenă lipite fără rosturi, finisat cu panouri cu ghips carton de grosime 15 mm și un strat de emulsie de vopsea, având  $U_{ter}=0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Ferestrele** au în componență tâmplărie din lemn cu izolație din spumă poliuretanică (spumă cu  $\text{CO}_2$ , fără HCFC) și ansamblul vitrat realizat din panouri de geamuri triple cu low-e și cavitățile umplute cu Kripton, având  $U_{fer}=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Scopul** acestui prim proiect de cercetare a fost adoptarea soluțiilor eficiente de proiectare disponibile la momentul respectiv, cu scopul de a minimiza necesarul total de energie al clădirii prin optimizarea eficienței tuturor componentelor sistemului pentru a asigura utilizarea încălzirii, apei calde menajere, echipamente auxiliare, electricitate, electrocasnice și iluminat precum și ventilație cu recuperare de căldură. În ceea ce privește componentele clădirii, s-a pus un accent deosebit pe diverse strategii pasive, precum izolarea termică, ferestrele de înaltă calitate, etanșeitatea la infiltrațiile de aer în anvelopă, evitarea punților termice și sisteme eficiente de ventilație cu recuperare de căldură.

Pentru prima dată schema de principiu a clădirii pasive prototip din Darmstadt Kranichstein, figura 1.3, cu principalele elemente constructive și funcționale a fost prezentată în cadrul conferinței „The first Passive House Conference” din 1996.

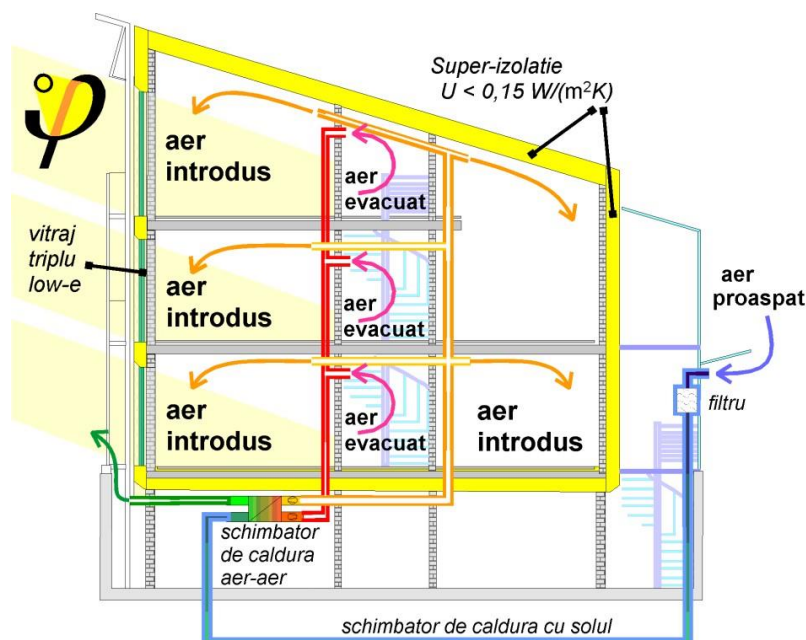


Figura 1.3: Schema de principiu a Clădirii Pasive din Kranichstein - Darmstadt, secțiune transversală

După cum se poate observa din schema, clădirea este dotată cu un sistem de ventilație cu unitatea de ventilație echipată cu schimbător de căldură aer-aer, cu recuperare de căldură din aerul extras și evacuat, situat la subsolul clădirii (unde se înregistrează o temperatură minimă de aproximativ 9 °C iarna). Eficiența recuperării căldurii aerului evacuat pentru acest echipament este de aproximativ 80 %. Se combină cu un schimbător de căldură de tip sol-aer, amplasat la o adâncime de cca. 2 m în pământ, care are rolul de a preîncălzi/răci aerul nou introdus.

Acest sistem de ventilație oferă o sursă constantă de aer proaspăt pentru fiecare unitate de cazare. În cazul setării sistemului pe nivelul minim de debit, 100 m<sup>3</sup>/h de aer proaspăt se introduce aer proaspăt în zonele frecvent utilizate și spațiile de dormit din fiecare unitate asigurând debitul de aer proaspăt de 25 m<sup>3</sup>/h /pers, pentru un grad de ocupare cu patru persoane pentru fiecare gospodărie, echipamentul permițând setarea manuală în funcție de cerințele utilizatorilor. Pentru treapta care corespunde nivelului maxim de debit, sistemul asigură între 160 și 185 m<sup>3</sup>/h de aer proaspăt. Evacuarea aerului uzat se realizează din camerele cu umiditate ridicată precum bucătăria și baia în cantități corespunzătoare asigurând astfel parametrii optimi ai aerului interior.

Apa caldă menajera se produce cu ajutorul panourilor solare de tip tuburi vidate, amplasate pe acoperiș, cu o suprafață de captare de 5,3 m<sup>2</sup> pentru fiecare apartament. În situația în care panourile solare nu asigură căldura necesară pentru prepararea apei calde menajere se folosește o sursă auxiliara de căldură care funcționează pe gaze naturale. Panourile solare asigură aproximativ 66 % din necesarul de apă caldă.

Deoarece furnizarea de apă caldă menajeră reprezintă cea mai mare cerere de energie pentru această casă, un sistem eficient de apă caldă este de o importanță deosebită. În acest caz s-a ales un sistem eficient de distribuție a apei calde (fără pierderi de căldură), realizat cât mai compact, cu secțiunile de conducte foarte bine izolate și montate în interiorul carcsei clădirii.

Pentru a observa comportamentul clădirii a fost conceput un program de monitorizare care să ofere informații despre aspectele caracteristice clădirilor superizolate, eficiența ferestrelor, gradul de etanșitate, recuperarea căldurii, comportamentul ocupanților, calitatea aerului din interior și cantitatea de căldură furnizată din sursele interne de căldură.

Începând cu iarna dintre anii 1991/1992 până în anul 1999 au fost efectuate măsurătorile repetate ale temperaturilor și fluxurilor de căldură pentru a determina performanțele energetice ale Casei Passive din Darmstadt. Rezultatele acestor măsurători și determinări privind energetica

clădirii, prezentate în figura 1.4, au furnizat date științifice extrem de importante pentru oamenii de știință.

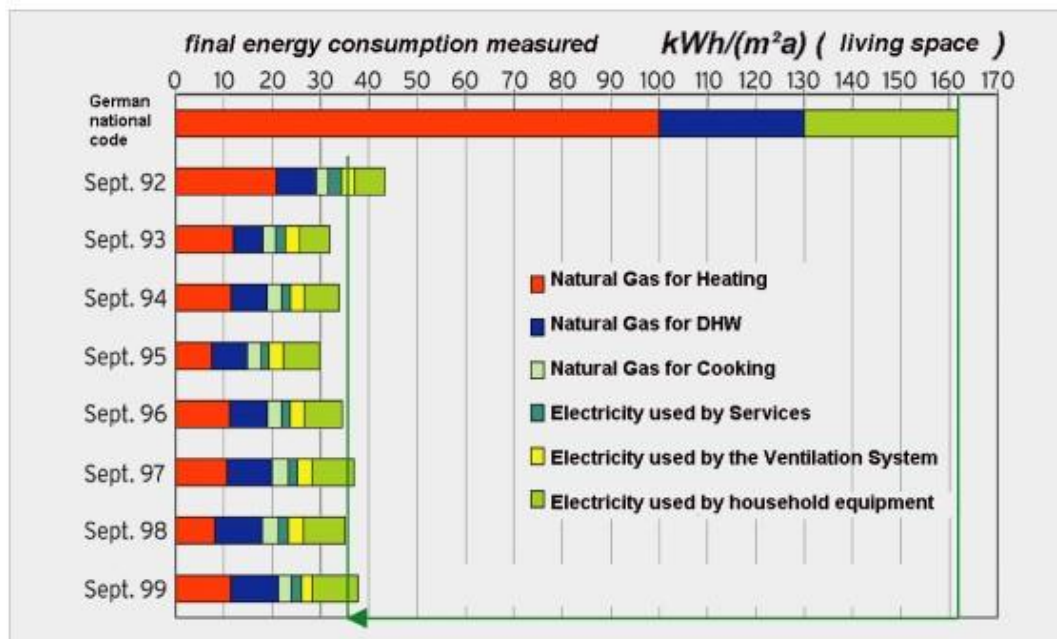


Figura 1.4: Consumul de energie al casei pasive Darmstadt-Kranichstein

În analiza prezentată se poate observa că necesarul anual de încălzire a fost în prima iarnă din 1991/92 de exploatare a clădirii de 19,8 kWh/(m²a), care raportat la consumul de energie pentru locuințele obișnuite de referință, a reprezentat doar 8 % din acesta. În iarna din 1992/93, cel de al doilea an de exploatare, necesarul anual pentru încălzire a fost 11,9 kWh/(m²a), reprezentând 5,5 % din consumul de energie în comparație cu locuințele standard, consumul pentru apă caldă 6,1 kWh/(m²a), consumul de gaz pentru gătit 2,6 kWh/(m²a). Pentru următorii ani s-a înregistrat în medie o cerere anuală de energie pentru încălzire sub valoarea de 10 kWh/m²a.

Un aspect deosebit de important se poate observa în perioada iernii foarte reci din 1996/97, când condițiile climaterice au fost caracterizate de temperaturi exterioare foarte scăzute față de cele standard de proiectare, și care au creat probleme serioase de confort în clădirile rezidențiale încălzite din surse convenționale, când cererea anuală de încălzire a rămas sub 11 kWh/(m²a), înscriindu-se în aceeași medie a anilor anteriori.

Având în vedere faptul că sarcina termică pentru încălzire rezultată din măsurări nu a depășit niciodată valoarea de 7,4 W/m², s-a ajuns la concluzia că aceasta ar putea fi acoperită



prin sistemul de ventilare cu recuperare a căldurii, fără a mai fi necesară existența unui alt sistem suplimentar de producere și distribuție a căldurii.

Rezultatele obținute în urma monitorizării consumurilor de energie efectuate în casa pasivă din Darmstadt-Kranichstein, au confirmat faptul că din punct de vedere energetic, în comparație cu o clădire standard proiectată după prevederile codurilor germane din perioada respectivă, cererea anuală de energie pentru încălzire s-a diminuat drastic cu până la 90 %, de energie electrică cu 30 % ca urmare a utilizării aparatelor de uz casnic eficiente energetic, iar consumul suplimentar de gaze pentru echipamentele auxiliare pentru producere energie termică este mai mic cu 15 %.

Deși s-a confruntat cu o serie de polemici generate de interpretări incorecte în cercurile profesionale asupra performanțelor energetice ale clădirii, justificate într-un fel și de nivelul de cunoaștere al vremii, prima casă pasivă din Darmstadt-Kranichstein a avut un succes deplin, îndeplinind în totalitate așteptările legate de aceste clădiri prototip.

### 1.3. Principiile conceptului Casei Pasive

Principiile de proiectare și execuție care stau la baza conceptului dezvoltat de Institutul Casei Pasive (PHI-Passiv Haus Institut) din Darmstadt, ilustrate în figura 1.5 sunt:

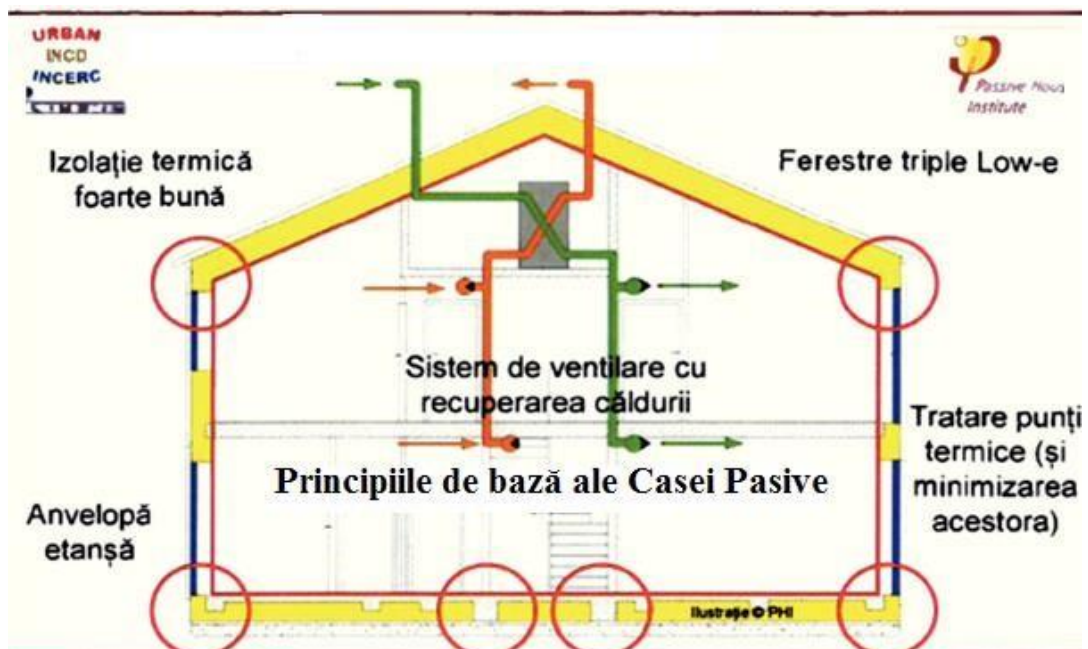


Figura 1.5: Principiile de bază ale unei Case Pasive.

**termoizolație eficientă** – presupune o izolare termică extrem de performantă a elementelor opace ale anvelopei pentru a obține valori ale coeficientului de transfer termic ( $U_{op} \leq 0,15$  W/m<sup>2</sup>K);

**ferestre eficiente energetic** – elementele de tâmplărie (toc și cercevea) și panourile vitrate eficiente energetic pentru care coeficientul de transfer termic al ferestrei ( $U_{fer} \leq 0,8$  W/m<sup>2</sup>K) și factorul de transmisie a radiației solare a panoului vitrat (g) de minim 50 %;

**eliminarea punților termice** sau reducerea lor până la valori foarte scăzute ale transmitanței termice liniare  $\psi \leq 0,01$  W/mK este un obiectiv de atins foarte important, urmărind reducerea substanțială a pierderilor de căldură prin transmisie;

**etanșitatea elementelor anvelopei** – îmbinările dintre elementele anvelopei trebuie să fie extrem de bine realizate, rata de infiltrații ( $n_a$ ) în condițiile unei diferențe de presiune interior-exterior de 50 Pa, trebuie să fie de maxim 0,6 h<sup>-1</sup>, având implicații directe în eliminarea infiltrației curenților de aer cu temperaturi scăzute iarna și ridicate vara, care pot perturba microclimatul interior și care generează costuri suplimentare pentru restabilirea acestuia precum și reducerea riscului de degradare a clădirii;

**sistem de ventilație cu recuperare de căldură** – implică recuperarea căldurii din aerul evacuat cu ajutorul unui recuperator, sistem aer-aer dublu flux, cu rata de reîmprospătare de 30 m<sup>3</sup>/h /pers., randament de recuperare ( $\eta$ ) al schimbătorului de căldură mai mare de 80 %, eficiență energetică mai mică de 0,45 Wh/m<sup>3</sup> și nivel de zgomot mai mic de 30 dB(A).

Pe lângă aceste condiții de bază în cadrul procesului de proiectare al casei pasive sunt adoptate o serie de strategii și măsuri denumite pasive:

- **forma compactă a clădirii** - nu impune restricții privind geometria acesteia dar se recomandă să fie cât mai compactă în vederea minimizării pierderilor de căldură;
- **orientarea** – amplasarea elementelor vitrate ale fațadei principale spre sud în vederea maximizării utilizării aperturilor de energie solară;
- **utilizarea sistemelor de umbrire** – pentru controlul fluxului de căldură generat de radiația solară incidentă;
- **preîncălzirea sau prerăcirea pasivă a aerului proaspăt** prin intermediul unui schimbător de căldură aer-sol folosit pentru preîncălzirea pe timpul iernii și prerăcirea aerului proaspăt pe timpul verii; astfel se elimină în totalitate riscul înghețării condensului în schimbătorul de căldură recuperator;

- utilizarea surselor de energie regenerabilă – sistem integrat de exploatare pasivă/activă a surselor de energie regenerabilă pentru asigurarea utilităților (apă caldă, încălzire/răcire, energie electrică);
- utilizarea aparaturii electrocasnice eficiente energetic - se recomandă utilizarea aparaturii electrocasnice cu consum energetic redus.

#### **1.4. Cercetări privind clădirile pasive la nivel mondial și național**

La nivel mondial, considerat unul dintre principalii pionieri americani în domeniul eficienței energetice este omul de știință Amory Lovins, care prin demersurile și cercetările sale științifice a contribuit în mod substanțial la trecerea de la faza de experiment a conceptului clădirilor pasive la faza de implementare practică a acestora.

În cadrul conferinței științifice din anul 1995 în care au fost prezentate rezultatele cu privire la performanțele energetice ale casei pasive din Darmstadt Kranichstein, în urma vizitei clădirii, acesta a afirmat că: *"Nu, nu este doar un experiment științific. Aceasta este soluția. Va trebui doar să reproiectați detaliile pentru a reduce costurile suplimentare - și acest lucru va fi posibil, sunt convins "*, sugerând de asemenea că acest demers științific nu trebuie să rămână doar ca un proiect de cercetare, ci trebuie să se impună ca un standard energetic al viitorului.

Ideea lansată de Lovins a prins contur foarte rapid, la scurt timp constituindu-se Grupul de lucru pentru Clădiri Pasive economice (working group on economical Passive Houses), cu ajutorul căruia procedurile existente au fost strânse și transpuse într-o metodă de proiectare simplificată definitivându-se softul de calcul numit Pachetul de proiectare a Casei Pasive – PHPP, (Passive House Planning Package), începând astfel implementarea pe scară largă a conceptului Casei pasive. Au fost inițiate o serie de proiecte pilot cu număr mai mare de case pasive de a doua generație și a fost demarată dezvoltarea componentelor adecvate pentru locuințe pasive. Grupul de cercetare pentru case pasive eficiente a jucat un rol cheie în corelația dintre aspectele teoretice privind fizica clădirilor și practicile de construcție.

Unul dintre proiectele care a avut un rol foarte important în promovarea și implementarea principiilor conceptului de casei pasive l-a avut proiectul Cost Efficient Passive Houses as European Standards (CEPHEUS). Obiectivul central al acestui proiect a fost testarea și demonstrarea viabilității principiilor conceptului Casei pasive la nivel european. În acest scop au fost construite 233 de unități locative amplasate în cinci țări din Europa Centrală (Franța 40 unități, Germania - 72 unități, Austria - 84 unități, Suedia – 20 și Elveția - 17 unități ), pe baza

a 14 proiecte. Aceste clădiri au fost evaluate sistematic prin campanii și programe de măsurări a principalilor parametri care contribuie la îndeplinirea standardului de case pasive.

Pe baza rezultatelor prezentate în raportul final al proiectului evaluarea științifică a permis concluzia că proiectul CEPHEUS a avut un mare succes în ceea ce privește: viabilitatea funcțională a conceptului Casei Pasive în toate locațiile, realizarea reală a obiectivului de economii de căldură aferente spațiului de locuit, rezultând economii de energie de peste 80 % din datele privind consumul măsurat pentru primul sezon de încălzire pentru 11 din cele 14 proiecte, implementarea practică a Caselor Pasive într-o varietate largă de stiluri arhitecturale de clădiri, aspectele legate de proiecte economie precum și satisfacția ocupanților clădirii. Astfel s-a realizat o buna corelație între rezultatele calculate cu softul PHPP și măsurătorile efectuate. Echipa de cercetători CEPHEUS a făcut publică și accesibilă tuturor experiența dobândită și instrumentele esențiale de proiectare pentru casa pasivă.

Tehnologia casei pasive a declanșat oportunitatea de inovare în industria construcțiilor și astfel o nouă serie de produse compatibile cu standardul au început să fie disponibile, deschizând drumul pentru o noua etapă a eficienței energetice în raport cu protecția mediului și conservarea resurselor.

În urma succesului reportat al Claselor Pasive, în 2005, a fost inițiat proiectul european de cercetare și diseminare științifică "*Passive-On*", coordonat de Grupul de Cercetare pentru Eficiența utilizării finale (End-use Efficiency Research Group at the Politecnico di Milano) din cadrul Politehnicii din Milano, Italia, desfășurat în perioada 1 ianuarie 2005 - 30 septembrie 2007. Obiectivul principal al proiectului *Passive-On* a fost să examineze modul în care se pot adopta și adapta principiile conceptului casei pasive, în special în climatul mediteranean din Europa de Sud. Țările care au participat la acest proiect au fost: Italia, Franța, Germania, Spania și Portugalia. Locațiile studiate din regiunea mediteraneană, prezentate în figura 1.6, se confruntă în mod special cu o problemă predominantă de asigurare a confortului termic pe timpul sezonului cald, astfel că problema utilizării energiei este una mai delicată pentru că cererea de energie pentru a oferi ocupanților un microclimat interior confortabil în perioada de iarnă se extinde și la sezonul cald.



Figura 1.6: Harta cu locațiile analizate în proiectul Passive-On

Obiectivul central al acestei cercetări a fost de a vedea modul în care principiile de bază ale conceptului casei pasive pot fi adoptate în regiunea mediteraneană. Un aspect important tratat în cadrul proiectului a fost reevaluarea definiției standard cu aplicabilitate pentru climatele din Europa Centrală și modul în care ar putea fi modificată aceasta pentru a lua în considerare și cererea de energie pentru răcire precum și alte modalități de utilizare finală ale aporturilor energetice din locuințe.

Principalele modificări aduse în scopul de a face relevante principiile standardului Casei Pasive pentru climatul mediteraneean au fost:

- introducerea unei limite clare privind cererea de energie pentru acoperirea sarcinii de răcire din sezonul cald de 15 kWh/m<sup>2</sup> an;
- cerințe minime pentru confortul de interior în sezonul de vară, temperaturile de vară nu trebuie să depășească valoarea temperaturii adaptive de confort definită și propusă în standardul EN 15251, compatibilă cu designul pasiv;
- relaxarea limitei de etanșeitate ( $n_{50}$ ) a anvelopei clădirii la 1h<sup>-1</sup>.

Proiectul Pasiv-On a condus la obținerea a trei rezultate majore:

*Instrucțiuni de proiectare pentru arhitecți și designeri.*

În cadrul proiectului s-a elaborat Ghidul de proiectare pentru dezvoltarea caselor pasive cu costuri investiționale relativ scăzute, care să asigure cerințe minime de energie pentru încălzire și răcire stabilindu-se astfel liniile directoare de proiectare a Caselor Pasive în climatul mediteraneean. Orientările se referă la studiouri arhitecturale mici, tipice pentru Italia, Spania și Portugalia, care dispun de puține resurse pentru a dezvolta proiecte inovatoare și tind să rămână

ancorați în vechile soluții de proiectare. Un aspect important evidențiat în acest proiect a fost faptul că umiditatea joacă un rol important în asigurarea confortului termic pe timpul verii în multe dintre localitățile studiate. Ca urmare procesele higrotermice au fost luate în considerare în simularea și evaluarea rezultatelor obținute. O parte integrantă a Ghidului de proiectare este Software-ul pachetului de proiectare a casei (PHPP) dezvoltat de PHI. Proiectul *Passive-On* a extins software-ul PHPP pentru a calcula cerințele de energie pentru răcire și pentru a evalua soluțiile de răcire pasivă.

#### *Propuneri de politici.*

În perioada derulării proiectului *Passive-On* au fost intervievați peste 60 de profesioniști din sectoarele privat și public din cele cinci țări partenere active în dezvoltarea locuințelor cu consum redus de energie. Pe baza considerentelor lor și a celor mai bune practici din Europa, proiectul a colectat o serie de propuneri de politică pentru a sprijini dezvoltarea clădirilor pasive, cum ar fi:

- instruire și dezvoltare: îmbunătățirea cursurilor de instruire de la arhitect la constructor: arhitecții trebuie să-și îmbunătățească înțelegerea fizică a clădirilor, astfel încât designul pasiv cu cerere scăzută de energie să devină integrat în toată formarea arhitecturală și să nu rămână o opțiune pentru cei selectați iar constructorii trebuie să-și îmbunătățească înțelegerea și atenția la detalii, pentru a se asigura că soluțiile de proiectare eficiente sunt implementate corect pe teren;
- emiterea de reglementări tehnice: necesitatea elaborării de coduri de construcție pentru a elimina unele dintre barierele implicite în locuințele cu consum redus de energie. Nivelele ridicate de izolare înseamnă că, pentru aceeași amprentă a terenului ca și casă standard, o Casa pasivă va avea o suprafață utilă mai mică; taxele și tarifele consiliului ar trebui să se bazeze pe volumul net al unei locuințe - normele naționale pentru nivelurile de confort din timpul verii nu trebuie să fie atât de restrictive încât să necesite aer condiționat activ;
- soluții de finanțare: colaborarea sectorul public cu instituții private pentru a dezvolta mecanisme pentru a finanța costurile suplimentare de achiziționare a clădirilor pasive; sistemele de creditare pot fi făcute pentru a reflecta creșterea lichidității gospodăriilor casnice.
- acreditarea: asigurarea certificării independente pentru Case pasive oferă fundația pentru majoritatea celorlalte mecanisme de stimulare. Schemele de acreditare pot fi

extinse pentru a acoperi produsele și constructorii specializați și, în acest mod, se creează încredere oferind-se produse certificate cu un control și o garanție a calității.

#### *Diseminare.*

În cadrul atelierelor tehnice desfășurate separat în fiecare țară parteneră, proiectul a avut ca țintă difuzarea conceptului/standardului PHI în țările partenere în rândul publicului țintă (arhitecți, designeri și administrații locale).

La puțin timp după proiectul *Passive-On* a fost lansat proiectul PEP, în care au fost construite și analizate clădiri rezidențiale amplasate în localități care aparțin unui climat mai rece specific zonelor geografice din nord-estul Europei, din Austria, Danemarca, Irlanda, UK, Olanda, Norvegia și Finlanda. Prin acest proiect s-a ajuns la concluzia generală în aceste zone climatice construcția clădirilor rezidențiale poate fi realizată folosind sisteme și componente deja existente pe piață. Totodată pe baza rezultatelor obținute a fost dezvoltat un algoritm de calcul pentru determinarea sarcinii de încălzire integrat în softul PHPP, corespunzător datelor climatice specifice acestei zone.

În perioada 2007-2010 s-a derulat proiectul științific PASS-NET, în care au fost implicați parteneri din mai multe zone ale Europei, din următoarele țări: Austria, Belgia, Croația, Republica Cehă, Germania, Marea Britanie, România, Republica Slovacă, Slovenia și Suedia. România a avut ca partener în acest proiect o echipă de specialiști din cadrul Institutului de Studii și Proiectări Energetice - ISPE. Scopul principal al acestui proiect a fost promovarea conceptului casei pasive, în special în noile țări membre UE, fiind creată o rețea de experți europeni în domeniul clădirilor pasive, și dezvoltat un program de studiu care a fost pus la dispoziția fiecărei țări participante în cadrul proiectului.

În concordanță cu politicile UE privind promovarea utilizării surselor de energie regenerabilă în perioada 2012-2015 s-a desfășurat proiectul PassREg (Passive House Regions with Renewable Energies). Principalul obiectiv al proiectului a fost de a promova clădirile pasive ce folosesc energia regenerabilă din surse locale. Un alt obiectiv al acestui proiect încununat de succes a fost realizarea implementării clădirilor cu consum aproape zero de energie - nZEB (Nearly Zero Energy Buildings), pe întreg teritoriul al Uniunii Europene. Din proiect au făcut parte 14 parteneri din 11 țări. Pentru a oferi o sursă de informare și suport teoretic celor care sunt interesați să pună în aplicare proiecte de clădiri pasive dotate cu surse regenerabile de energie a fost creată o bază de date PassREg-SOS (PassREg Solutions Open Source).

În anul 2012 Passive House Institute și Rongen Architects a coordonat proiectul „Passive Houses for different climate zones”, care a avut ca obiectiv principal extinderea aplicabilității

standardului Casa Pasivă pentru diverse locații din diferite zone climatice de pe glob, prezentate în figura 1.8, fiind alese locații amplasate în diferite tipuri de clima. Direcția principală de cercetare a fost să identifice soluțiile tehnice adecvate și să analizeze efectul parametrilor climatici specifici fiecărei zone în parte asupra bilanțului termic al clădirilor.

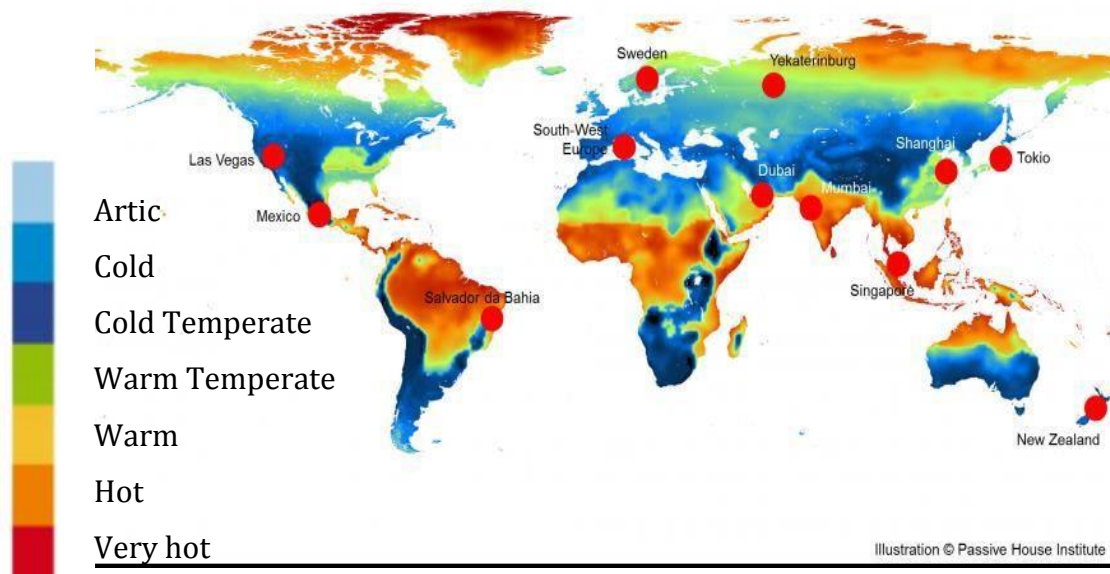


Figura 1.8: Harta cu locațiile selectate

În scopul realizării unei baze teoretice consistente pentru transferul conceptului Casei pasive către clădirile rezidențiale în climate care diferă fundamental de Europa Centrală au fost amplasate clădirii cu geometrii identice în șase climate foarte diferite, realizându-se, prin simulare dinamică a clădirii, o analiză din punct de vedere higrotermic pe baza criteriului funcțional de ventilare climatizare a aerului proaspăt introdus, urmărindu-se care sunt nevoile structurale și funcționale pentru realizarea unei case pasive.

Selecția locațiilor s-a făcut în funcție de tipurile de climă reprezentative pentru o zona geografică extinsă cu regiuni în care potențialul de dezvoltare urbană era considerat foarte mare în viitor și pentru care a existat o disponibilitate a datelor climatice fiabile.

Locațiile selectate pentru studiu au fost:

- Yekaterinburg: un climat rece, cu temperaturi ale mediului ambiant care scad la nivelul  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dar nivelurile de radiație solară sunt mai mari decât în Germania;
- Tokyo, un climat cald subtropical, unde iernile sunt blânde, cu îngheț care apare doar ocazional, iar verile sunt calde și umede;
- Shanghai, de asemenea, un climat cald subtropical;



- Las Vegas, un climat cald și uscat, cu diferențe mari de temperatură de 15 K în timpul unei zile obișnuite;
- Abu Dhabi, un climat cald și umed, unde temperaturile de vară ajung la 45 °C, nivelurile de radiații solare sunt foarte ridicate și conținutul de umiditate atinge 20 g/kg;
- Singapore, o climă tropicală unde condițiile de mediu sunt aproape constante pe tot parcursul anului, cu temperaturi în jur de 28 °C și fluctuații zilnice mici și valori ale conținutului de umiditate situate între 18 și 20 g/kg.

Caracteristicile climatice ale zonelor unde sunt amplasate clădirile în aceste locații sunt prezentate în tabelul 1.5.

**Tabelul 1.5.** Caracteristicile climatice ale locațiilor selectate

	01–Yekaterinburg	02–Tokyo	03–Shanghai	04–Las Vegas	05–Abu Dhabi	06–Singapore
Latitude	56.8°	36.2°	31.4°	35.7°	24.4°	1.4°
Longitude	60.6°	140.4°	121.4°	-115.2°	54.7°	104.0°
Elevation	237 m	35 m	7 m	648 m	27 m	16 m
Annual average temperature	2.4 °C	13.1 °C	16.3 °C	19.8 °C	27.1 °C	27.5 °C
Max. daily average temperature	25.1 °C	28.6 °C	33.3 °C	37.0 °C	38.8 °C	30.2 °C
Average temperature Jun–Sep	14.8 °C	21.7 °C	25.9 °C	30.6 °C	33.7 °C	27.8 °C
Average daily temperature variation (max–min) Jun–Sep	9.1 K	7.5 K	6.2 K	14.6 K	13.3 K	5.7 K
Average humidity ratio Jun–Sep	7.8 g/kg	14.3 g/kg	17.2 g/kg	5.6 g/kg	17.2 g/kg	19.3 g/kg
Solar horizontal Jun–Sep	141 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	128 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	131 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	225 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	221 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	139 kWh/(m <sup>2</sup> mon)
Solar South Jun–Sep	88 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	63 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	55 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	85 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	61 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	54 kWh/(m <sup>2</sup> mon)
Solar E/W Jun–Sep	72 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	63 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	64 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	115 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	91 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	68 kWh/(m <sup>2</sup> mon)
Min. daily average temperature	-26.3 °C	-2.0 °C	-0.5 °C	1.5 °C	15.5 °C	24.4 °C
Average temperature Nov–Feb	-11.0 °C	4.9 °C	7.3 °C	9.6 °C	20.6 °C	26.7 °C
Average daily temperature variation (max–min) Nov–Feb	7.7 K	12.1 K	6.8 K	11.6 K	11.5 K	5.5 K
Average humidity ratio Nov–Feb	1.5 g/kg	4.1 g/kg	5.0 g/kg	2.8 g/kg	10.1 g/kg	18.8 g/kg
Solar horizontal Nov–Feb	21 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	76 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	70 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	98 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	135 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	134 kWh/(m <sup>2</sup> mon)
Solar South Nov–Feb	33 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	88 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	65 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	134 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	131 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	72 kWh/(m <sup>2</sup> mon)
Solar E/W Nov–Feb	13 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	40 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	34 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	59 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	66 kWh/(m <sup>2</sup> mon)	68 kWh/(m <sup>2</sup> mon)

În urma simulărilor dinamice făcute utilizând ca date de intrare parametrii prezentați anterior, pentru asigurarea condițiilor de confort interior ale ocupanților fără a ieși din „intervalul de confort extins”(menținerea temperaturii aerului din interior între 20,5 și 25,5 ° C, și umidității relative sub valoarea de 70 %), figura 1.9, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 1.6.

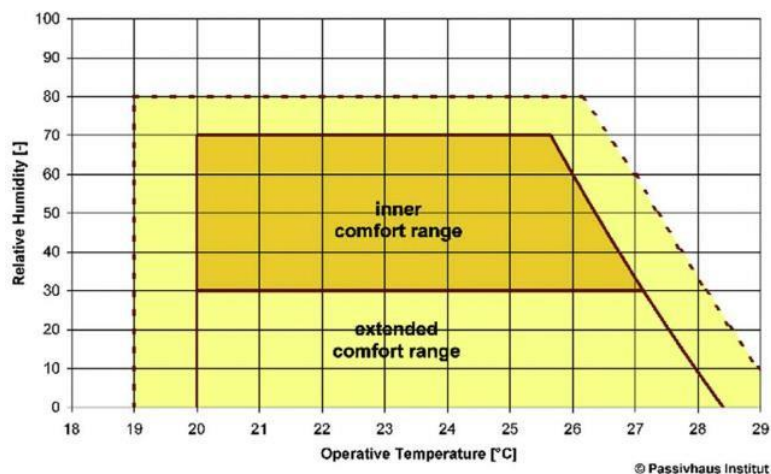


Figura 1.9: Intervale de confort pentru simulările dinamice.

**Tabelul 1.6:** Cererile de energie ale Caselor pasive de referință din locațiile selectate

	01—Yekaterinburg	02—Tokyo	03—Shanghai	04—Las Vegas	05—Abu Dhabi	06—Singapore <sup>d</sup>
For ideal heating, cooling and dehumidification system						
Heating demand (20 °C) <sup>a</sup>	22.4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	9.9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13.2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Cooling demand (26 °C @ 60%) <sup>a</sup>	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1.2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7.7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	12.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	38.7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	38.7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Dehumid. demand (70% r.h.) <sup>a</sup>	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	8.4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10.2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	30.7 kWh/(m <sup>2</sup> a)
24 h average heating load <sup>b</sup>	10.3 W/m <sup>2</sup>	9.7 W/m <sup>2</sup>	10.1 W/m <sup>2</sup>	9.3 W/m <sup>2</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>
24 h average cooling load <sup>b</sup>	0.9 W/m <sup>2</sup>	3.4 W/m <sup>2</sup>	7.2 W/m <sup>2</sup>	10.3 W/m <sup>2</sup>	10.0 W/m <sup>2</sup>	6.4 W/m <sup>2</sup>
24 h average latent load <sup>b</sup>	0.1 W/m <sup>2</sup>	8.2 W/m <sup>2</sup>	5.9 W/m <sup>2</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>	4.8 W/m <sup>2</sup>	4.3 W/m <sup>2</sup>
For heating, cooling and dehumidification via a common fresh air system						
Heating demand (20 °C) <sup>a</sup>	23.2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14.5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	14.5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Cooling demand (26 °C @ 60%) <sup>a</sup>	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	7.1 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11.4 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15.2 kWh/(m <sup>2</sup> a)	37.7 kWh/(m <sup>2</sup> a)	38.5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Dehumid. demand (70% r.h.) <sup>a</sup>	0.0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	10.3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	11.8 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1.3 kWh/(m <sup>2</sup> a)	21.9 kWh/(m <sup>2</sup> a)	35.9 kWh/(m <sup>2</sup> a)
24 h average heating load <sup>b</sup>	10.0 W/m <sup>2</sup>	9.2 W/m <sup>2</sup>	10.0 W/m <sup>2</sup>	9.2 W/m <sup>2</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>
24 h average cooling load <sup>b</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>	6.9 W/m <sup>2</sup>	5.7 W/m <sup>2</sup>	8.5 W/m <sup>2</sup>	8.8 W/m <sup>2</sup>	5.9 W/m <sup>2</sup>
24 h average latent load <sup>b</sup>	0.0 W/m <sup>2</sup>	11.3 W/m <sup>2</sup>	7.8 W/m <sup>2</sup>	1.2 W/m <sup>2</sup>	6.3 W/m <sup>2</sup>	5.6 W/m <sup>2</sup>
Total savings <sup>c</sup>	96%	90%	87%	86%	79%	77%

Prin acest studiu s-a demonstrat valabilitatea și viabilitatea conceptului Casa Pasivă pentru toate climatele, iar în regiunile cu un climat extrem, rece sau cald, conceptul de minimizare a sarcinii de încălzire sau de răcire s-a atins limitele. Astfel, cercetările au validat principiile de construcție ale clădirilor pasive care pot fi realizate aproape oriunde în lume, cu costuri rezonabile privite pe întregul ciclu de viață a clădirii, fără să afecteze libertatea de proiectare a arhitectului.

Promovarea și validarea principiilor standardului casei pasive în zona Balcanică a Europei poate fi menționată odată cu realizarea clădirii pasive din Slovenia.

Concentrându-și atenția asupra supraîncălzirii mediului interior din clădirea pasivă, fenomen care, nu este întâlnit foarte frecvent în Germania, dar întâlnit adesea în țările din sudul Europei în timpul verii, aceștia au colectat și analizat datele de măsurare, ajungând la concluzia că strategiile pasive sunt necesare pentru a menține nivelul de confort sub control.

Pe continentul nord american conceptele de super-izolație, anvelopă etanșă, ventilație cu recuperare a căldurii, ferestre de înaltă performanță și gestionarea câștigurilor solare au apărut în Statele Unite și Canada acum zeci de ani, ca reacție la embargoul asupra petrolului instituit de OPEC. Americanul Nobelist Dr. William Shurcliff a fost unul dintre pionierii acestui domeniu care scris în anii 1980 despre casele pasive.

Co-fondatorul Passive House Institute United States (PHIUS), Katrin Klingenberg, studiind arhitectura în țara de origine, Germania, s-a aflat într-o strânsă colaborare cu PHI, și sub îndrumarea dr. W. Feist, a încercat să reintroducă principiile casei pasive, acum rafinate, în Statele Unite, în 2002, construind propria locuință pasivă în Urbana, Illinois, unde în anii '70 și '80 Universitatea Illinois de la Urbana-Champaign făcea primii pași în inovație în promovarea eficienței energetice și unde termenul "super-izolație" își avea originile.

PHIUS a lucrat în colaborare cu PHI timp de mai mulți ani și a devenit distribuitor al programului calcul în format Excel al Pachetului de Proiectare a Casei Pasive (PHPP), software-ul original de proiectare a casei pasive. PHIUS a dezvoltat o versiune a sistemului Imperial (inch-pound) a acestui software, promovând astfel propriile Clădiri Pasive cu instrumente proprii de proiectare și evaluare, contribuind considerabil la adoptarea conceptului în Statele Unite. PHIUS a creat, de asemenea, un program de formare concentrat în America de Nord și a creat acreditarea (CPHC®). De-a lungul timpului, profesioniștii pregătiți de PHIUS au ajuns la concluzia că, în climatele extreme din America de Nord, conceptele și standardele de construcție pasivă necesită adaptare dacă trebuie să fie practice, rentabile și adoptate suficient de larg pentru a face o diferență substanțială. PHIUS a recunoscut, de asemenea, nevoia de a se alătura unor lideri energetici majori, cum ar fi Departamentul de Energie al Statelor Unite (DOE), Corpul Inginerilor din Armata SUA, Residential Networking (RESNET), Building Science Corporation (BSC) și Fraunhofer IBP-Institut Building Physics.

După eforturi de cercetare susținute, a devenit clar faptul că o singură formulă de performanță pentru toate zonele climatice nu a fost posibilă. În cadrul unor granturi DOE Building America, Comitetul Tehnic PHIUS, în parteneriat cu BSC, a elaborat o formulă care să ofere obiective specifice în materie de climă și costuri eficiente. A fost un efort complet, de trei ani, care a dus la lansarea standardului pasiv de construcție PHIUS + 2015 America de Nord, în martie 2015. Noul standard oferă obiective agresive, dar atrăgătoare pentru performanța energetică a clădirilor, care reduc în mod substanțial emisiile de carbon și consumul de energie în clădiri oferind un nivel maxim de confort, și o calitate superioară a aerului în interior.

În anul 2015, când a avut loc lansarea oficială a standardului pentru promovarea conceptului caselor pasive, Greater Philadelphia Passive House Association (GPPHA), Asociația Caselor Pasive din Philadelphia, a inițiat concursul “Passive Projects Competition”, o competiție juridică care recunoaște proiectele de construcție pasivă, cu totul certificate, de toate tipurile și din toate zonele climatice întâlnite pe continentul american. Analiza acestor proiecte se face pe baza criteriilor privind performanța energetică, designul, utilizarea materialelor ecologice, gradul de dificultate pentru climatul și amplasamentul dat și rentabilitatea proiectelor accesibile.

Astfel, PHUUS a reușit prin activitatea științifică să facă transferul peste ocean al principiilor casei pasive valabile pentru toate zonele Europei și să adapteze aceste cerințe condițiilor climaterice întâlnite în această zonă geografică a continentului nord american.

În România până în prezent au fost dezvoltate câteva proiecte educaționale de cercetare științifică privind studiul clădirilor pasive, în care au fost puse în aplicare principiile de bază ale standardului Casei Pasive în acord cu PHI.

Primul proiect de cercetare de referință în domeniul caselor pasive dezvoltat în mediul universitar românesc a fost inițiat în anul 2011, ca urmare a programului de cercetare inovare intitulat ”Case pasive adecvate condițiilor climatice din România” (contract 214/2008 UEFISCDI), având ca parteneri: Institutul de Studii și Proiectări Energetice (ISPE), Universitatea POLITEHNICA din București (UPB), Universitatea de Arhitectură și Urbanism ”Ion Mincu” (UAIM), Universitatea Tehnică de Construcții București (UTCB), Academia Oamenilor de Știință din România (AOSR). În cadrul acestui proiect a fost realizată o clădire de tip duplex, prezentată în figura 1.10, construită conform standardelor PHI, amplasată în campusul Universității POLITEHNICA din București.



Figura 1.10: Fațada sud a clădirii pasive din campusul Universității "Politehnica" din București.

Duplexul este format din două clădiri identice din punct de vedere arhitectural, având fiecare o suprafață utilă totală de 140 m<sup>2</sup>, echipate cu sisteme HVAC diferite. Casa Est, denumită și Casa Test (Laborator) este echipată cu un schimbător de căldură sol-aer (puț canadian), în timp ce pentru Casa Vest a fost aleasă soluția cu pompă de căldură geotermală. Anvelopa clădirii conține o fațadă ventilată, cu rol izolator suplimentar, asigurând astfel circulația naturală a aerului prin orificii de 50 mm și evitându-se acumularea umidității în izolația termică.

Anvelopa clădirii conține o fațadă ventilată, cu rol izolator suplimentar, asigurând astfel circulația naturală a aerului prin orificii de 50 mm și evitându-se acumularea umidității în izolația termică.

Proprietățile termofizice ale materialelor din care sunt alcătuite elementele opace și vitrate ce compun anvelopa clădirii sunt prezentate în tabelul 1.7.

**Tabelul 1.7:** Proprietățile termofizice ale materialelor elementelor anvelopei clădirii.

Componentă anvelopă	Element		Suprafață [m <sup>2</sup> ]	Grosime [mm]	$\lambda$ [W/m/K]	
<i>Pereți</i>	Acoperiș	Tencuială	182.52	22	0.8	
		Beton armat		130	1.74	
		Vată mineral		400	0.04	
	<b>Coefficient U = 0.107 [W/m<sup>2</sup>/K]</b>					
	Exterior	Tencuială	182.52	22	0.8	
		Zidărie Ytong		250	0.27	
		Vată minerală		300	0.04	
	<b>Coefficient U = 0.122 [W/m<sup>2</sup>/K]</b>					
	Pardoseală	Parchet	94.40	22	0.2	
		Placă OSB		8	0.13	
		Mortar		50	1.1	
		Placă termoizolatoare ESP		150	0.04	
		Beton armat		120	1.74	
		Polistiren extrudat		180	0.04	
		Mortat		50	1.1	
	<b>Coefficient U = 0.114 [W/m<sup>2</sup>/K]</b>					
Perete comun	Tencuială	86.72	22	0.8		
	Zid cărămidă		250	0.8		
	Tencuială		22	0.8		
<i>Festre</i>	Componentă	Suprafață [m <sup>2</sup> ]	Coefficient g	Coefficient U [W/m <sup>2</sup> /K]		
	Geam low-E strat triplu Saint Gobain	29.17	0.5	0,6		
	Rame Rehau		-	0.78		
	Ușă	2.19	-	0.8		

Pereții exteriori au o grosime totală a izolației de 300 mm, prezentând un coeficient global de transfer termic calculat la 0,122 W/m<sup>2</sup>K. Acoperișul a fost izolat cu un strat de vată minerală de 400 mm, având coeficientul global de transfer termic de doar 0,107 W/m<sup>2</sup>K, iar pardoseala are o grosime de 150 mm pe podea (primul strat) și un coeficient global de transfer termic de 0,114 W/m<sup>2</sup>K.

Acoperișul conține în interior un strat de aer, având rol de barieră radiativă, reducând semnificativ transmiterea radiației solare către interior, evitându-se în acest mod supraîncălzirea casei în anotimpul cald.

Suprafețele vitrate sunt compuse din geamuri în strat triplu, (spațiile interioare sunt umplute cu Argon 90 %) având coeficienți globali de transfer termic de 0,6 W/m<sup>2</sup>K și coeficienți totali de absorbție solară de aproximativ 0,5. Geamurile ”double low-E,, conțin ambele suprafețe tratate în vederea menținerii confortului termic pe tot parcursul anului. Suprafața

exterioară a geamului împiedică radiația termică solară cu lungime de undă mare să străbată vitrajul, reflectând-o, reducând în acest mod câștigul de căldură în surplus. Pe timp de iarnă, suprafața interioară minimizează transferul de căldură dinspre interior. Coeficientul global de schimb de căldură al ramelor este sub valoarea limită impusă de către PHI pentru zona climatică în care se află construcția ( $U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Aerul tratat este circulat în interiorul casei cu ajutorul ventilatoarelor din interiorul recuperatorului de căldură, fiecare ventilator având trei trepte de viteză, vehiculând un debit de aer cuprins între 60 și 200 m<sup>3</sup>/h. Aerul circulă printr-un sistem ramificat de țevi din inox, având diametrul interior de 200 mm izolate cu vată minerală la exterior pentru a minimiza pierderile de căldură pe traseu, iar difuzia aerului în camere are loc prin grilele speciale pentru ventilare mecanică.

Sistemul utilizat în pentru climatizarea aerului în casa Laborator este compus din două schimbătoare de căldură: un schimbător de căldură sol-aer și un schimbător de căldură aer-aer cuplat la sistemul de ventilație mecanică al clădirii. Pentru perioadele de vârf, când sistemul de încălzire nu poate asigura temperatura de confort în sufragerie și cele două băi de la etaj au fost prevăzute și echipate cu panouri termice radiative, cu o putere maximă de 3 kW fiecare.

Având în vedere caracteristicile climei din România, caracterizată de variații mari a temperaturii exterioare pe parcursul unui an, dar și faptul că temperatura în interiorul pământului, chiar și la adâncimi mici, este pozitivă, indiferent de anotimp s-a adoptat soluția utilizării la maxim a potențialului energetic al solului prin montarea unui sistem de țevi la adâncimi relativ mici (2-4 m), ce au rolul de a preconditiona aerul înainte de a fi utilizat în clădire. Avantajele unui astfel de sistem sunt cuantificate prin reducerea sarcinii de vârf a necesarului energetic pentru încălzire și răcire, evitarea pericolului de îngheț, pe timp de iarnă, a echipamentelor din amonte și o pretratare a aerului cu ajutorul filtrelor și a inserțiilor cu ioni de argint din interiorul țevilor.

Conceptual, acest schimbător de căldură, denumit în literatura de specialitate și „puits canadien,, (puț canadian), este format dintr-un turn de admisie a aerului, un colector geotermal și un sistem de drenare a condensului apărut în interior. Turnul de admisie este echipat cu un filtru și un ventilator de mică putere, cu rolul de a aspira aerul de admisie și de a-l circula prin pământ. Este recomandată poziționarea turnului de admisie într-o zonă ferită de diverși poluanți atmosferici (noxe provenite de la gazele de eșapament) și cu puțină vegetație pentru a scădea riscul de înfundare. Colectorul geotermal este cea mai importantă componentă a puțului canadian, el realizând transferul termic între sol și aer. Există mai multe variante constructive

pentru colectorii geotermali, printre acestea putând fi menționate cele cu colectori rigizi (utilizând betonul ca și material constituent) și cele cu colectori flexibili (de exemplu colectori geotermali din polipropilenă). Sistemul de drenaj a condensului este important pentru a asigura calitatea superioară a aerului tratat. Formarea condensului în interiorul țevilor conduce la apariția bacteriilor și a fungilor, contaminând aerul circulat.

Varianta aleasă pentru casa studiată conține un colector geotermal plasat la 2,5 m adâncime, ce preia aerul din zona fațadei nord și are un traseu în formă de "U" pe partea estică a casei, zonă puternic influențată de condițiile meteorologice. Țeava colectorului este din polipropilenă de înaltă densitate, având un coeficient global de transfer termic de  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ , un diametru interior de 200 de mm (grosimea țevii de 7,8 mm), și o lungime totală de 38 m (valori rezultate în urma unei evaluări tehnico-economice). Pentru purificarea aerului, interiorul țevii are inserții de ioni de argint și este construit având o pantă de  $15^\circ$  în vederea scurgerii condensului, care apoi este pompată către un turn de condens, situat pe partea nordică a casei.

Pentru a scădea necesarul de energie pentru încălzire, puțul canadian este cuplat la sistemul de ventilație al casei, în componența căruia se află cel de-al doilea schimbător de căldură aer-aer (recuperatorul). Acest recuperator de căldură este utilizat pentru a transfera o cantitate importantă de căldură de la aerul evacuat către aerul proaspăt având un randament maxim de 91 %. Pentru a asigura o circulație continuă a aerului în interiorul clădirii, recuperatorul este echipat cu câte un ventilator pentru fiecare flux de aer, fiecare cu trei trepte de putere, putând fi vehiculat un debit de aer cuprins între 60 și  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ . În interiorul recuperatorului de căldură, aerul curge în contra curent, fără a se amesteca. Traseul aerului proaspăt este prevăzut cu un filtru pentru o purificare suplimentară a aerului.

Pe perioada de vară, aerul are o temperatură optimă la ieșirea din puțul canadian (valori cuprinse în general între  $20 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ), fiind nejustificat transferul termic din interiorul recuperatorului. Pentru a putea diminua efectul supraîncălzirii casei pe timpul verii, a fost montat în cadrul recuperatorului, un bypass acționat de două clapete cu electromotor. Astfel, aerul viciat este evacuat direct, fără ca acesta să mai fie introdus în recuperator, obținându-se astfel o temperatură în limitele acceptate o perioadă cât mai lungă.

Pentru perioadele când temperatura exterioară este foarte scăzută și sistemul prezentat nu poate oferi condițiile de confort termic optime (minim  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), a fost montată o rezistență electrică pe țeava de ieșire a aerului din recuperator. Rezistența electrică are o putere nominală de 2,4 kW și poate fi reglată în funcție de un termostat propriu, sau poate funcționa sub acțiunea unui senzor de temperatură amplasat pe gura de admisie a aerului în sufragerie.



Casa este echipată cu un sistem termic cu panouri solare "Rehau Solect WK 1S" de încălzire a apei calde menajere dimensionat pentru patru persoane.

O parte din energie electrică utilizată pentru operarea locuinței este produsă cu ajutorul panourilor fotovoltaice amplasate pe acoperiș la o înclinație fixă de 15°. Sunt amplasate treisprezece panouri fotovoltaice cu o putere nominală de 2,9 kW, acoperind o suprafață totală de 22 m<sup>2</sup>. Pentru casa studiată s-a optat conexiunea la rețeaua electrică internă din Universitatea POLITEHNICA București, eliminându-se astfel necesitatea implementării sistemelor de înmagazinare a energiei produse. La panoul centralizat sunt montate două contoare electrice ce măsoară ambele fluxuri energetice (energia injectată în rețea în perioadele de supra-producție și energia consumată din rețea în momente de producție insuficientă sau zero), putându-se realiza un bilanț energetic global.

Invertorul ce realizează conversia curentului continuu produs în curent alternativ utilizat în casă este situat în camera tehnică și oferă date în timp real privind puterea și energia produsă, tensiunea, intensitatea curentului și temperatura de funcționare.

Casa pasivă este echipată cu un sistem de achiziție de date care are în componență senzori cu fir și wireless prin intermediul cărora sunt măsurate permanent: temperaturile exterioară și interioară în diferite puncte de interes, debitul de aer vehiculat de sistemul HVAC, concentrația interioară de CO<sub>2</sub>, luminozitatea, umiditatea, radiația solară și energia consumată, un data logger și un sistem de stocare format dintr-un server și o bază de date.

Pentru a putea realiza o analiză completă asupra producției energetice a panourilor fotovoltaice, pe acoperiș este instalat un piranometru ce măsoară intensitatea radiației solare și comunică prin cablu serial cu datalogger-ul. Piranometrul Kipp&Zonen are o temperatură de funcționare cuprinsă între -40 și 80 °C, o formă sferică ce permite un câmp de vizualizare de 180°, ecran protector pentru a minimiza efectul intemperiilor și poate măsura valori cuprinse între 0 și 4000 W/m<sup>2</sup>.

Din analiza comparativă între rezultatele simulărilor casei pasive est în faza de proiectare utilizând PHPP care au indicat un necesar energetic pentru a menține confortul termic interior pe perioada iernii de 14,48 kWh/m<sup>2</sup>·an, în ipoteza utilizării unui sistem eficient de încălzire și măsurătorile efectuate au rezultat faptul că, pe întreaga durată a utilizării încălzirii, consumul energetic necesar menținerii unei temperaturi interioare cu o valoare peste 20 °C a fost de 14,88 kWh/m<sup>2</sup>·an.

Din analiza bilanțului energetic pentru energia electrică a reieșit faptul că cererea anuală de energie a fost de 5396 kWh, iar producția anuală de energie a panourilor fotovoltaice a fost

de 441 kWh, reprezentând o acoperire de 8 % din necesar, cu un vârf de 57 % pentru luna aprilie existând și zile când bilanțul a fost pozitiv.

Consumul total de energie în clădire compus din energie consumată pentru încălzire și ventilație, aparatură electrocasnică, sistem de monitorizare și iluminat pentru perioada monitorizată (1.11.2013 – 31.04.2014), a fost de 5396 kWh (38,5 kWh/m<sup>2</sup>), reprezentând 39 % din totalul energetic consumat, valoare ce se încadrează în cerințele Institutului Caselor Pasive din Darmstadt.

Rezultatele obținute în cadrul acestui proiect de cercetare demonstrează încă o dată principiile de proiectare ale standardului casei pasive în condițiile climatice specifice zonei temperat continentale certificând faptul ca din punct de vedere al asigurării confortului termic interior și al performanței energetice, acestea reprezintă o soluție pentru viitoarele clădiri rezidențiale.

A doilea proiect educațional de cercetare științifică, desfășurat în perioada 2012-2016, în cadrul Universității Politehnice din Timișoara, a fost “Casa aproape zero energie și casa pasivă –soluții sustenabile pentru clădiri rezidențiale”.

Prin modul de abordare acest proiect a avut ca scop principal validarea unor principii și soluții de proiectare respectiv construcție a clădirilor din România, la standardul de casă pasivă și clădire cu consum de energie aproape zero, prin realizarea unei clădiri pilot alcătuită din două apartamente într-o construcție de tip duplex (Quasar 5), situată în localitatea Dumbrăvița, jud. Timiș, cu sisteme diferite de producere a utilităților având implementat unui sistem complex de monitorizare a parametrilor acestora.

Din punct de vedere arhitectural, duplexul Quasar 5, figura 1.11, este caracterizat de o formă dreptunghiulară în plan orizontal și un volum prismatic compact. Clădirea are o amprentă la sol de 92 m<sup>2</sup>, iar regimul de înălțime al clădirii este P+1. Forma simplă a clădirii prezenta avantajul unei valori reduse a raportului dintre arie și volum, asigurând o eficiență energetică a anvelopei mai ridicată decât în cazul unei clădiri cu forma complexă.

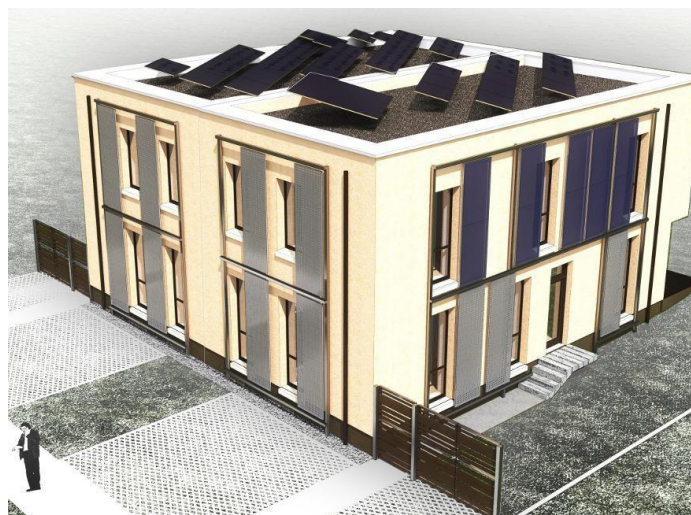


Figura 1.11: Clădirea pasivă din Dumbrăvița, jud. Timiș

Din punct de vedere constructiv clădirea a fost realizată respectând principiile și cerințele de proiectare și execuție recomandate de standardul PHI. Valorile coeficienților globali de transfer termic ai elementelor de anvelopa opace sunt sub valoarea de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Pereții exteriori au fost izolați cu polistiren grafiat de 30 cm. Acoperișul este de tip terasă necirculabilă și a fost izolat cu două straturi de termoizolație realizate din polistiren expandat cu grosimea de 32 cm și vată minerală și cu grosimea de 100 cm dispuse între grinzile de lemn ale planșeului. Placa pe sol a fost izolată termic cu două straturi de polistiren având grosimea totală de 40 cm. Grinzile de fundare au fost de asemenea izolate termic cu plăci din polistiren de 15 cm grosime și 20 cm perimetral pe fața exterioară.

Tabelul 1.8 conține informații referitoare la suprafețele elementelor de anvelopa, grosimile și totodată valorile coeficienților globali de transfer termic.

Tabelul 1.8: Caracteristicile elementelor anvelopei clădirii

Element de anvelopa	Suprafata [ $\text{m}^2$ ]	Grosime [m]	Valoare U [ $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ]
Pereti exteriori	158.55x2	0.588	0.10
Placa pe sol	86.70x2	0.887	0.09
Acoperis terasa	96.60x2	0.924	0.08
Planseu in consola	6.80x2	0.680	0.07
Ferestre	41.87x2	-	0.90

Sistemul de instalații a fost proiectat în baza evaluării necesarului de energie al clădirii. Având în vedere gradul ridicat de izolare al clădirii, necesarul de căldură al clădirii este unul redus, fiind astfel recomandată folosirea unor sisteme ce utilizează resursele regenerabile de energie. Pentru alegerea tipului de sistem s-a ținut cont și de zona climatică în care se află

clădirea, luându-se în calcul atât nevoile de asigurare a încălzirii și răcirii acesteia, precum și necesarul de energie pentru prepararea apei calde menajere.

În cazul sistemului de instalații al casei pasive, componentele cheie sunt: unitatea de ventilare cu recuperare de căldură și schimbătorul de căldură subteran prin care se face precondiționarea și alimentarea cu aer proaspăt, pompa de căldură aer-apa și panoul solar pentru prepararea apei calde menajere. Ca și sisteme de stocare, casa pasiva este dotată cu un boiler în care este stocată apa caldă menajeră preparată cu ajutorul panoului solar. În perioadele/momentele în care panoul solar nu acoperă necesarul de căldură pentru de apa caldă menajeră, sarcinile termice suplimentare sunt asigurate cu ajutorul pompei de căldură.

Din considerente climatice și economice pentru vârfurile de consum ale energiei termice s-a optat pentru utilizarea unei pompe de căldura de tip aer-apă, sistem constructiv ce nu necesita lucrări speciale de amenajare. Dezavantajul acestui tip de pompă de căldură folosită la casa pasiva este ca aceasta nu funcționează la parametrii normali la temperaturi mai scăzute de -15 °C, fiind necesară o rezistență electrică încorporată ca sursă adițională de rezervă, a cărei intrare în funcțiune generează consumuri pentru încălzire mai ridicate decât cele estimate. Pe lângă boiler, în camera tehnică a casei pasive mai exista și un buffer în care este stocată apa utilizată pentru încălzirea încăperilor. Ca surse de energie convenționale, toate echipamentele și sistemele clădirii utilizează energia electrică. Clădirea dispune de branșamente la rețeaua publică, rețeaua de alimentare cu apa rece și rețeaua de canalizare și racord de energie electrică.

Pentru cel de-al doilea apartament al duplexului, NZEB, a fost proiectat un sistem complex de instalații fiind aproape identic cu cel al casei pasive. Ventilarea se face tot printr-un sistem de ventilare mecanică prevăzut cu unitate de recuperare de căldură.

Energia termică necesara încălzirii spațiilor este asigurată prin intermediul unei pompe de căldură sol -apă. Soluția tehnică bazată pe acest tip de pompa de căldură a generat o investiție inițială mai mare decât în cazul pompei de căldură pentru casa pasivă, dar acesta prezintă avantajul că asigura fiabilitate și performanța ridicată. Pompa de căldură sol-apa asigura atât încălzirea cât și răcirea spațiului interior în funcție de anotimp.

Spre deosebire de casa pasiva, în cazul casei nZEB a fost montat un singur boiler care este folosit atât pentru apa caldă menajeră cat si pentru încălzire. Buffer-ul este prevăzut cu o rezistență electrică care poate încălzi apa în condițiile unor defecțiuni la pompa de căldură. Pe acoperișul casei este poziționat un panou solar termic cu tuburi vidate care contribuie la asigurarea sarcinii termice necesară pentru prepararea apei calde menajere. Casa cu consum de

energie aproape zero studiată în acest proiect dispune de un sistem de panouri fotovoltaice pentru producere a curentului electric legate la rețeaua publică de distribuție a energiei electrice.

În ambele apartamente ale duplexului, pentru reducerea necesarului de încălzire/răcire a fost implementat un sistem pasiv de încălzire/răcire cunoscut sub denumirea de puț canadian care va realiza precondiționarea aerului proaspăt introdus în clădire.

Odată cu proiectarea și execuția casei pasive Quasar 5 a fost dezvoltat și un sistem de monitorizare a consumului de energie și a parametrilor ambientali cu scopul validării soluțiilor de eficiență energetică implementate.

În urma monitorizării parametrilor microclimatului interior (temperatura și umiditatea), parametrilor climatici exteriori (temperatura, presiunea atmosferică, direcția, viteza vântului și insolația) și consumurile de utilități (energie electrică, energie termică), pentru a studia comportamentul celor două apartamente au fost obținute următoarele rezultate:

- consumul anual specific de energie pentru încălzirea încăperilor de aproximativ 17,22 kWh/m<sup>2</sup>·an;
- consumul anual specific de energie pentru prepararea apei calde de consum 32,42 kWh/m<sup>2</sup>·an;
- consumul anual specific de energie pentru iluminat 5,31 kWh/m<sup>2</sup>·an;
- consumul total anual specific de energie 57,97 kWh/m<sup>2</sup>·an;

Principalele avantaje ale clădirii realizate conform exigențelor de proiectare și execuție ale PHI, rezultate în urma monitorizării celor două entități constructive: casei pasivă respectiv casa cu consum de energie aproape zero sunt:

- pierderile de căldură sunt minimizate
- s-a eliminat disconfortul local generat de ecartul de temperatură între suprafețele delimitatoare și cea a aerului interior
- s-a eliminat formarea curenților de aer ca urmare a etanșeității elementelor anvelopei
- s-a eliminat riscul apariției mușgaiului și condensului
- clădirea dispune de stabilitate termică ridicată și o bună fonoizolare
- calitatea aerului interior este foarte bună fiind livrat permanent aer proaspăt la interior, fără particule de praf sau polen
- reducerea substanțială a consum de energie pentru utilități
- reducerea considerabilă emisiilor de dioxid de carbon prin folosirea surselor de energie regenerabilă

- economii financiare substanțiale în perioada de exploatare a clădirii pentru beneficiar, care conduc la amortizarea costurilor suplimentare de realizare a investiției într-un timp relativ scurt.

Cercetarea comportamentului și analiza comparativă a celor două entități constructive proiectate și executate conform principiilor standardului casei pasive, definite de PHI a condus la concluzia că, pentru a atinge un nivel de performanță energetică cerut în cazul clădirilor cu consum de energie, aplicarea conceptului de casă pasivă pentru clădirile noi construite constituie baza pentru implementarea clădirilor cu consum de energie aproape zero.

Al treilea proiect de cercetare educațional de referință inițiat și dezvoltat în anul 2014 în cadrul Universității Tehnice de Construcții București, Facultatea de instalații îl reprezintă Casa pasivă solară independentă energetic EFdeN. Proiectul propune o abordare complexă a proiectării pe criterii de independență și eficiență energetică în care strategiile de proiectare ale casei pasive se află în corelație cu strategiile de exploatare a condițiilor bioclimatice și sistemele și strategiile active (consumatoare de energie).

Prototipul Casei pasive EFdeN, prezentat în cadrul competiției Solar Decathlon Europe, ediția 2014, amplasat în incinta Facultății de Inginerie a Instalațiilor București (Bd. Pache Protopopescu, nr. 66), care pune în evidență această îmbinare a elementelor pasive și active este prezentat în figura 1.12.



Figura 4.12: Fațada sud a clădirii pasive solare EFdeN, F.I.I., București

Clădirea respectă principiile de bază ale conceptului Casei pasive care contribuie la eficientizarea energetică a acesteia: are o formă compactă (cubică), orientarea prototipului este pe direcția nord-sud, suprafețele vitrate ale casei sunt echilibrate și așezate preponderent spre sud și sud-est, iar cele ale serei, elementul central al casei, spre sud.

Izolația ce constituie punctul forte al unei case pasive are un rol foarte important în menținerea unui consum energetic redus precum și în obținerea unui confort termic optim. Aceasta este realizată din vată minerală și vată bazaltică ( $\lambda=0,036$  W/mK) de grosimi variabile (de la 30 cm pentru pereți și până la 40 cm pentru terasă).

Pentru a menține temperatura interioară, fără consum suplimentar de energie, la o valoare optimă corespunzătoare unui confort termic stabil, s-a dispus integrarea materialelor cu schimbare de fază - PCM (Phase Changing Materials), sub forma unor microcapsule înglobate în plăcile de gips-carton, din care este realizat stratul de finisare la interior al elementelor de construcție opace ale casei (pereți interiori).

Aceste substanțe au proprietatea ca la o temperatură superioară valorii de 23 °C să își schimbe starea de agregare din lichid în solid. Schimbarea stării de agregare va determina extragerea căldurii latente necesare procesului, din aerul interior, răcind-ul astfel fără consum de energie. Acest proces are loc vara, în timpul zilei. Noaptea, în schimb, procesul este reversibil, iar căldura acumulată în PCN este cedată mediului interior. Pe timpul iernii, aceste materiale funcționează ca masă termică, ele având capacitatea de a îngloba de 14 ori mai multă energie decât materialele convenționale.

Materialele cu schimbare de fază reprezintă o inovație importantă în cadrul prototipului EFdeN și au o contribuție enormă în economisirea energiei.

Fațada ventilată a prototipului este realizată din panouri subțiri ceramice albe și a plăcilor de ghips-carton cu PCM amplasate la aproximativ 6 cm de pereții de tip sandwich, prin intermediul unor distanțieri. Aceasta are rolul de a minimiza aporturile de căldură pe timpul verii prin vehicularea aerului, respectiv minimizarea pierderilor de căldură iarna, prin stagnarea aerului.

Ventilarea naturală este un concept important în cadrul unei clădiri eficiente energetic. Aceasta va fi făcută prin deschiderea ferestrelor (cross-effect), amplasate strategic în zona scării, a living-ului, în dormitoare și în bucătărie, tocmai pentru a favoriza curgerea naturală a aerului.

Elementul arhitectural central îl reprezintă o seră cu rol multifuncțional. Pe lângă funcțiile de bază: zonă productivă, spațiu de recreere, sera reprezintă elementul focal integrat în strategia de climatizare a prototipului. Strategia de climatizare pasivă de vară este pusă în evidență prin soluțiile ilustrate în figura 1.13.

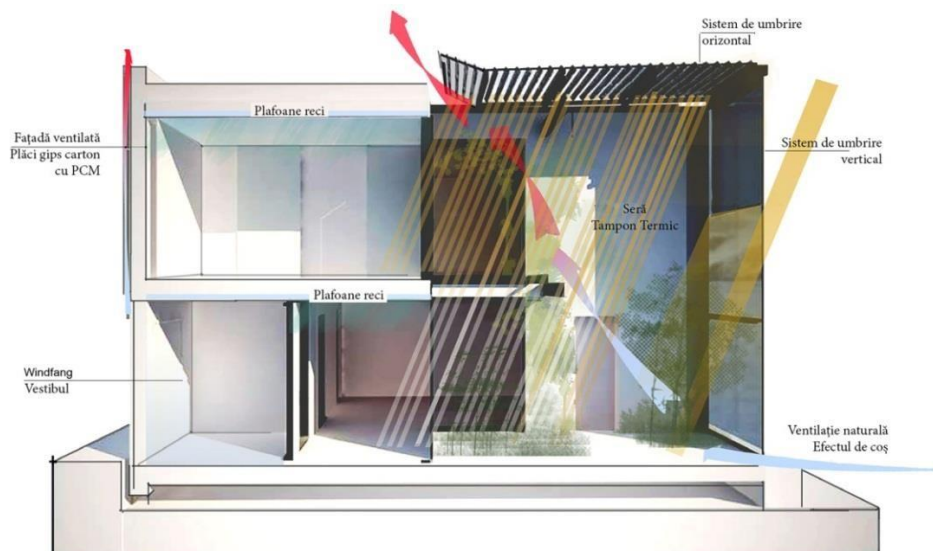


Figura 1.13: Casa EFdeN: Strategii pasive-bioclimatice pe timp de vară

În perioadele cu temperaturi extreme din sezonul cald în scopul evitării apariției fenomenului de supraîncălzire, care generează o cerere suplimentară de energie pentru răcire, pentru limitarea aportului de căldură solară datorate radiației solare directe s-au adoptat sisteme de umbrire pasivă: pentru ferestrele casei plăci ceramice perforate, iar întregul volum al serei a fost acoperit cu o pânză. S-a ales sistemul de umbrire exterior cu pânză deoarece permite acoperirea suprafețelor mari de sticlă, iar dimensiunile sale nu îngreunează perceperea volumului arhitectural și nici nu pune probleme structurale semnificative.

Tot pentru evitarea supraîncălzirii în interiorul spațiului verde se va realiza o ventilație naturală (pasivă) tip chimney effect (tiraj natural-efect de coș), aerul cald fiind eliminat printr-o trapă superioară cu acționare automatizată.

În perioadele de tranziție: aerul proaspăt va fi introdus în seră fiind preîncălzit prin efectul de seră și apoi introdus în imobil.

În timpul iernii, sera, spațiul verde implementat în centrul imobilului acționează ca un buffer termic pentru casă datorită amplasării suprafețelor vitrate pe sud și sud-est. Suprafața vitrată mare a acesteia facilitează câștigul de energie solară pe timpul iernii, când unghiul de incidență al radiației solare este mai mic. De asemenea, iarna, sera va furniza aer preîncălzit prin efectul de seră, și care va fi folosit în sistemul de încălzire al casei, figura 1.14.

Totodată din considerente energetice pentru a reduce și mai mult consumul de energie (prin preîncălzirea aerului proaspăt) și a spori confortul termic interior, în casă este utilizat un



sistem pasiv, un recuperator de căldură și umiditate, rotativ, cu o eficiență sporită de peste 90 % și cu un debit de aer,  $V$  de 300 m<sup>3</sup>/h.

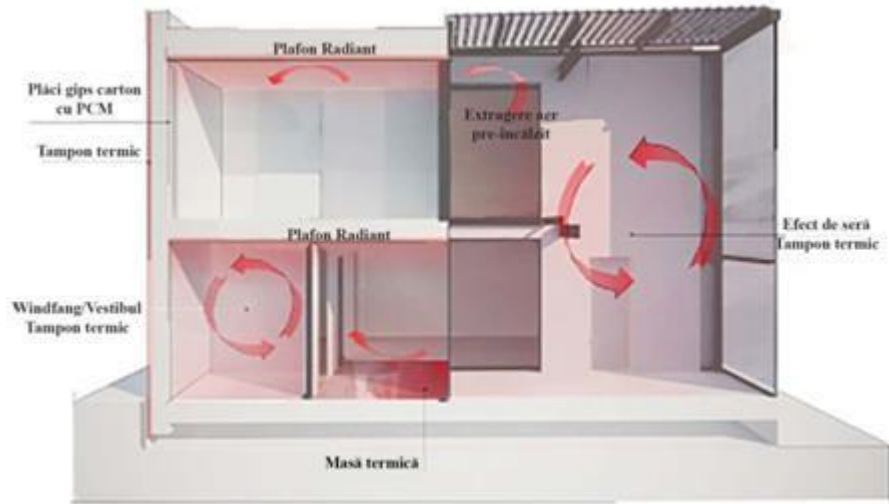


Figura 1.14: Casa EFdeN: Strategii pasive-bioclimate pe timp de iarnă

Suprafețele vitrate reprezintă un alt element pasiv cheie în balanța energetică a casei și sunt realizate astfel: pentru închiderea serei s-au utilizat tipuri diferite de vitraj: geam dublu termoizolant (pentru vitrajele interioare, seră – exterior) cu un coeficient global de transfer termic,  $U_f$  de 1 W/m<sup>2</sup>K și triplu termoizolant (pentru vitrajele interior – seră), cu un coeficient de transfer termic  $U_f$  de 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Astfel, stratul triple glazing (triplu strat de sticlă) oferă beneficiul unei termoizolări sporite, în timp ce stratul double glazing (dublu strat de sticlă) ajută la acumularea de căldură în timpul iernii, însă evită o supraîncălzire exagerată a spațiului serei pe timp de vară.

Având în vedere că principala problema a prototipului a fost masivitatea termică scăzută a elementelor constructive (casa nu înmagazina căldura produsă și o pierde foarte ușor) s-au implementat o serie de soluții, precum utilizarea suprafețelor cu masă termică ridicată și a materialelor cu schimbare de fază.

Pentru perioada iernii, în fața vitrajului dintre seră și casă (hol), au fost amplasate elemente cu masivitate termică (plăci din granit negru), pe o suprafață de 4,2 m<sup>2</sup>, utilizate pentru a înmagazina căldura pe timp de zi. Aceasta căldură va fi cedată casei pe timp de noapte. Pe timpul verii, aceste elemente vor fi umbrite și vor funcționa ca suprafață de stocare pentru panourile radiante care vor produce frig.

O altă strategie pasivă este utilizarea unor încăperi tehnice ca spații tampon: precum camera tehnică și vestibulul, ambele amplasate pe latura de nord, figura 1.15 care vor proteja casa de impactul cu curenții de aer reci.

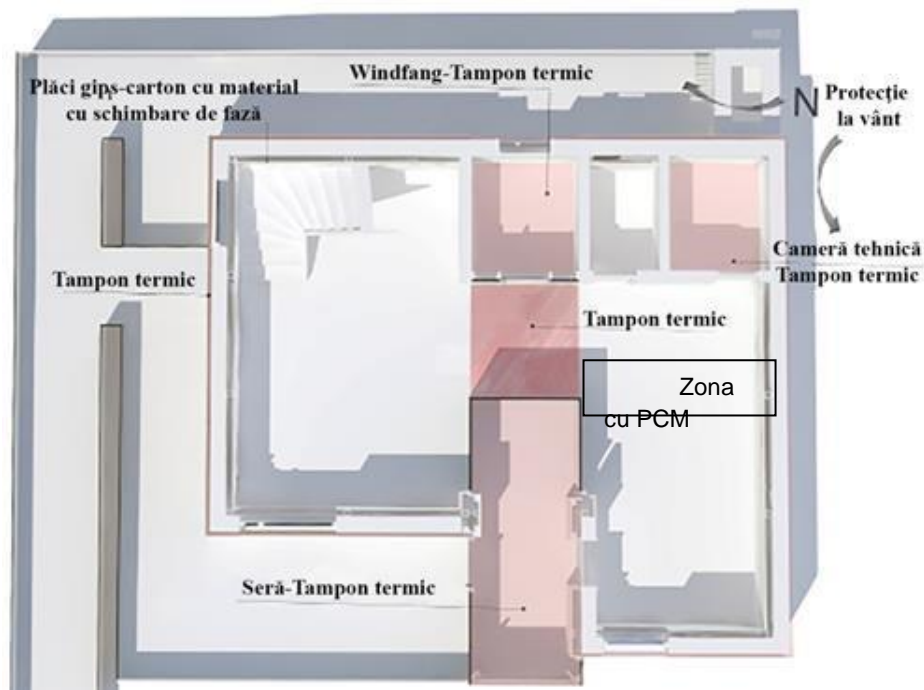


Figura 1.15: Casa EFdeN: Zone de tampon termic

În urma simulărilor efectuate asupra casei în condiții climatice identice, energia consumată pentru asigurarea utilităților cu și fără materiale cu schimbare de fază integrate, este prezentată graficul din figura 1.16.

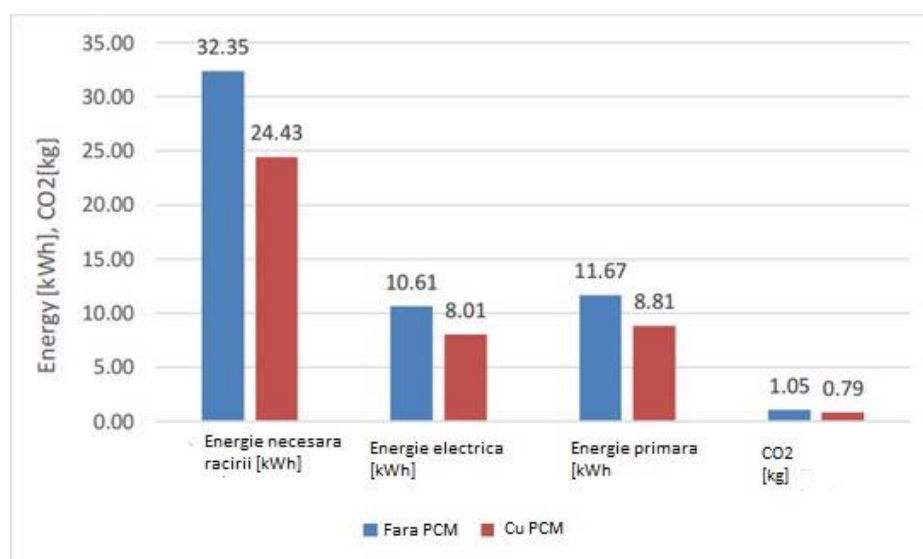


Figura 1.16: Consumurile energetice ale casei EFdeN cu și fără PCM

După cum poate fi observat în graficul de mai sus, consumul de energie pentru răcire fără utilizarea materialelor de schimbare de fază a fost de 32,35 kWh, față de 7,92 kWh în cazul utilizării materialelor cu schimbare de fază, obținându-se o economie de energie în valoare de 24,48 % în favoarea utilizării acestora.

În cadrul strategiei active utilizată pentru prototipul EFdeN pentru a veni în sprijinul strategiilor pasive care în anumite momente nu reușesc să asigure utilitățile (încălzire/răcire) și cerințele de confort s-a adoptat soluția utilizării următoarelor echipamente: pompa de căldura aer-apă, panourile solare cu tuburi vidate, rezervor de apă răcită, boiler trivalent pentru încălzire, boiler trivalent pentru răcire, bateria de încălzire/răcire, panourile radiante cu serpentina înglobată.

În urma soluțiilor pasive implementate s-au obținut următoarele rezultate:

- temperaturi interioare în spațiile de locuit cuprinse între 23 °C și 26 °C pe timpul verii și între 21 °C și 23 °C pe timpul iernii;
- energia specifică anuală consumată pentru încălzire este 20,12 kWh/m<sup>2</sup>·an;
- energia specifică anuală consumată pentru răcire este de 11,19 kWh/ m<sup>2</sup>·an;
- consumul de energie lunar, necesar încălzii cuprins între 1,42 kWh/lună și 507,77 kWh/lună (ianuarie);
- consumul de energie necesar răcirii este cuprins între 0,85 kWh/lună și 238,14 kWh/lună (august).

În concluzie, prin acest proiect s-a demonstrat că utilizând principiile de bază ale casei pasive și strategii pasive și active de eficientizare energetică se poate realiza o construcție inovatoare dat fiind structura metalică a prototipului cu materiale contrastante reciclate (lemn, OSB) dar și reciclabile (fier, panouri ceramice) încorporate în elementele de construcție, care nu generează emisii de CO<sub>2</sub>, generând pe termen lung, atât beneficii ecologice, prin durabilitate și ușurința de prelucrare dar și beneficii economice utilizatorilor.

### **1.5. Metode de ventilare a clădirilor pasive**

Clădirile pasive sunt entități constructive care potrivit criteriilor de proiectare și execuție impun o serie de cerințe structurale și funcționale pentru validarea și certificarea performanțelor energetice ale acestora. Pe lângă cerințele legate de orientare, formă, eliminarea punților termice, elemente de anvelopă opace și suprafețe vitrate performante energetic, eliminarea infiltrațiilor dintre elementele anvelopei, sistemul de ventilare reprezintă o condiție esențială, pe de o parte pentru asigurarea confortului și sănătății ocupanților și pe de altă parte pentru

conservarea energiei termice provenite din procesele și activitățile domestice desfășurate de aceștia precum și pentru stabilitatea higrotermică structurală a clădirii.

### 1.5.1. Metode de ventilare pasive (naturale)

Sistemele de ventilare care au la bază metodele de ventilare pasive (naturale) specifice clădirilor caselor cu consum redus de energie, în speță clădirile pasive, sunt:

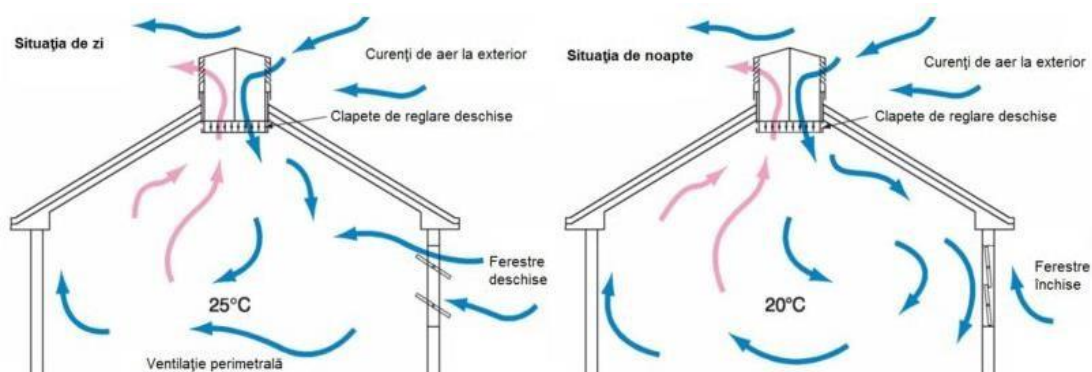
- ventilare naturală windcatcher;
- ventilare higroreglabilă.

#### 1.5.1.1. Ventilarea naturală windcatcher

Sistemul de ventilare Windcatcher reprezintă cea mai eficientă metodă de ventilație naturală a clădirilor prin captarea vântului predominant din orice direcție. Sistemul Windcatcher captează aerul proaspăt la nivelul acoperișului și îl conduce către spațiul interior prin canale de ventilare compartimentate, special concepute pentru evacuarea concomitentă către exterior a aerului uzat, indiferent de direcția curenților de aer la exterior, realizându-se ventilația naturală fără consum de energie.

Diferența de temperatură între exterior și interior determină o diferență de densitate și de presiune. Datorită acestui fenomen, în condiții atmosferice normale, aerul uzat (cald) din interior se ridică către plafon și determină scăderea presiunii interioare, permițând aerului proaspăt (rece) să intre în încăperea și să împingă afară aerul uzat, realizând ventilația naturală.

Circulația fluxurilor de aer în spațiul ventilat pentru situațiile de zi/noapte, este prezentată în figura 1.17.



a) situația de zi

b) situația de noapte

**Figura 1.17:** Sistemul de ventilare Windcatcher

Sistemele Windcatcher dispun de sistem de control inteligent al debitului de aer cu ajutorul unor clapete de reglare comandat de senzori de temperatură și de CO<sub>2</sub>, reglându-se debitul de aer în funcție de acești parametri. Sistemele pot fi controlate individual sau de către un panou de control central, care comandă deschiderea/închiderea automată a clapetelor de reglare în funcție de dată, oră și de semnalele primite de la senzorii din încăperea. Controlerele murale oferă posibilitatea intervenției manuale a utilizatorilor în orice moment pentru a răspunde preferințelor acestora.

Unul dintre cele mai importante aspecte ale strategiei de ventilație naturală este reprezentat de răcirea încăperilor pe timpul nopții, denumită „night free cooling”. Clapetele de reglare pot fi programate să se deschidă complet la o anumită oră din noapte, pentru a permite aerului rece și proaspăt să pătrundă în încăperea cu debit maxim. La o anumită oră a dimineții ele sunt programate să se închidă pentru a nu scădea temperatura interioară sub o valoare limită. Astfel, utilizatorii vor găsi spațiul interior bine aerisit și cu o temperatură ideală de confort. Întregul proces este desfășurat fără nici un consum de energie și în deplină securitate a clădirii.

Sistemele Windcatcher dispun de o tehnologie inovatoare care permite controlul debitului de ventilație la nivelul acoperișului și împiedică infiltrarea apei de ploaie și a zăpezii în interiorul sistemului de ventilație. Acesta conține un set extern de grile statice și un set intern de grile active, care sunt coborâte sau ridicate pentru varierea suprafeței deschiderii în funcție de strategia de control. Grilele active pot fi complet deschise pentru a permite debitul maxim de ventilație sau pot fi complet închise, la comanda senzorului de ploaie, pentru a preveni pătrunderea apei de ploaie sau a zăpezii.

#### Avantajele sistemului de ventilație naturală Windcatcher

- consum zero de energie prin utilizarea curenților de aer exteriori, sursă gratuită și inepuizabilă
- captarea eficientă a aerului proaspăt indiferent de direcția curenților de aer la exterior
- răcire nocturnă gratuită prin programarea clapetelor de reglare să opereze în timpul nopții astfel încât dimineața ocupanții să găsească spațiul interior suficient ventilat și cu o temperatură ideală
- ventilația permanentă a spațiului interior în deplină securitate, fără niciun risc de efracție
- funcționare eficientă indiferent dacă ferestrele sunt închise sau deschise
- control și protecție totală împotriva ploii și zăpezii

- viteză confortabilă a curenților de aer la interior, asigurându-se protecția și sănătatea ocupanților
- eliminarea sindromului SBS (sindromul clădirii bolnave) specific spațiilor climatizate
- posibilități multiple de control automat și manual
- posibilitatea integrării cu iluminatul natural într-un sistem unic care realizează simultan iluminatul natural și ventilația naturală a spațiului interior.

#### **1.5.1.2. Ventilarea higroreglabilă**

Sistemele de ventilație higroreglabilă reprezintă sisteme tehnologice pasive de ventilare, care controlează în mod automat debitul de aer funcție de variația valorii umidității relative a aerului din încăperi, fără a avea nevoie de consum electric propriu.

Umiditatea reprezintă un indicator particular relevant al cerinței de ventilație a unui spațiu de locuit. Funcție de tipul activității desfășurate în: bucătărie, baie (dus, uscător) sau funcție de propriul metabolism, ocupantul unui spațiu rezidențial reprezintă el însuși o sursă de emisii de vapori de umiditate, în locații diferite și în cantități variabile. În general, umiditatea acompaniază aproape sistematic producerea altor factori poluanți cum ar fi CO<sub>2</sub> (produs de metabolismul uman) și poluarea generată de mirosurile pestințiale odorizante rezultate în urma gătitului precum și cea datorată utilizării substanțelor destinate curățării spațiului locuit.

Altfel spus, principiul acestui tip de ventilație constă în stabilirea dependenței între debitul de aer introdus și unul sau mai mulți parametri care caracterizează starea aerului ambiant din incintă care reflectă gradul de ocupare și tipul activității care se desfășoară în această incintă. Astfel, sistemul de ventilare higroreglabilă permite adaptarea în mod continuu și proporțională a debitului de aer proaspăt funcție de acești poluanți pentru eliminarea eficientă a acestora.

Criteriile de bază pentru evaluarea calității aerului interior pentru sistemele de ventilare higroreglabile sunt:

- nivelul de CO<sub>2</sub> – nivel scăzut de interes din rațiuni economice
- higrometric – debitul de aer extras depinde de gradul de higrometrie al aerului (de nivelul de umiditate sesizat); măsurat de captatori specializați care comandă sistemul de extracție al aerului.

Sistemul de ventilare higroreglabilă are la bază principiul controlului secțiunii de tranzit a aerului controlând astfel debitele de aer prin acționarea grilelor destinate aportului de aer proaspăt și cele de evacuare a aerului viciat prin intermediul unor elemente de detecție și comandă (senzori).

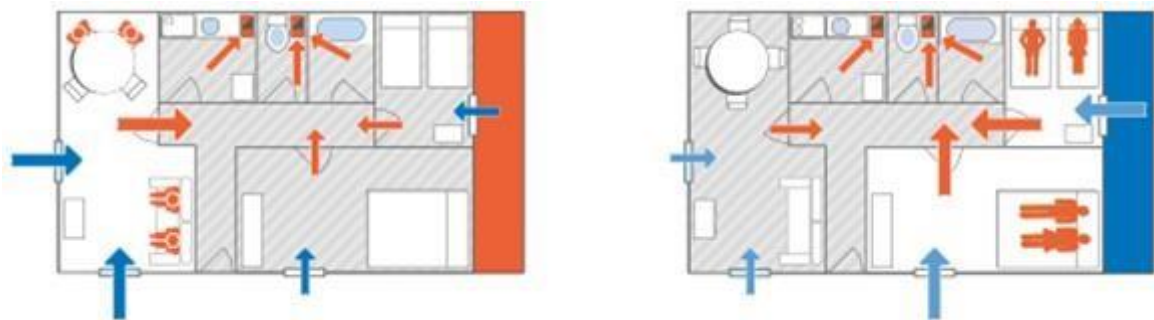
Controlul debitelor de aer prin acționarea clapetelor grilelor higroreglabile se poate face prin intermediul unor senzori:

- higrosensibil – debitul de aer este controlat funcție de umiditatea relativă a aerului din vecinătatea zonei în care grila este montată,
- manual - sau telecomandat, la cererea utilizatorului pentru eliminarea umidității sau a mirosurilor neplăcute
- detector de prezență - creștere automată a debitului când este sesizată prezența unei persoane în încăperea respectivă.
- senzori de CO<sub>2</sub> sau COV - controlul debitului de aer funcție de nivelul de CO<sub>2</sub> sau al compușilor organici volatili (COV).

Ca detector și element activ al grilelor higroreglabile, senzorul exploatează un bine cunoscut fenomen fizic: proprietatea unor materiale de a se alungi sau scurta în funcție de variația umidității aerului. Pe baza acestui fenomen, senzorii compuși din 8 sau 16 benzi poliamidice (dupa caz) comandă mișcarea clapetelor grilelor, determinând astfel secțiunea utilă prin care aerul poate circula, funcție de nivelul umidității relative a acestuia. Cu cât crește valoarea umidității relative a aerului din interiorul încăperilor clădirii, cu atât deschiderea grilelor va fi mai mare pentru o perioadă de timp mai mare.

Pentru a elimina riscul modificării proprietății de higrosensibilitate senzorii sunt protejați față de condițiile climatice din exteriorul clădirilor, ei sesizând numai umiditatea relativă a aerului din interiorul camerelor în care sunt montați, fiind expus numai aerului din interiorul locuinței, la al cărui nivel de umiditate relativă reacționează. Utilizând un factor de corecție termică aplicat senzorilor implementați grilelor destinate aportului de aer proaspăt, deschiderea clapetelor acestor grile nu este influențată de factorii climatici exteriori chiar și atunci când valoarea umidității absolute este foarte scăzută, așa cum se întâmplă în perioada de iarnă.

Modurile de distribuție a debitelor de aer pentru ventilarea higroreglabilă controlată în perioadele de zi și de noapte sunt prezentate în figura 1.18.



a) perioada de zi      b) perioada de noapte

**Figura 1.18:** Circulația aerului în imobil pentru perioadele de zi și de noapte

Prin acest sistem se optimizează distribuția debitelor de aer, acestea fiind direcționate cu predilecție către camerele de locuite, conducând la un aport de aer proaspăt în aceste spații, conservând energia acumulată în camerele neocupate. Avantajele ventilării higroreglabile sunt:

- asigură calitatea aerului interior,
- diminuează riscul apariției condensului,
- reduc pierderile de energie prin ventilație.
- consum redus și controlat de energie pentru încălzirea locuinței.

### 1.5.2. Metode de ventilare mecanică cu recuperare de căldură

Metodele de ventilare mecanică cu recuperare de căldură sunt de două tipuri:

- *descentralizate*: deserveșc o singura încăpere; se montează în peretele exterior al încăperii respective

cu un singur flux (recuperator ceramic, flux alternant), relativ recent apărute, foarte performante și fiabile: au un singur ventilator și un corp cilindric care străbate peretele; ventilatorul își schimbă sensul alternativ, la un anumit interval de timp (zeci de secunde); astfel, timp de 70 de secunde el scoate aerul cald și viciat, încălzind schimbătorul de căldura încorporat; apoi alte 70 de secunde. va trage aer proaspăt de afară prin același schimbător de căldura, care se va răci cedându-și căldura aerului introdus;

cu dublu flux: presupun existența a două căi de introducere aer proaspăt și evacuare aer viciat complet echipate și un schimbător de căldura cu flux încrucișat pentru recuperarea căldurii sensibile și latente din aerul evacuat și transferul acestora către aerul proaspăt introdus.

- *centralizate*: deserveșc întregul imobil; dispun de o unitate centrală HRVU (Heat Recovery Ventilation Unit) amplasată în pod, beci, sau o camera tehnică și o rețea de canale de evacuare/admisie aer. Principiul de bază a acestora presupune evacuarea aerului viciat din încăperile “umedes” (din băi și bucătării), de la nivelul tavanului, și admisia de aer proaspăt se face în camerele ocupate prin partea de jos, necesitând existența unor grile de transfer amplasate în uși sau culoare de transfer pentru circulația aerului între încăperi.



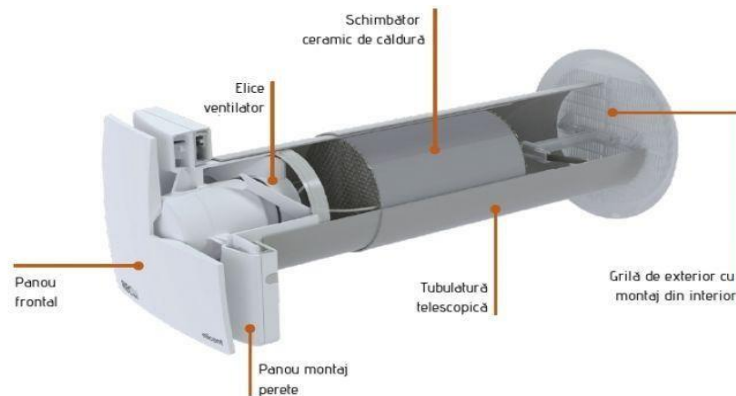
### 1.5.2.1. Ventilare mecanică descentralizată simplu flux

Sistemul de ventilare mecanică descentralizată cu un singur flux are ca principiu de funcționare vehicularea unui debit de aer printr-un recuperator de căldură ceramic prin care circulă un flux alternant de aer prin schimbarea alternativă a sensului de rotație al ventilatorului la un interval de timp (zeci de secunde). Astfel, într-un interval de timp definit, ventilatorul va extrage și evacua aerul cald și viciat, care va ceda căldura schimbatorului de căldură încorporat, apoi va aspira aerul proaspăt filtrat din exterior care va trece prin același schimbator de căldură, și care se va răci cedând căldura acumulată aerului proaspăt introdus.

Controlul debitelor de aer prin reglarea vitezei ventilatorului se realizează pe baza informațiilor primite de la senzorii de temperatură, umiditate și luminozitate, privind condițiile ambientale.

Datorită fluxului reversibil de aer generat de schimbarea alternativă a sensului de rotație al ventilatorului, pentru a asigura protecția la îngheț acest sistem nu necesită prezența unui element suplimentar de protecție (rezistență electrică), fiind foarte eficiente și la temperaturi de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

În figura 1.19 sunt prezentate elementele componente ale acestui sistem de ventilare mecanică descentralizată.



**Figura 1.19:** Sistemul de ventilare mecanică descentralizată simplu flux cu recuperare de căldură

### 1.5.2.2. Ventilare mecanică descentralizată dublu flux

Sistemul de ventilare descentralizată cu recuperare de căldură cu dublu flux realizează ventilarea locală a încăperilor, deservind o singură încăpere, prin vehicularea unor debite de aer

introdus/evacuat în suprapresiune. Astfel, debitul de aer proaspăt introdus este mai mare cu 8-10% decât debitul de aer extras și evacuat.

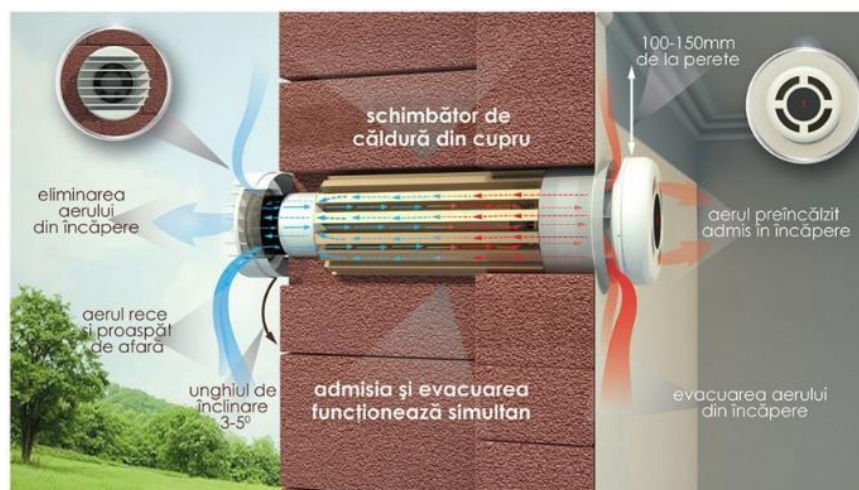
Sistemul de ventilare are încorporat un schimbător de căldură în contracurent prin care aerul evacuat din încăpere cedează căldura aerului rece și proaspăt preluat din exteriorul clădirii, prin pereții schimbătorului de căldură, păstrând un regim de temperatură adecvat în încăpere și în același timp menținând un nivel optim de umiditate.

Având în vedere conductivitatea termică,  $\lambda$  foarte ridicată a cuprului de 399 W/mK, recuperatorul de căldură poate avea un randament de recuperare,  $\eta_{rec}$  a căldurii de 92 %, realizându-se economii substanțiale de energie de 30 % în timpul iernii și 70 % în timpul verii.

Pentru perioada sezonului rece sistemul poate asigura și preîncălzirea aerului introdus prin intermediul unui receptor electric integrat în cadrul recuperatorului.

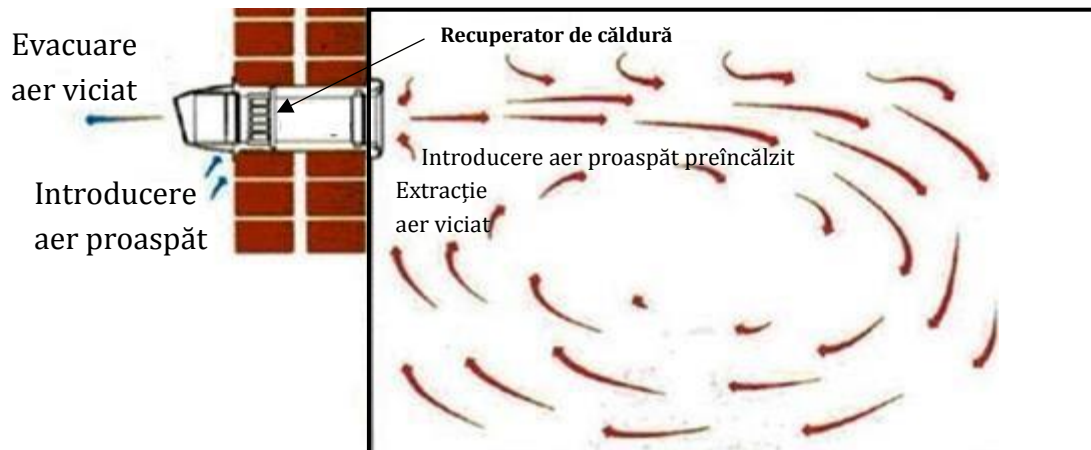
Datorită proprietăților antiseptice naturale ale cuprului (similare argintului), în interiorul schimbătorului de căldură se creează un mediu care asigură decontaminarea aerului, neutralizând virusii, bacteriile și microbii nefiind necesară existența unui filtru suplimentar cu rol antiseptic.

În figura 1.20 se prezintă modul de realizare a circulației fluxurilor de aer introdus/evacuat la nivelul recuperatorului de căldură.



**Figura 1.20:** Fluxurile de aer la nivelul recuperatorului de căldură

În figura 1.21 se prezintă modul de realizare a circulației fluxurilor de aer introdus/evacuat la nivelul încăperii ventilate.



**Figura 1.21:** Fluxurile de aer în cadrul încăperii ventilate (ecovent.ro)

### 1.6. Ventilarea centralizat-controlată dublu flux

Sistemele îmbunătățite de etanșitate la aer și sistemele de ventilație mecanică cu recuperare de căldură sunt considerate elemente vitale ale strategiei de reducere a consumului de energie în locuințele pasive. Ventilația mecanică a devenit parte a modelului de optimizare a încărcării energiei termice datorită capacității sale de a asigura nivelurile de schimbare a aerului recomandate fără a depinde de controlul zilnic activ al locuitorilor sau de scurgeri de aer necontrolate.

Sistemele de ventilare mecanică dublu flux cu recuperare de căldură asigură pe de o parte evacuarea aerului viciat și pe altă parte introducerea a unui debit continuu de aer proaspăt pentru îmbunătățirea calității aerului interior concomitent cu recuperarea căldurii din aerul viciat-evacuat și transferul ei către aerul proaspăt introdus în încăperea.

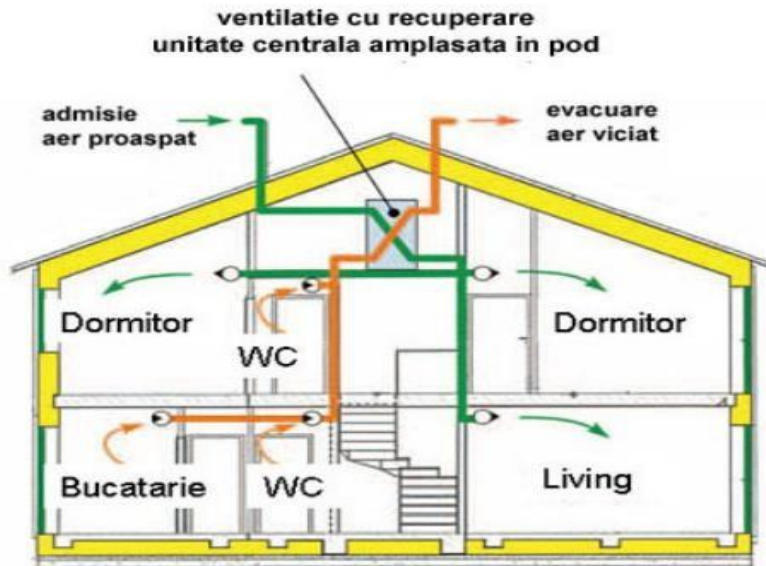
De asemenea, introducerea continuă de aer proaspăt asigură condițiile de puritate a aerului și a microclimei corespunzătoare activității depuse de om, și împiedică atingerea unei concentrații prea mari de poluanți ( $\text{CO}_2$ , COV, etc). Ventilarea permite în același timp evitarea problemelor legate de umiditate care pot conduce la afectarea sănătății ocupanților și degradarea prin condens a elementelor de construcție.

Avantajul utilizării unui sistem de ventilare se traduce prin confortul cotidian asigurat, aerul proaspăt introdus permanent în interior, disiparea rapidă a mirosurilor, concentrația de praf mult mai redusă, etc.

Evitarea deschiderii ferestrelor pentru aerisire permite de asemenea reducerea nivelului de zgomot perceput de la exteriorul clădirii (circulație în mod special). Pe timpul sezonului

călduros ventilarea contribuie în mod direct la disiparea căldurii care se acumulează pe timpul zilei la interiorul clădirii.

Sistemul de ventilare mecanică „dublu flux” cu recuperare de căldură este prezentat în figura 1.22.

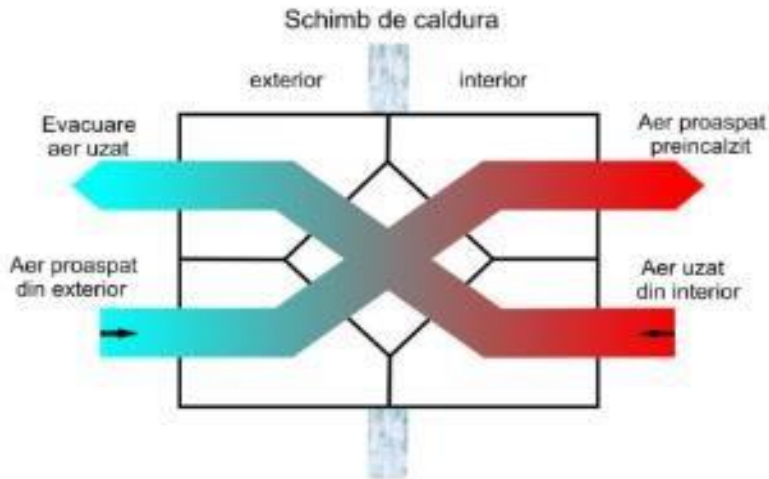


**Figura 1.22:** Schema de principiu a sistemului de ventilare mecanică dublu flux

Pentru a controla sensul mișcării aerului, alimentarea cu aer proaspăt se va face în încăperile „uscate” (sufragerie, dormitoare) în timp ce evacuarea aerului viciat se va efectua acolo unde poluarea aerului este mai prezentă, adică în zonele „umed” (bucătărie, baie, wc) sau de serviciu (holuri). Între încăperile cu dispozitive de introducere și cele cu dispozitive de evacuare, aerul circulă prin intermediul „deschiderilor de transfer” (grile sau fante de transfer) poziționate la nivelul ușilor sau pereților.

Diferența de presiune între zonele „uscate” care se afla în suprapresiune și zonele umede (în depresiune) asigură un debit de aer permanent în sensul dorit de circulație al aerului. Se evită astfel ca mirosurile neplăcute să fie preluate din bucătărie sau din baie către sufragerie sau dormitoare.

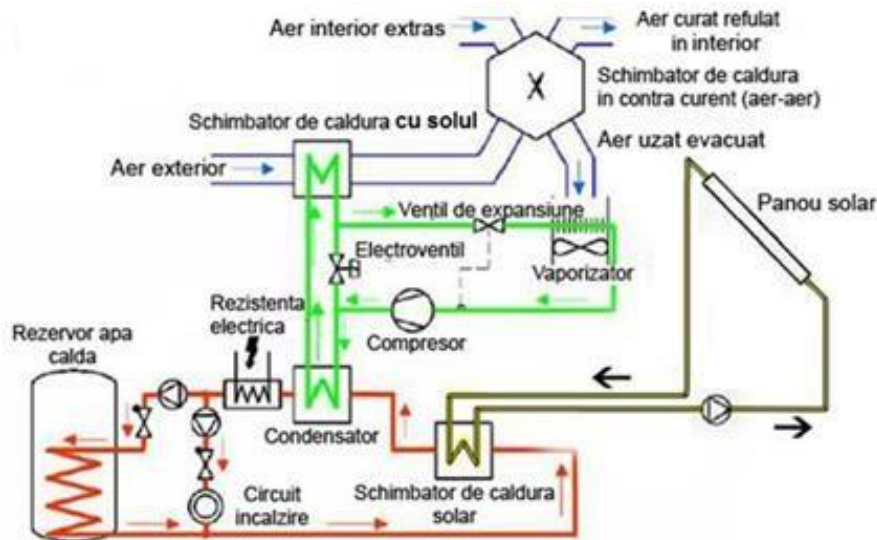
Recuperatorul de căldură recomandat este de tip schimbător de căldură cu plăci (schimbător de căldură în contracurent), figura 1.23, eficiența dispozitivului de recuperare a căldurii trebuie să fie cuprins între 80...95 %.



**Figura 1.23:** Schema de principiu a recuperatorului de căldură

Pentru eficientizarea energetică a întregului sistem complex de ventilație centralizată și producere utilităților casei pasive, acesta poate integra diverse echipamente având la bază diverse sisteme integrate bazate pe tehnologii de exploatare surselor de energie regenerabilă (pompe de căldură, panouri solare, panouri fotovoltaice) pentru încălzire/răcire pasivă/activă cu acumulare a energiei termice (buffere) folosind de regulă ca agent de lucru apă caldă menajeră, sau cu sisteme care dispun de componente de transfer a energiei acumulate de la medii cu proprietăți regenerabile cu masivitate termică mare cum ar fi sistemul de „puț canadian” folosit în principal pentru răcirea pasivă.

În figura 1.24 este prezentată schema de principiu a unui astfel de sistem complex integrat de ventilație centralizată și producere a utilităților specific caselor pasive.



**Figura 1.24:** Schema de principiu a sistemului integrat de instalații al casei pasive.

Schema hidraulică prezentată în figura 1.24 este realizată pe baza principiului conservării energiei, prin utilizarea eficientă a potențialului termic al surselor regenerabile de energie. În acest sens se poate observa că pentru recuperarea căldurii din mediile de transport ale acesteia se utilizează trei schimbătoare de căldură. Primul schimbător de căldură în contracurent este responsabil de a extrage căldura din sol pentru preîncălzirea/prerăcirea după caz a aerului proaspăt introdus. Cel de-al doilea realizează extragerea căldurii latente din aerul uzat evacuat și transferul acesteia aerului proaspăt introdus, iar cel de-al treilea preia căldura transportată de agentul termic care străbate captatorul solar și care constituie sursa de bază care asigură aportul energetic atât pentru prepararea apei calde menajere, cât și pentru încălzire. După ieșirea din cel de-al doilea schimbător de căldură și traversarea grilei de refulare, aerul uzat evacuat va străbate elementele unității exterioare a pompei de căldură de tip aer-apă, asigurând un regim de funcționare stabil ale acesteia în perioadele reci când se înregistrează valori scăzute ale temperaturii exterioare. Sistemul este astfel conceput ca prin intermediul automatizării sursele furnizoare de energie termică să contribuie în mod eficient la producerea utilităților și asigurarea condițiilor optime de microclimat interior.

## **2. CLĂDIRI PASIVE. STUDIU DE CAZ.**

### **2.1. Utilizarea energiei alternative pentru clădiri pasive**

Având în vedere faptul că prin exigențele de proiectare și execuție impuse clădirilor pasive energetic, necesarul de energie termică este extrem de redus, datorită pierderilor minime prin elementele anvelopei clădirii, nivelului ridicat de etanșeitate și eliminării efectelor punților termice, dar și faptului că, în proporție de peste 75 % se realizează recuperarea căldurii latente din aerul evacuat prin sistemul de ventilare centralizat, se impune necesitatea analizării oportunității utilizării eficiente a sistemelor de valorificare a potențialului energetic al surselor de energie regenerabilă.

Analiza comparativă realizată, a vizat două aspecte importante. Un prim aspect a fost din punct de vedere tehnico-economic, privind costurile de investiție necesare implementării sistemelor care utilizează sursele regenerabile de energie pentru încălzire/răcire și preparare ACM, și costurile de exploatare aferente utilizării acestora, în raport cu cheltuielile de exploatare a surselor clasice de energie disponibile, în scopul determinării duratei de recuperare a investiției.

Al doilea aspect evaluat a fost impactul pe care sistemul bazat pe surse regenerabile de energie îl are asupra mediului înconjurător, cuantificat prin reducerea cantitativă a emisiilor de CO<sub>2</sub>, prin trecerea de la sistemele care utilizează sursele convenționale de energie la cele regenerabile.

Pentru această analiză, obiectul de studiu l-a constituit un imobil rezidențial existent. Clădirea analizată, prezentată în figura 2.1, a fost construită în 2016, este amplasată în Chișinău, are regimul de înălțime P+1, suprafața utilă de 230 m<sup>2</sup>, și este alcătuită dintr-o structură de rezistență din beton armat și închideri perimetrice din pereți realizați din cărămidă porotherm.



**Figura 2.1:** Fațadă principală a imobilului analizat

Caracteristicile termotehnice ale elementelor componente ale anvelopei clădirii, stabilite încă din faza de proiectare sunt centralizate în tabelul 2.1.

**Tabelul 2.1.** Caracteristicile elementelor anvelopei clădirii analizate

Parametru	Pereți exteriori	Pardoseală	Acoperiș	Ferestre	Ușă exterioară
Coeficientul de transfer termic global, $U$ $W/m^2K$	0,124	0,118	0,224	0,8	0,81
<b>Valori maxime ale coeficientului de transfer termic, <math>U</math>, pentru elementele anvelopei clădirilor conform NCM M.01.01:2016</b>	0,32	0,2	0,2	$\leq 1,5$	2,2

Performanțele energetice ale imobilului rezultate în cadrul studiului a clădirii conform criteriilor stabilite de PHI sunt exprimate prin indicatorii de performanță energetică (EPI) care raportează consumul energetic anual la suprafața locuită și sunt centralizate în tabelul 2.2.



**Tabelul 2.2.** Indicatorii de performanță energetică ai clădirii analizate

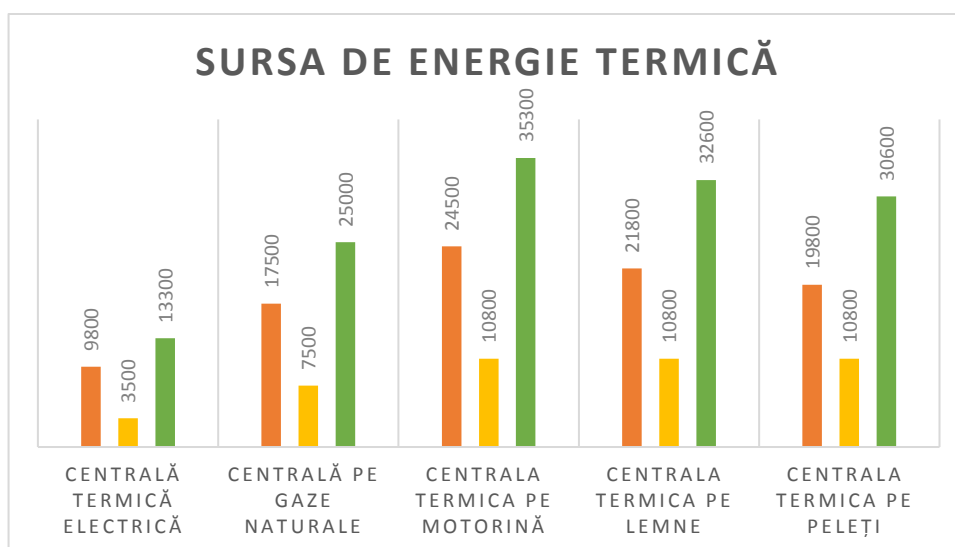
$EPI_i$ , kWh/m <sup>2</sup> an	$EPI_t$ , kWh/m <sup>2</sup> an
19	84

În condițiile existente, imobilul analizat dispune de un sistem integrat de instalații pentru asigurarea utilităților și a condițiilor de microclimat, având în componență: o centrală cu funcționare pe gaze naturale pentru încălzire, un panou solar termic conectat la un tanec de acumulare pentru prepararea apei calde menajere și un sistem de ventilare cu recuperare de căldură.

A fost realizată o evaluare a costurilor de investiție aferente surselor de producere a energiei termice utilizate în mod frecvent în clădirile rezidențiale prezentată în tabelul 2.3.

**Tabelul 2.3:** Situația costurilor de investiție pentru sisteme de încălzire

Sursa de energie termică (20 kW)	Costuri achiziție echipamente și accesorii (lei)	Costuri manoperă montaj (lei)	Costuri totale investiție (lei)
Centrală termică electrică	9800	3500	13300
Centrală pe gaze naturale	17500	7500	25000
Centrala termica pe motorină	24500	10800	35300
Centrala termica pe lemne	21800	10800	32600
Centrala termica pe pește	19800	10800	30600

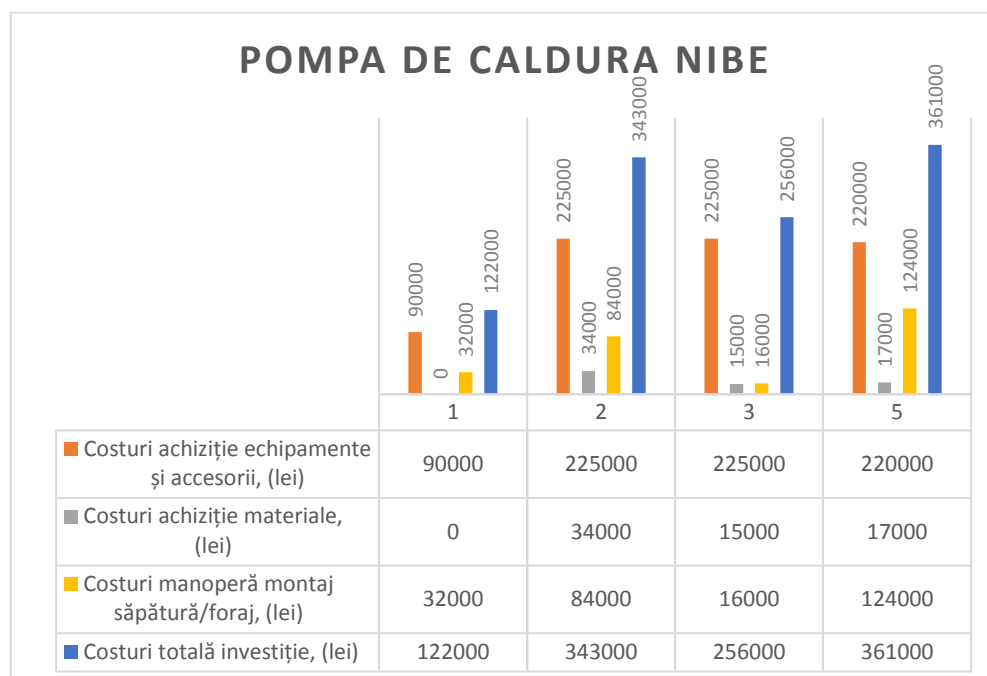


**Figura 2.2:** Compararea costurilor de investiție pentru diferite surse de energie termică

Totodată au fost estimate costurile specifice ale investiției pentru realizarea unui sistem de producere a energiei termice bazat pe pompe de căldură. Rezultatele evaluării costurilor estimative necesare realizării investiției sunt prezentate în tabelul 2.4, iar analiza comparativă a costurilor de investiție în figura 2.3.

**Tabelul 2.4:** Situația costurilor de investiție pentru sisteme cu pompe de căldură

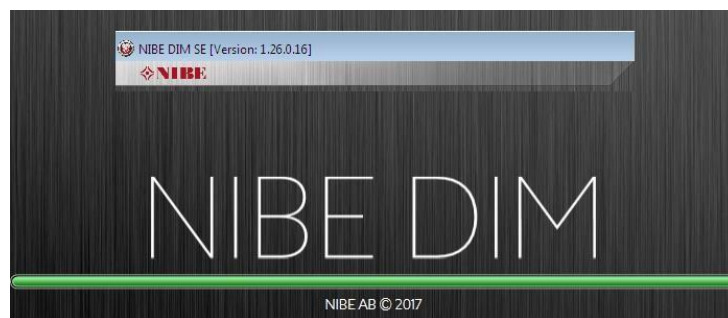
Tip echipament NIBE (6 kW)	Costuri achiziție echipamente și accesorii, (lei)	Costuri achiziție materiale, (lei)	Costuri manoperă montaj săpătură/foraj, (lei)	Costuri totală investiție, (lei)
Pompă de căldură aer-apă	90 000	-	32 000	122 000
Pompă de căldură sol-apă (colector geotermal)	225 000	15 000	16 000	256 000
Pompă de căldură sol-apă (sondă geotermală)	220 000	17 000	124 000	361 000



**Figura 2.3:** Comparația costurilor de investiție pentru diferite sisteme cu pompe de căldură

Atât în tabelul 2.4 cât și în diagrama din figura 2.3 se pot observa că, în raport cu datele privind performanța energetică a clădirii, și costurile directe generate de investiția inițială, soluția optimă pentru analiza timpului de recuperare a investiției este cea bazată pe utilizarea pompelor de căldură de tip aer-apă.

Analiza eficienței economice a diferitelor sisteme de încălzire comparativ cu pompa de căldură aer-apă s-a realizat prin intermediul aplicației specializate NIBE DIM SE (versiunea 1.26.0.16), figura 2.4, utilizată direct de pe serverul companiei, facilitate pusă la dispoziție de reprezentanța în Rep. Moldova a producătorului suedez de pompe de căldură NIBE.



**Figura 2.4:** Aplicația NIBE DIM (nibe.com)

În cadrul scenariilor de lucru, pentru imobilul analizat, au fost simulate, pe lângă situația existentă (centrala pe combustibil gaze naturale), și alte situații considerând diferite surse de căldură care utilizează combustibil lichid (motorină), dar și neconvenționali (biomasă - lemn, peleți), precum și situația producerii energiei termice prin intermediul centralei electrice, în scopul determinării timpului de amortizare a investiției în raport cu reducerea costurilor anuale de exploatare ale clădirii.

Principalele date de intrare cerute de aplicație sunt:

- parametrii specifici zonei climatice (temperatura medie anuală a locației, temperatura exterioară de calcul);
- nivelul de izolare termică;
- performanțele energetice ale clădirii (energia consumată pentru încălzire și preparare ACM);
- condițiile cerute de ocupanții clădirii (temperatura interioară de confort dorită, sistemul de livrare a căldurii);
- costurile specifice pentru combustibilii utilizați, electricitate;

- costurile suplimentare ale investiției prin trecerea de la sursa considerată existentă la cea cu pompă de căldură.

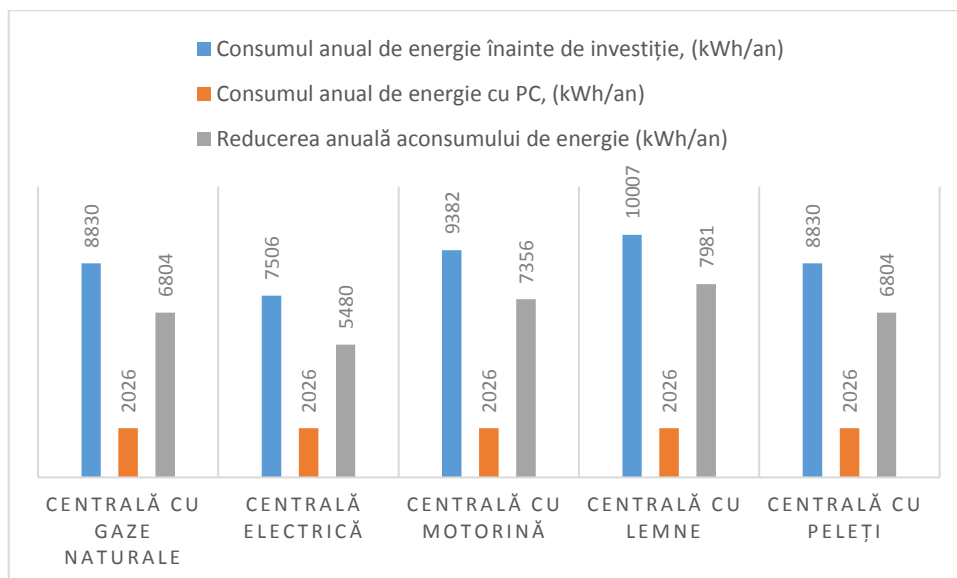
După introducerea datelor potrivit scenariilor stabilite, în urma rulării aplicației de simulare NIBE, pe baza rapoartelor generate de aceasta, au fost obținute o serie de rezultatele care vor fi prezentate și analizate.

În tabelul 2.5 este prezentată economia anuală de energie care se obține prin înlocuirea surselor clasice pentru producerea energiei termice considerată existentă cu pompa de căldură.

**Tabelul 2.5:** Situația consumurilor anuale de energie înainte și după investiție

Tipul sursei de energie termică	Consumul anual de energie înainte de investiție, (kWh/an)	Consumul anual de energie cu PC, (kWh/an)	Reducerea anuală a consumului de energie (kWh/an)
Centrală cu gaze naturale	8830	2026	6804
Centrală electrică	7506		5480
Centrală cu motorină	9382		7356
Centrală cu lemne	10007		7981
Centrală cu peleți	8830		6804

Un alt aspect foarte important care trebuie remarcat este cel legat de economia de energie care se obține, prezentată în diagrama din figura 2.5.



**Figura 2.5:** Comparație privind economia anuală de energie

Din comparația privind economia anuală de energie se observă că, prin trecerea de la sistemele cu surse de energie termică clasice la cel cu pompă de căldură se obține o reducere

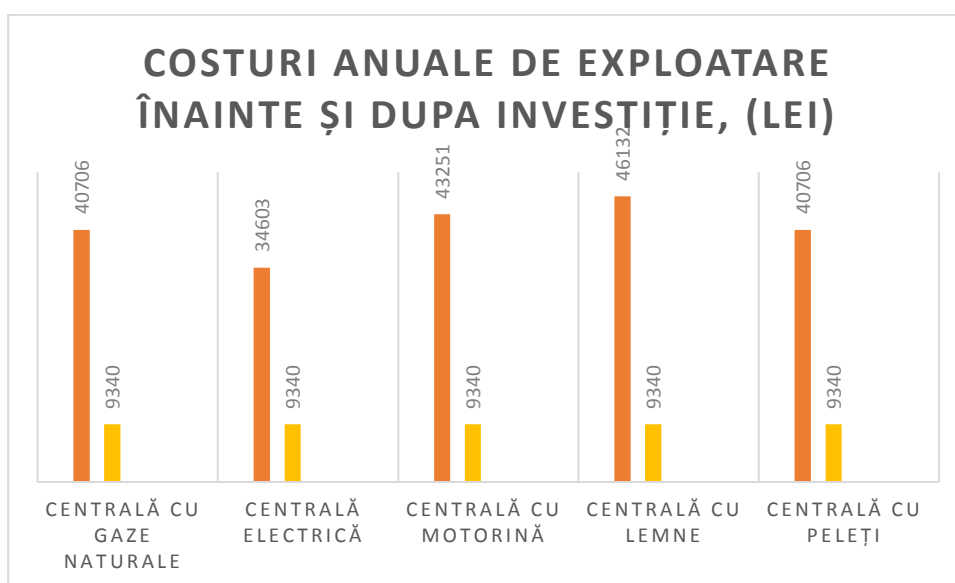
anuală a consumului de energie substanțială, având valori în procente cuprinse în intervalul 73-80%.

În tabelul 2.6 sunt prezentate centralizat situația costurilor anuale de exploatare și investiție, prin trecerea de la sursele clasice de producere a energiei termice la cele bazate pe surse de energii regenerabile.

**Tabelul 2.6:** Situația costurilor anuale de exploatare

Pompă de căldură aer/apă			
Tipul sursei de energie termică	Costuri anuale de exploatare înainte de investiție, (lei)	Costuri anuale de exploatare după investiție, (lei)	Costuri anuale totale recuperate, (lei)
Centrală cu gaze naturale	40706	9340	31366
Centrală electrică	34603	9340	25263
Centrală cu motorină	43251	9340	33911
Centrală cu lemne	46132	9340	36792
Centrală cu peleți	40706	9340	31366

Comparația costurilor anuale de exploatare înainte și după investiția de realizare a sistemului de producere a energiei termice cu pompa de căldură este prezentată în diagrama din figura 2.6.



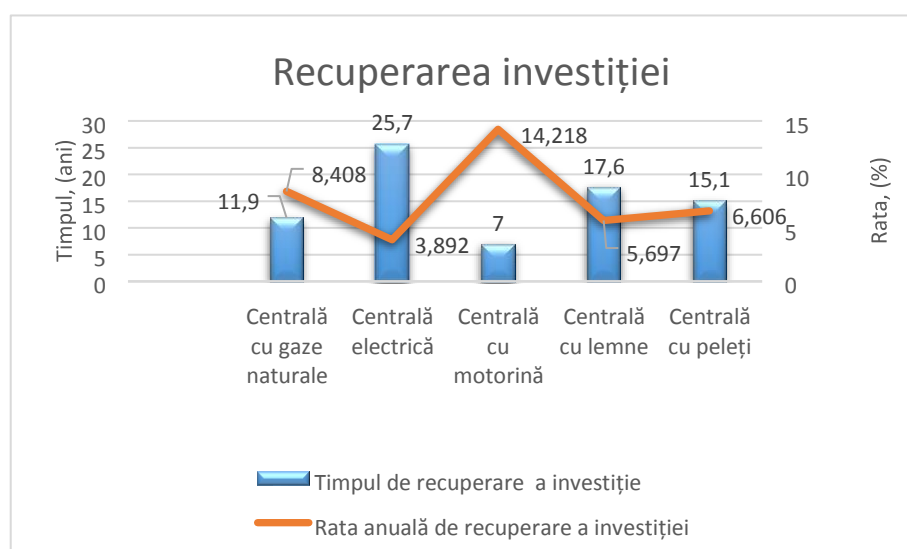
**Figura 2.6:** Comparație privind costurile anuale de exploatare

Din comparația costurilor anuale de exploatare pentru sursele analizate reiese faptul că, în situația dinaintea investiției costurile de exploatare variază funcție de cantitatea de energie utilizată și prețul unitar pentru fiecare tip de combustibil utilizat. După investiție aceste costuri se reduc considerabil, cu valori procentuale cuprinse în intervalul 66-86 %, limita minimă înregistrându-se în situația când dispunem inițial de o centrală electrică, iar limita maximă în situația trecerii de la sursa clasică de producere a energiei termice, utilizând o centrală pe motorină, la pompa de căldură.

Timpul și rata de recuperare a investiției în sistemul de producere a energiei termice bazat pe pompe de căldură pentru toate cele cinci cazuri simulate sunt prezentate în tabelul 2.7, iar analiza comparativă în diagrama din figura 2.7.

**Tabelul 2.7:** Timpul și rata anuală de recuperare a investiției

Tipul sursei de energie termică	Timpul de recuperare a investiției, (ani)	Rata anuală de recuperare a investiției, (%)
Centrală cu gaze naturale	11,9	8,41
Centrală electrică	25,7	3,89
Centrală cu motorină	7	14,22
Centrală cu lemne	17,6	5,70
Centrală cu pește	15,1	6,61



**Figura 2.7:** Comparație privind timpul și rata de recuperare a investiției

În diagrama din figura 2.7 se poate observa că, timpul de recuperare a investiției suplimentare variază, în funcție de economiile anuale de energie obținute precum și costul unității de energie aferentă consumului specific de combustibil utilizat, astfel: cel mai scurt timp de recuperare al investiției fiind în cazul utilizării pentru producerea energiei termice o centrală pe motorină, la polul opus aflându-se situația în care se utilizează o centrală electrică. De asemenea cea mai mică rată de recuperare a investiției se obține în cazul utilizării unei centralei termice electrice, iar cea mai mare rată de recuperare a investiției în cazul centralei termice pe motorină.

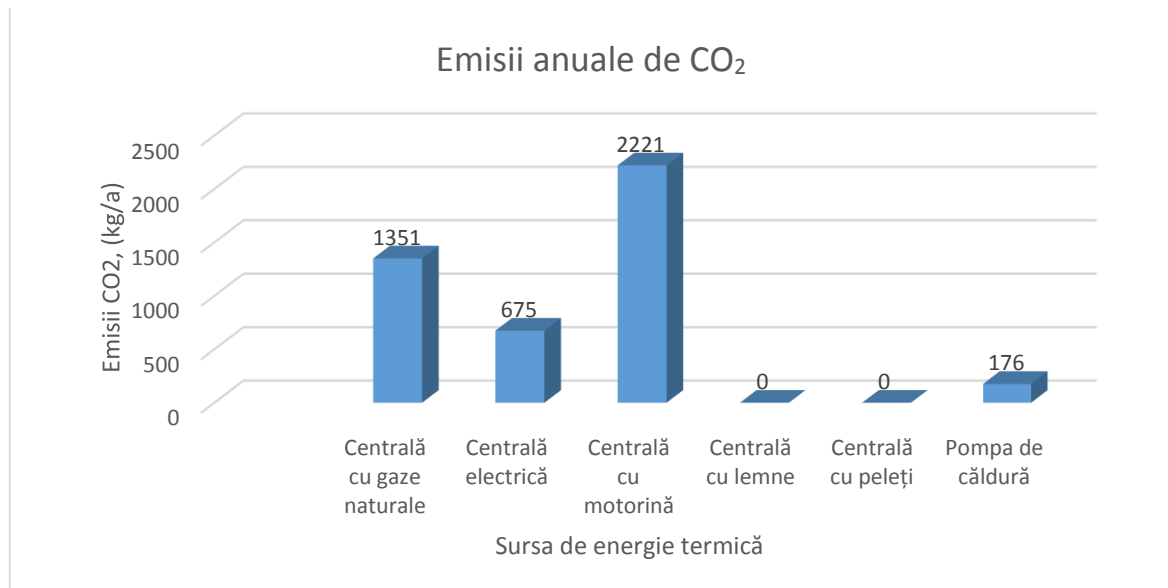
Un aspect foarte important este impactul pe care îl are asupra mediului fiecare sursă de producere a energiei termice. A fost cuantificată cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> rezultată în cazul utilizării fiecărei surse de producere a energiei termice pentru încălzire și preparare a.c.m., rezultatele obținute fiind prezentate în tabelul 2.8.

**Tabelul 2.8:** Emisiile anuale de CO<sub>2</sub> pentru diferite surse de energie

Tipul sursei de energie termică	Emisiile anuale de CO <sub>2</sub> , (kg/an)
Centrală cu gaze naturale	1351
Centrală electrică	675
Centrală cu motorină	2221
Centrală pe lemne	0
Centrală cu peleți	0
Pompa de căldură	176

În tabelul 2.8 observăm faptul că, prin înlocuirea surselor de energie clasice cu sisteme care utilizează surse regenerabile de energie (echipate cu pompe de căldură) se obțin reduceri semnificative ale emisiilor de CO<sub>2</sub> (cuprinse între 70-90 %), având un impact pozitiv asupra mediului ambiant.

Comparația între cantitățile de emisii poluante emisiile anuale de CO<sub>2</sub> pentru cele cinci cazuri analizate este prezentată în diagrama din figura 2.8.



**Figura 2.8:** Comparație privind emisiile anuale de CO<sub>2</sub>

În diagrama din figura 2.8 se poate observa că cea mare cantitate de emisii de CO<sub>2</sub> se produce în cazul surselor care utilizează motorina pentru producerea de energie termică, urmată de cele care utilizează gazele naturale și sursele care transformă energia electrică în energie termică, iar în cazul surselor de căldură care utilizează resurse de biomasă provenite din (lemn și peleşi) bilanțul emisiilor de CO<sub>2</sub> în mediul înconjurător este foarte redus sau aproape nul. Deoarece prin procesul de fotosinteză biomasa absoarbe dioxidul de carbon când se regenerează întregul proces de generare, utilizare și regenerare al biomasei conduce la emisii globale de dioxid de carbon aproape zero, aceste emisii participând la ciclul regenerativ al biomasei. Având în vedere aspectele privind economiile substanțiale de energie obținute, care generează reduceri semnificative ale costurilor de exploatare, impactul pozitiv prin reducerea considerabilă a poluării, asupra mediului ambiant, precum și evoluția costurilor unitare aferente combustibililor convenționali utilizați pentru producerea de energie termică, dar și durata de viață estimată la cca. 20 ani pentru pompele de căldură, se poate aprecia că trecerea la sisteme care utilizează sursele regenerabile de energie reprezintă o soluție viabilă și sustenabilă.

## 2.2. Concluzii

Studiu realizat în cadrul tezei de masterat asupra metodelor de îmbunătățire a performanțelor energetice a clădirilor demonstrează necesitatea și oportunitatea adoptării de soluții tehnice pasiv constructive și funcționale în vederea conservării energiei termice produsă din surse interioare, diminuarea pierderilor de căldură prin transmisie prin elementele anvelopei



clădirilor și utilizarea surselor de energie alternativă, pentru clădirile noi și pentru eficientizarea energetică a celor existente care se reabilitează.

**Beneficiile casei pasive sunt mult mai largi decât economisirea energiei și reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>. Acestea pot fi sintetizate astfel:**

- ✓ Calitatea vieții în clădirile cu consum de energie aproape zero este mult mai bună decât în clădirile construite conform practicilor actuale.
- ✓ Posibilitățile de economisire a costurilor clădirii obținute printr-o proiectare adecvată și printr-o execuție de calitate superioară acoperă aproape în întregime costurile suplimentare ale anvelopei clădirii eficiente energetic.
- ✓ Calitatea vieții este mai bună printr-un confort (termic) mai bun.
- ✓ Clădirile cu consum de energie aproape egal cu zero asigură o calitate bună a aerului interior. Sistemul de ventilare furnizează aer filtrat în mod continuu.
- ✓ Structurile cu grosime mare și bine izolate oferă izolare fonică și protecție eficientă împotriva zgomotului.
- ✓ Beneficiile pentru mediu provin din necesarul redus de energie care diminuează impactul datorat extracției, producerii și furnizării energiei asupra mediului înconjurător.
- ✓ Beneficiile pentru mediul înconjurător provin din calitatea aerului îmbunătățită la nivel local.
- ✓ Beneficii pentru sănătate care sunt posibile datorită calității îmbunătățite a aerului interior și a riscului redus de a avea încăperi reci, mai ales în cazul clădirilor ocupate de familii cu venituri reduse sau de persoane în vârstă.
- ✓ Beneficii macro-economice rezultate din promovarea tehnologiilor inovatoare și crearea oportunităților de piață pentru tehnologiile noi sau mai eficiente și prin asigurarea anumitor subvenții pentru încurajarea proiectelor pilot și transformarea pieței.
- ✓ Beneficii economice private: costurile de investiție mai mari pot fi compensate prin economiile de energie pe durata de viață a clădirii (clădirile sunt caracterizate de o sensibilitate mai redusă la prețul energiei și la tulburările politice). Atunci când o clădire nouă este vândută, standardul ridicat poate conduce la un preț de revânzare cu până la 30% mai mare în comparație cu clădirile obișnuite.
- ✓ Crearea de noi locuri de muncă poate apărea din producerea și instalarea soluțiilor de eficientizare energetică și a tehnologiilor de utilizare a energiei din surse regenerabile.
- ✓ Se preconizează o scădere a dependenței energetice în raport cu combustibilii fosili și implicit față de prețurile viitoare ale energiei.

Contribuțiile personale privind confortul interior și metodele pasive de îmbunătățire a performanțelor energetice ale clădirilor au fost aduse următoarelor domenii cercetate și analizate: cercetarea literaturii științifice privind casele pasive, ventilarea mecanică a spațiilor de locuit, utilizarea energiilor alternative pentru călduri pasive și analiza termică, energetică și economică a soluțiilor de reabilitare a clădirilor.

Pentru a demonstra necesitatea și oportunitatea înlocuirii diferitelor surse clasice de producere a energiei termice utilizând combustibili convenționali cu surse de energie regenerabile, pentru clădirile cu consum redus de energie, din punct de vedere energetic și economic precum și impactul utilizării acestora asupra mediului înconjurător a fost realizat o studiu prin intermediul aplicației specializate NIBE.

Un alt aspect foarte important care trebuie remarcat este cel legat de economia anuală de energie care se obține, prin comparația consumurilor de energie a surselor clasice unde pentru acoperirea necesarului de căldură pentru încălzire și preparare a.c.m.

Valorile consumurilor de energie pentru sursele de energie clasice au fost: 8 830 kWh/an în cazul centralei cu gaze naturale, 7 506 kWh/an în cazul centralei electrice, 9 382 kWh/an în cazul centralei cu motorină, 10 007 kWh/an în cazul centralei cu lemne și 8 830 kWh/an în cazul centralei cu pește, iar prin trecerea sistemelor cu pompă de căldură consumurile de energie sunt de 2 026 kWh/an, obținându-se o reducere anuală a consumului de energie substanțială, având valori în procente cuprinse în intervalul 73 - 80 %.

Reducerea anuală a consumului de energie pentru sursele analizate va fi: 6 804 kWh/an în cazul centralei cu gaze naturale, 5 480 kWh/an în cazul centralei electrice, 7 356 kWh/an în cazul centralei cu motorină, 7 981 kWh/an în cazul centralei cu lemne, 6 804 kWh/an în cazul centralei cu pește.

Analizând necesitatea trecerii de la sursele de energie clasice la cele care utilizează energii regenerabile se observă că cel mai mic timp de recuperare al investiției, de 7 ani, se înregistrează în cazul utilizării ca sursă de energie termică centrala pe motorină, iar durata cea mai mare de recuperare a investiției, de 25 ani în cazul utilizării centralei electrice.

Cea mai bună rată anuală de recuperare a investiției este în cazul folosirii sursei de energie care utilizează pentru combustie motorina (14 %), urmată de sursa de energie care utilizează gazele naturale (8 %) datorită valorii mai mici a investiției suplimentare rezultate din analiza costurilor specifice celor două investiții (sistem pe gaze naturale comparativ pompa de căldură). Sursele de energie care folosesc pentru obținerea energiei termice combustibil de tip pește (6 %), sau lemn (5 %) au o rată anuală de recuperare a investiției relativ mai mică, datorită valorii

relativ mai scăzute a prețului unitar pentru acești biocombustibili. Cea mai scăzută rată anuală de recuperare a investiției este în cazul folosirii sursei de energie care utilizează pentru producerea de energie termică centrala electrică (4 %), datorită valorii de achiziție mari pentru energia electrică.

Un aspect foarte important este impactul pe care îl are asupra mediului fiecare sursă de producere a energiei termice prin cantitatea de emisii de CO<sub>2</sub> rezultată în urma producerii energiei termice necesare pentru încălzire și preparare a.c.m.

Prin înlocuirea surselor de energie clasice cu sisteme care utilizează surse regenerabile de energie se obțin reduceri semnificative ale emisiilor de CO<sub>2</sub>, astfel: 1 351 kg/an în cazul utilizării centralei cu gaze naturale, 675 kg/an în cazul utilizării centralei electrice, 2 221 kg/an în cazul utilizării centralei pe motorină, față de 176 kg/an în cazul utilizării pompei de căldură, rezultând un impact pozitiv asupra mediului ambiant.

O altă observație care se desprinde este aceea că, în cazul surselor de căldură care utilizează resurse de biomasă provenite din (lemn și peleți), acțiunea poluantă asupra mediului este foarte redusă, deoarece aceste emisii participă la ciclul natural regenerativ al acesteia.

Rezultatele studiului au condus la concluzia generală că prin prisma eficienței energetice sub raportul economiilor anuale de energie și a considerentelor economice privind reducerea costurilor anuale de exploatare dar și din punct de vedere al cantității anuale de emisii poluante generate în mediul înconjurător, înlocuirea surselor de energie termică cu surse regenerabile de energie este o soluție eficientă și viabilă.

## Bibliografie

1. Adamson B., 1992, Passive Climatisation of Residential Buildings in China, Lund University, Report TABK-92/3006;
2. Bisanz, C, 1999, Low supply Heating load analysis in the passive house; Passive House Institut; Specialized information PHI-1999/2; Darmstadt;
3. Constantinescu D., 2008, Tratat de inginerie termică. Termotehnica în construcții Vol. 1, Editura AGIR, Bucuresti;
4. Cuce P.M., Riffat S., 2015, A comprehensive review of heat recovery systems for building applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 47;
5. Ebel W., Feist W., 1997, "Electricity consumption results in the Passive House in Darmstadt-Kranichstein" in "Saving electricity in the Passive House"; Protocol Volume No. 7 of the Research Group for Cost-efficient Passive Houses, Passive House Institute, Darmstadt-1997;
6. Feist W, Puger R., Kaufmann B., Schnieders J., Kah O., 2007, "Passive House Planning Package 2007", Specification for Quality Approved Passive Houses", Passive House Institute, Technical Information PHI-2007/1(E);
8. Ghiauş A. G., 2003, Transferul de căldură -Note de curs-, Editura CONSPRESS, Bucureşti; Ionescu, A. M., 2011, Cercetări privind consumul de energie pentru climatizarea clădirilor. Bucureşti, Universitatea Tehnică de Construcții Bucureşti, Facultatea de Inginerie a Instalațiilor;
9. Iordache F., 2008, Termotehnica construcțiilor, Editura Matrix Rom, Bucureşti;
10. Maican E., 2015, Sisteme de energii regenerabile, Editura Printech, Bucuresti;
11. Mihaia M, Tanasieva V, Dincă C, Badea A, Vidu R, 2017, Passive house analysis in terms of energy performance, Energy and Buildings, vol. 144, pp. 74–86
12. Mladin C., Udrea I., Popa R., Andone R., Anastasiu M., Milandru A., 2011, Calcul de performanta energetica pentru casa pasiva din Universitatea Politehnica Bucuresti, Revista TERMOTEHNICA a AGIR, Anul XV, Nr.1S/2011, ISSN-L 12224057;
13. Ștefănescu D., 2009, Higrotermica construcțiilor, Editura Societății Academice "Matei – Teiu Botez", Iași;
14. Ștefănescu D., 2012, Manual de proiectare higrotermică a clădirilor, Editura Societății Academice "Matei – Teiu Botez", Iași;
15. Thiers S., Peuportier B., 2008, "Thermal and environmental assessment of a passive building equipped with an earth-to-air heat exchanger in France", Solar Energy, vol. 82-9, , pag. 820-831;
16. Directiva 2002/91/CE, 2002, Directiva privind performanța energetică a clădirilor, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, Parlamentul European și Consiliul European;
17. Directiva 2009/28/CE, 2009, Directiva privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, Parlamentul European și Consiliul European;

18. Directiva 2018/2001/UE, 2018, Directiva privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile reformare, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, Parlamentul European și Consiliul European;
19. Directiva 2018/844/UE, 2018, Directiva de modificare a Directivei 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor și a Directivei 2012/27/UE privind eficiența energetică, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, Parlamentul European și Consiliul European;
20. SR EN ISO 14683, 2008, Punți termice în clădiri. Coeficient de transfer termic liniar. Metode simplificate și valori implicite;
21. SR EN ISO 10211, 2017, Punți termice în alcătuirea clădirilor. Fluxuri termice și temperaturi superficiale. Calcule detaliate;
22. SR EN ISO 10077-1, 2018, Performanța termică a ferestrelor, ușilor și obloanelor. Calculul transmitanței termice. Partea 1: Generalități;
23. SR EN ISO 10077-2, 2018, Performanța termică a ferestrelor, ușilor și obloanelor. Calculul transmitanței termice. Partea 2: Metoda numerică pentru profilurile de tâmplărie;
24. SR EN 15251:2007 Parametri de calcul ai ambianței interioare pentru proiectarea și evaluarea performanței energetice a clădirilor, care se referă la calitatea aerului interior, confort termic, iluminat și acustică.
25. Programul de calcul ENERGYSAVE (isover.ro)
26. Ce înseamnă conceptul de casă pasivă și cum funcționează o casă pasivă - Ecovent România
27. Casa pasiva: Ce este, cum se construiește, materiale necesare - (macostore.ro)
28. Casa pasiva: 5 principii și 8 avantaje (climasoft.ro)
29. CaloriBlock – Economie la energie, Caramida Ecologica
30. Ce este o casă pasivă? | REHAU
31. Proiecte - Premium House
32. Experienta in Moldova
33. Ce presupune conceptul de „Casă Pasivă”? (termika.md)
34. <https://topjust.md/noutati-si-sfaturi-moldova/stii-cum-se-construieste-o-casa-pasiva>
35. Doru-Daniel SABIE, Aspecte privind confortul interior și performanțele clădirilor care utilizează sisteme pasive, teză de doctorat, București, 2020
36. Ștefănescu D., Manual de proiectare higrtermică a clădirilor, Editura Societății Academice "Matei – Teiu Botez", Iași, 2012.