

EVALUAREA PERFORMANȚEI ENERGETICE ȘI A CICLULUI DE VIAȚĂ A CLĂDIRILOR

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnică Timișoara

în domeniul de doctorat INGINERIE CIVILĂ ȘI INSTALAȚII

autor ing. Iosif BOROS

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Valeriu Augustin STOIAN

luna 01 anul 2021

Rezumat

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

Rezumatul capitolelor tezei de doctorat

1. Introducere

Capitolul prezintă aspecte generale privind consumurile de energie a industriei construcțiilor, costuri unitare de energie, motivația respectiv obiectivele prezentei lucrări.

1.1. Consumurile de energie ale clădirilor

La nivelul Uniunii Europene, consumurile de energie finală a clădirilor în anul 2016 au fost de 434,80 Mtep, care reprezintă 39% din totalul consumului celor 28 de state membre [1]. În România, consumurile de energie finală a clădirilor în anul 2019 au fost de 9,52 Mtep, care reprezintă 42% din totalul consumului național [2]. Energia termică reprezintă 80%, iar energia electrică reprezintă 20% din totalul energiei consumate. Clădirile cu altă destinație decât cea de locuit reprezintă 5% din numărul total al imobilelor, 10% din suprafața totală încălzită, respectiv 19% din consumurile finale totale de energie.

1.2. Cadrul legislativ existent

Directiva 2018/844/UE [3] privind modificarea Directivelor 2010/31/UE și 2012/27/UE stabilește principiile de aplicat pentru îndeplinirea noilor obiective principale și anume: reducerea emisiilor globale cu efect de seră cu cel puțin 40% sub nivelul din 1990 până în 2030, respectiv cu 80-95% până în 2050. Legea 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor în România, republicată și actualizată cu Legea 159/2013, Legea 156/2016 și Legea 101/2020 a preluat prevederile Directivelor UE și stabilește principiile care trebuie respectate la elaborarea Strategiei naționale de renovare pe termen lung.

1.3. Tendințe globale în domeniul energiei

Factorii de conversie a energiei primare exprimă cantitatea de energie primară utilizată pentru generarea unei unități de energie finală, ținând cont de caracteristicile procesului industrial de furnizarea energiei la consumatorul final. În România, valoarea factorului energiei electrice (2,62) [4] este o consecință a ponderii resurselor energetice primare în producția acesteia. În cazul consumurilor de energie a clădirilor, raportul dintre factorul de conversie a energiei electrice și cel al gazelor naturale (2,24) reprezintă un factor important în stabilirea sursei de energie pentru încălzire și prepararea apei calde menajere. Pentru fiecare tip de sursă de energie sunt definiți factori de conversie prin care se determină cantitatea echivalentă de CO₂ emisă pentru fiecare kWh de energie primară consumată. Conform Raportului "EU Energy in Figures 2018" [1], publicat de Comisia Europeană pentru perioada 2010 – 2016, emisiile de CO₂ în anul 2016 ale statelor membre UE a fost de 3637,3 milioane tone CO₂ iar a României a fost de 75,9 milioane tone CO₂.

În evoluția prețurilor unitare medii a energiei electrice în România se constată o creștere medie anuală de 0,85% utilizând datele din ultimii 13 ani [5]. Prețul unitar al energiei electrice, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,1422 Euro / kWh, TVA inclus. Prețul unitar al gazelor naturale, în prima jumătate a anului 2020, este de 0,0324 Euro / kWh, TVA inclus [5]. Estimările Băncii Mondiale [6] în privința evoluției prețului unitar al gazelor naturale în Europa, între anii 2020 și 2030 implică o creștere medie anuală de 2%.

1.4. Eficiența energetică a clădirilor

Acest subcapitol prezintă stadiul existent al studiilor și activităților de cercetare în domeniul performanței energetice a clădirilor de învățământ, anvelopelor termice, instalațiilor clădirilor, confortul interior, comportamentul utilizatorilor, modelele numerice, date monitorizate și evaluarea ciclului de viață.

1.5. Motivația și obiectivele cercetării

Realizarea unui proiect-pilot care să poată fi utilizat ca un exemplu de bune practici atât din punct de vedere al economiei de energie cât și din punct de vedere al îmbunătățirii calității fondului construit reprezintă motivația principală a prezentei lucrări.

Sintetizarea obiectivelor principale ale prezentei teze cuprinde:

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

1.6. Prezentarea generală a tezei de doctorat

Acest subcapitol prezintă conținutul tezei, descriind succint fiecare capitol principal. Teza de

doctorat este structurată în șapte capitole principale și șapte anexe, însumând un număr total de 291 pagini.

2. Performanța energetică a clădirilor

2.1. Tipuri de metodologii de calcul

Metodologiile de calcul naționale ale performanței energetice a clădirilor a statelor membre UE sunt în principal bazate pe principii de calcul în regim staționar, prin metode sezoniere sau lunare. În ceea ce privește nivelurile minime de performanță ale clădirilor noi proiectate, fiecare stat membru are libertatea de a stabili propriile cerințe tehnice, atâta timp cât obiectivele generale regionale de reducerea a emisiilor de gaze cu efect de seră sunt îndeplinite.

Dintre standardele dedicate eficienței energetice și a confortului interior, conceptul de Casă Pasivă [7] este cel mai cunoscut și utilizat standard. Această abordare implică maximalizarea utilizării resurselor de calcul pentru obținerea unui rezultat cât mai eficient și precis. Sistemul de aplicare a metodologiilor alternative conțin și componente de certificare prin care se validează respectarea prevederilor acestor standarde de către organizații specializate.

2.2. Metodologia de calcul națională

În România, calculul performanței energetice a clădirilor se realizează în conformitate cu Mc 001/2006 [4], care s-a realizat în baza prevederilor Legii 372/2006 și ca o continuare a reglementării tehnice C107 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor [8]. Metodologia dezvoltă proceduri de calcul în regim staționar pentru determinarea consumurilor energetice a instalațiilor clădirilor (încălzire, apă caldă menajeră, răcire, ventilare mecanică și iluminat). Rezultatele procedurilor de calcul sunt exprimate în energie finală, energie primară și emisii de CO₂.

Propunerea de modificare a metodologiei [9] dezvoltă principiile impuse prin Directivele EU privind îmbunătățirea cerințelor de performanță energetică a clădirilor respectiv prin definirea termenului de clădire al cărei consum de energie este aproape egal cu zero (nZEB). Clădirile nZEB sunt definite de performanță energetică foarte ridicată, caracterizată de un consum de energie aproape egal cu zero care este acoperit în proporție de minimum 30% din surse regenerabile produsă la fața locului sau în apropierea clădirii.

2.3. Standard de Casă Pasivă

Conceptul constructiv implică realizarea unei anvelope etanșe cu performanță termică ridicată, eficientizarea utilizării aporturilor interne și solare, respectiv asigurarea necesarului de aer proaspăt prin instalații de ventilare mecanică. Instrumentul de calcul numeric automat utilizat pentru proiectarea Caselor Pasive [7] este Passive House Planning Package (PHPP). La nivel global, numărul clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit certificate după standardul de Casă Pasivă este de 782, din care numărul clădirilor de învățământ este de 303 [10][10].

2.4. Sisteme de monitorizare

Sistemele de monitorizare în domeniul eficienței energetice a clădirilor sunt utilizate preponderent la aplicații industriale, acolo unde consumurile energetice reprezintă un cost semnificativ al procesului tehnologic. În categoria clădirilor civile, monitorizarea se rezumă la utilizarea contoarelor de energie totală conectate la stații de achiziții de date [11]. Datele furnizate de aceste sisteme sunt folosite pentru stabilirea strategiilor de utilizare a clădirii sau pentru a fundamenta investiții care să ducă la reducerea consumului de energie. De asemenea, datele procesate ale monitorizării consumurilor reale ale clădirilor nu reprezintă momentan un factor relevant în stabilirea metodologiilor de calcul.

2.5. Evaluarea ciclului de viață

Cuantificarea pe termen lung a nivelului de efecte negative a industriei construcțiilor asupra mediului înconjurător se poate realiza utilizând metodele evaluării ciclului de viață. Stadiile principale a unui ciclu de viață cuprind: materie primă, prelucrare, transport, utilizare, sfârșit de viață și reciclare.

Clădirile reprezintă elemente complexe a căror modelare numerică implică date pentru o multitudine de materiale și procese tehnologice. Consumurile de energie în etapa de utilizare a clădirii reprezintă impactul predominant al acestora asupra mediului înconjurător. Etapa de utilizare implică definirea consumurilor de energie, a reparațiilor curente și a lucrărilor de mentenanță, pe durata de viață considerată. Cele mai multe studii de ciclu de viață a clădirilor consideră o durată de utilizare de 50 ani respectiv un sfârșit de viață. Utilizarea resurselor, influența asupra sănătății umane și deteriorarea mediului înconjurător sunt categoriile principale globale de impact pentru care se pot determina rezultate.

2.6. Metodologie de calcul și date utilizate

Calculul performanței energetice a clădirii de învățământ analizate s-a realizat în regim staționar, în conformitate cu metodologiei Mc 001, iar datele climate sunt cele pentru localitatea Oradea. S-a definit un scenariu de ocupare a zonelor principale, pentru un an întreg, în ceea ce privește numărul de utilizatori și intervalele orare de ocupare. Numărul de schimburi de aer utilizat în calcul este cel real determinat pentru clădire prin testul Blower-Door. Datele utilizate pentru determinarea performanței energetice a elementelor de anvelopă și a instalațiilor clădirii sunt cele din declarațiile de performanță a producătorilor.

Obiectivul evaluării ciclului de viață este să se determine impactul asupra mediului a clădirii de învățământ analizate prin emisiile de CO₂ în etapa de execuție și de utilizare. Ciclul de viață definit pentru clădirea analizată este alcătuit din producția și punerea în operă a cantităților reale de materiale pentru construirea clădirii și consumurile de energie calculate pe durata a 50 ani de utilizare, în baza scenariilor de mentenanță și înlocuire. Procesele luate în calcul pentru determinarea impactului etapei de execuție cuprind materialele structurale, de compartimentare și închidere, de finisaje dar și transportul acestora pe șantier.

3. Clădire de învățământ eficientă energetic – studiu de caz

3.1. Prezentare generală

Clădirea cu regimul de înălțime P+3E este amplasată în zona centrală a municipiului Salonta, județul Bihor, într-o zonă preponderent rezidențială și cu funcțiuni conexe.

În ceea ce privește parterul, funcțiunea de alimentație publică este asigurată cu ajutorul unei săli de mese cu capacitatea sălii de mese este de 192 de persoane și a unei bucătării cu spațiile conexe aferente. Parterul oferă loc și pentru o bibliotecă școlară și o sală de lectură. Din cele 15 săli de clasă amplasate la primele două etaje, 6 sunt configurate cu dotări specifice laboratoarelor tematice, care la rândul lor sunt prevăzute cu anexe pentru depozitare materiale didactice. Sunt prevăzute, de asemenea, și încăperi auxiliare precum: administrație, secretariat, contabilitate, sală profesorală și cabinet psihologic. Etajul 3 este dedicat internatului care este format din 10 spații de cazare tip apartament. Fiecare spațiu respectiv este format din două camere de locuit cu trei locuri, un hol și grupuri sanitare comune. Capacitatea de cazare a internatului este de 62 de locuri. Complementar, sunt prevăzute spații pentru socializare, oficiu-bucătărie, cameră pedagog supervizor și cabinet medical.

Termoizolațiile utilizate sunt din polistiren extrudat la nivelul fundațiilor și plăcii pe sol, din vată minerală bazaltică la nivelul pereților exteriori respectiv planșee exterioare inferioare și vată minerală de sticlă la nivelul planșeului sub pod. Pentru asigurarea utilităților necesare clădirii principale, spațiile tehnice au fost dispuse într-o clădire independentă învecinată. Utilitățile asigurate pentru clădire cuprind: instalații termice pentru încălzire și răcire, ventilație mecanică cu recuperare de căldură, apă rece și caldă menajeră, iluminat și alimentare electrică dotări.



Figura 1 – Vedere de ansamblu a clădirii

3.2. Conceptul de proiectare

În etapa de proiectare s-a dispus implementarea principiilor configurării și detalierii standardelor de casă pasivă respectiv de clădire cu consum de energie aproape egal cu zero. Pentru a facilita verificarea comportării energetice s-a proiectat și implementat un sistem de monitorizare a parametrilor care definesc bilanțul energetic și confortul interior.

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

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

Închiderea perimetrală nestructurală a clădirii s-a realizat din zidărie de BCA iar termoizolarea acestor elemente s-a realizat cu vată minerală bazaltică rigidă de 150 mm grosime și care este dispusă astfel încât să se asigure continuitatea acesteia. La nivelul plăcii pe sol s-a dispus un strat de termoizolare din polistiren extrudat de 200 mm grosime. Prin proiectarea unui strat de termoizolare din polistiren expandat de 120 mm grosime pe înălțimea de 0,80 m la partea exterioară a fundațiilor perimetrare se obține atât scăderea pierderilor de căldură cât și limitarea punții termice de sub grinzile de soclu perimetrare. Planșeul spre pod este alcătuit dintr-o placă de beton armat de 130 mm grosime și un strat de termoizolare de 250 mm din vată minerală bazaltică semirigidă. Termoizolarea planșeului inferior s-a realizat cu vată minerală bazaltică de 250 mm grosime astfel încât să se asigure continuitate și în jurul grinzilor structurale care reprezintă proeminențe geometrice ale plăcii de beton armat.

Fracțiunea predominantă a tâmplărilor utilizate s-au realizat din profile PVC marca Salamander bluEvolution92. Montajul tâmplăriei s-a realizat la exteriorul grosimii peretelui de închidere utilizând bride metalice și cu bandă de etanșare de 100 mm lățime, atât pe interior cât

și pe exterior. Vitrajele utilizate la tâmplăriile din profile PVC sunt de 52 mm grosime cu trei foi de sticlă (LE4/20Ar/4FI/20Ar/LE4).

Agentul termic pentru încălzire, răcire și apă caldă menajeră este realizat cu ajutorul a două sisteme de pompe de căldură reversibile integrate marca Dimplex SI 75TER+. Cele două pompe de căldură au fiecare câte o putere instalată de 75 kW și sunt de tipuri diferite: apă-apă (2 foraje de extracție și 2 foraje de injecție la 110 m adâncime) și sol-apă (10 foraje verticale de 110 m adâncime). Prepararea apei calde menajere se realizează prin intermediul unui schimbător de căldură cu acumulare marca Elbi BF-2-3000 având volumul de 3000 L termoizolat cu spumă poliuretanică de 50 mm grosime. Corpurile de distribuție a agentului termic în încăperi sunt de tipul: ventiloconvectoare carcasate de pardoseală montate vertical, necarcasate de tavan marca și radiatoare de oțel pentru grupurile sanitare ale unității de cazare. Temperatura de lucru a tuturor corpurilor interioare este de 45/35°C pentru încălzire și de 10/15°C pentru răcire.



Figura 2 – Pompe de căldură și distribuitor foraje

Asigurarea aerului proaspăt a clădirii se face cu ajutorul unor sisteme de ventilare mecanizată cu recuperare de căldură. Astfel, clădirea este dotată în total cu șase sisteme independente și anume: bibliotecă, sală de mese, bucătărie precum și câte unul pentru fiecare etaj. CTA-urile utilizate au capacitatea debitului de aer vehiculat de 1000 m³/h în cazul bibliotecii și 4000 m³/h în cazul celorlalte. Randamentul de recuperare de căldură a acestora este de 68%. Automatizarea funcționării instalațiilor de ventilare sunt în funcție de nivelul de CO₂ detectat de senzori pe coloane principale de aspirație, înainte de intrarea în CTA.

Înainte de elaborarea proiectului tehnic, s-a întocmit un studiu preliminar comparativ al costurilor globale ale clădirii în două variante constructive: tradițional și eficient energetic. Pentru evaluarea costurilor globale s-au luat în considerare costurile inițiale de implementare și costurile de utilizare. Studiul comparativ a fost realizat cu datele financiare ale anului 2014 în care valoarea TVA a fost de 24% și s-au luat în considerare o rată de actualizare de 2%, o rată de devalorizare de 3% și un curs RON/EUR de 4,45. Rezultatele evaluării costului inițial al clădirii în variantă eficientă energetic este de 565 EURO + TVA / m² iar pentru varianta tradițională este de 510 EURO + TVA / m². Diferența de cost dintre cele două variante este de doar 10%. Costurile de întreținere sunt alcătuite din contravaloarea consumurilor de energie pentru instalațiile termice, apă caldă menajeră, ventilare mecanică și iluminat. În cazul clădirii tradiționale s-a considerat un consum specific total de 250 kWh/m²/an iar pentru clădirea eficientă energetic s-a considerat de 45 kWh/m²/an. Prețurile energiei luate în calcul sunt cele aferente valorilor medii naționale pentru a doua jumătate a anului 2014 și astfel pentru energia electrică este de 0,453 RON + TVA / kWh iar pentru gazele naturale este de 0,112 RON + TVA / kWh. Diferența costurilor inițiale mai mari de aproximativ 10% ale clădirii eficiente energetic, determinate prin evaluarea preliminară a celor două variante constructive, sunt amortizate într-un interval de 8 ani prin costurile semnificativ mai reduse ale consumului de energie.

4. Evaluarea performanței energetice a clădirii

4.1. Consum de energie încălzire

Consumul specific total de energie electrică a sistemului de încălzire a clădirii de 17,85 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A respectiv depășește cu puțin limita maximă admisă conform Standardului de Casă Pasivă de 15 kWh/m²an. Consumul de energie primară a sistemului de încălzire, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$), este de 46,77 kWh/m²an și se încadrează în limitele maxime admise pentru clădiri de învățământ conform metodologiei naționale (123 kWh/m²an) respectiv se încadrează în clasa energetică A+ conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (61 kWh/m²an).

4.2. Consum de energie apă caldă

Consumul specific total de energie electrică a apei calde menajere a clădirii de 13,12 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A. Consumul de energie primară a sistemului de apă caldă menajeră, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$), este de 34,37 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică G conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (19 kWh/m²an). Motivul încadrării într-o clasă energetică defavorabilă, conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul, se datorează faptului că încadrarea consumurilor de apă caldă menajeră în clase energetice a clădirilor de învățământ ia în considerare tipuri de clădiri care, în mod uzual, nu conțin unități de cazare și bucătărie pentru servirea mesei.

4.3. Consum de energie răcire

Consumul specific total de energie electrică al instalației de răcire a clădirii de 4,35 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A. Consumul de energie primară al sistemului de răcire, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$), este de 11,40 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică B conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (9...13 kWh/m²an).

4.4. Consum de energie ventilare mecanică

Consumul specific total de energie electrică a ventilației mecanice a clădirii de 9,07 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică C. Încadrarea într-o clasă energetică inferioară a instalației de ventilare nu reprezintă un deficit atâta timp cât consumurile de energie totale ale clădirii nu depășesc valorile maxime admise pentru încadrarea în clasa energetică A (150 kWh/m²an). Consumul de energie primară a sistemului de ventilare mecanică, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$), este de 23,76 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică C conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (20...29 kWh/m²an).

4.5. Consum de energie iluminat

Consumul specific total de energie electrică a iluminatului interior a clădirii de 3,61 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A. Consumul de energie primară a sistemului de iluminat, determinat prin înmulțirea cu factorul de conversie a energiei electrice în energie primară ($f_p = 2,62$), este de 9,45 kWh/m²an și se încadrează în clasa energetică A+ conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (10 kWh/m²an).

4.6. Consum de energie total

Consumul specific de energie electrică a clădirii de 48,02 kWh/m²an se încadrează în clasa energetică A. Frațiunea predominantă a consumurilor clădirii este reprezentată de sistemul de încălzire (37%) și consumul de energie pentru asigurarea apei calde menajere (27%). Consumurile lunare totale cele mai mari sunt din Decembrie și Ianuarie necesarul de energie pentru încălzire. Lunile Iulie și August au consumurile cele mai scăzute din cauza vacanței de vară a anului școlar, în care spațiile de învățământ nu sunt utilizate. În aceste două luni doar etajul 3 (unitatea de cazare) al clădirii este utilizată.

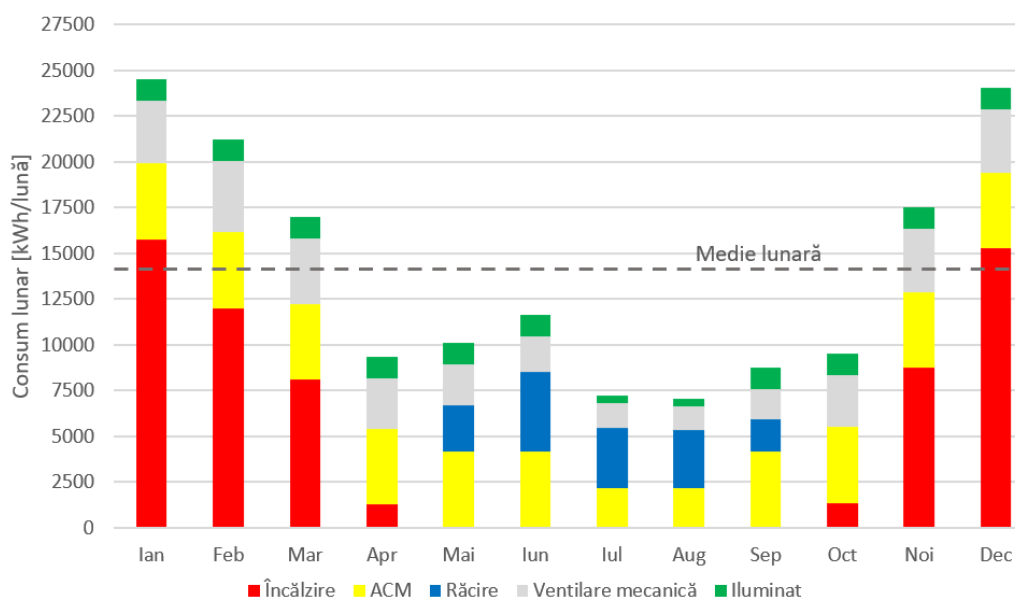


Figura 3 – Consumuri lunare de energie electrică totală

4.7. Energie primară și emisii CO₂

Consumul rezultat de energie primară totală specifică de 125,81 kWh/m²an depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ conform cerinței de Casă Pasivă de tip Classic Standard de 120 kWh/m²an, respectiv se încadrează în clasa energetică A conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (90...127 kWh/m²an). În cazul noilor încadrări ale Caselor Passive, necesarul de energie primară regenerabilă de 81,63 kWh/m²an depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ tipice, conform cerinței de Casă Pasivă de tip PHI Low Energy Building de 75 kWh/m²an. Consumul de energie primară depășește cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ în zona climatică II, pentru încadrarea în condițiile clădirilor cu consum de energie aproape zero (nZEB), conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (115 kWh/m²an).

Emisiile de CO₂ rezultate de 37,62 kg CO₂/m²an depășesc cu puțin limita maximă admisă pentru clădiri de învățământ și zonă climatică II, pentru încadrarea în condițiile clădirilor cu consum de energie aproape zero, conform propunerii de modificare a metodologiei de calcul (30 kg CO₂/m²an).

Consumul de energie primară și emisiile de CO₂ ale clădirii de învățământ proiectată și executată în varianta constructivă eficientă energetic sunt mai reduse decât ale clădirilor nerezidențiale noi sau existente de referință, care sunt realizate cu alte soluții tehnice tradiționale. Pentru o clădire de dimensiunea clădirii analizate, cantitatea de emisii de CO₂ evitată prin aplicarea soluțiilor tehnice utilizate la clădirea de învățământ, în comparație cu rezultatele clădirilor de referință, variază între valorile 231 tone CO₂/an respectiv 274 tone CO₂/an.

5. Sistemul de monitorizare

5.1. Conceptul de monitorizare

Scopul principal al implementării unui sistem de monitorizare este colectarea de date în timp real privind parametrii care definesc performanța energetică și confortul interior al clădiri. Sistemul include o rețea de instrumente și senzori de măsurare care sunt conectați la stații de achiziție de date. Infrastructura de monitorizare instalată în clădire transmite informațiile colectate unui server dedicat cu ajutorul unui sistem de comunicare al clădirii prin Wi-Fi.

Sistemul de monitorizare este alcătuit din: senzori de temperatură tip termometru digital marca DS18B20 și NTC 20k, contoare de debit analoage cu ieșire de impuls, contoare de energie electrică monofazice digitale și contoare de gaz. Conectarea senzorilor s-a realizat cu cablu JB-

Y(St)Y de 2x2x0,8 mm iar traseul până la unitățile de stocare s-a tratat specific unei instalații electrice de curenți slabi, utilizând doze și cleme de legături.

Pentru colectarea datelor sunt prevăzute trei unități data-logger din care două sunt amplasate la parterul clădirii principale și una este în centrala termică. Citirile senzorilor sunt setate să fie înregistrate la fiecare 30 minute. În total, sistemul de monitorizare este alcătuit din peste 660 de senzori și contoare de măsurare instalate, 94 doze de legătură și 5 km de cablu.

5.2. Monitorizare parametrii la elementele de anvelopă

Strategia de monitorizare implică instalarea unor poziții de măsurare în toate elementele de anvelopă opacă astfel încât să poată oferi detalii în timp real a comportării la transfer termic ale acestora. Fiecare element de anvelopă este prevăzut cu poziții de măsurare ale sistemului de monitorizare pentru determinarea distribuției temperaturii pe grosimea acestora, în punctele relevante ale acestora. Toate zonele cu soluții constructive prevăzute pentru diminuarea punților termice sunt prevăzute cu poziții de măsurare a sistemului de monitorizare pentru verificarea respectării ipotezelor de calcul. Amplasarea senzorilor sub cota terenului sistematizat urmărește monitorizarea temperaturilor terenului natural atât sub amprenta clădirii cât și în afara acesteia respectiv efectul termoizolației verticale montate pe perimetrul exterior al fundațiilor continue.

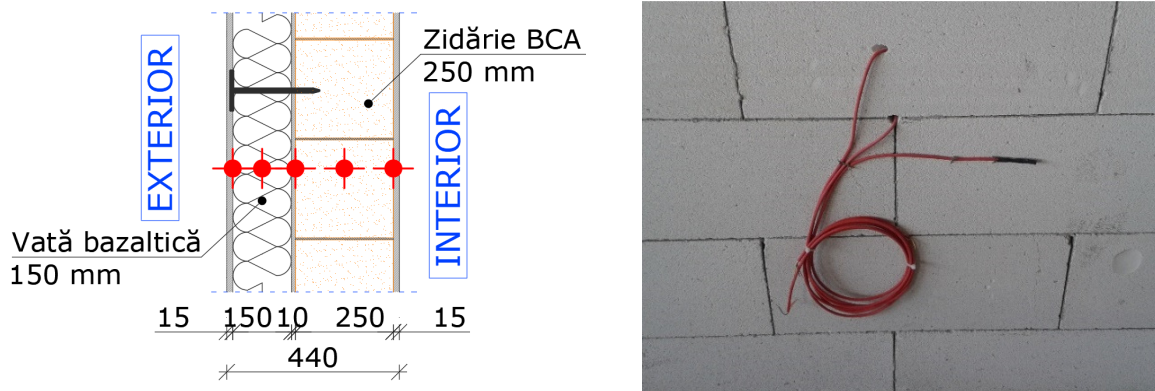


Figura 4 – Senzori de temperatură perete exterior

5.3. Monitorizare parametrii de funcționare a instalațiilor

Componentele de monitorizare a infrastructurii au fost stabilite în așa fel încât să ofere o imagine de ansamblu dar și de detaliu a parametrilor acestora. Elementele care alcătuiesc traseul complet al sistemului vizat sunt cele care determină consumurile energetice principale: centrala termică, sursa de agent termic, instalațiile termice interioare și instalațiile de ventilare. Sistemul de măsurare la nivelul centralei termice includ senzori de temperatură și contoare de debit analog cu ieșire de impuls pe tur. Senzorii de temperatură utilizați sunt preponderent de tipul termometrelor digitale DS18B20, cu excepția celor montați pe adâncimea forajelor verticale care sunt de tipul NTC 20k.

Monitorizarea parametrilor care definesc performanța instalațiilor de ventilare implică măsurarea temperaturilor în punctele relevante ale întregului traseu a aerului din exterior până în încăperile destinate a fi ventilate. Montarea senzorilor de temperatură în interiorul tubulaturilor de ventilare s-a făcut cu ajutorul unor presetupe specifice sistemelor de etanșare a cablurilor electrice. Echiparea standard a CTA-ului include senzori de CO₂ care fac parte din sistemul de automatizare și reglare a funcționării acestuia în funcție de parametrii setați. Aceste instrumente de măsurare sunt integrate în sistemul de monitorizare prin înregistrarea automată a citirilor cu ajutorul opțiunii de manevrare de la distanță a interfeței de setare a aparatului.

5.4. Monitorizare parametrii climatici interiori

Condițiile climatice interioare reale sunt necesare pentru completarea datelor de monitorizare în scopul verificării conformării clădirii utilizate cu ipotezele de calcul din etapa de proiectare. Parametrii climatici interiori prevăzuți în sistemul de monitorizare cuprind în mod curent temperatură, umiditate și dioxid de carbon (CO₂). Strategia de monitorizare a acestei categorii de parametrii implică dispunerea unor pachete formate din câte un senzor de temperatură,

umiditate și CO₂ în multiple zone ale clădirii. Alegerea zonelor de instalare s-a făcut astfel încât să se poată monitoriza parametrii aferenți fiecărei funcțiuni datorită condițiilor diferite de utilizare.

5.5. Contorizarea consumurilor de energie

Consumurile energetice ale clădirii sunt monitorizate și contorizate în timp real cu ajutorul a șapte contoare de energie electrică dar și a două contoare de consum de gaz natural. Strategia de contorizare prevede dispunerea unor contoare monofazice digitale pentru măsurarea tuturor consumurilor de energie electrică ale fiecărui nivel dar și a consumurilor tehnologice ale bucătăriei și respectiv ale centralei termice. Contorizarea consumurilor lunare de energie electrică și de gaze naturale luate în calcul sunt pe o durată de doi ani, în perioada martie 2018 și februarie 2020.

Valorile totale contorizate ale consumului specific de energie a clădirii, inclusiv dotările tehnologice este de 29,75 kWh/m²/an. În perioada contorizată, condițiile reale de utilizare a clădirii includ și un grad de ocupare scăzut al internatului de la nivelul etajului 3. Luând în calcul valorile contorizate fără dotările tehnologice, valoarea consumului specific de energie a clădirii, este de 23,81 kWh/m²/an. Valoarea consumurilor specifice de energie finală calculate în baza metodologiei de calcul (48,02 kWh/m²/an) sunt de două ori mai mari decât valoarea contorizată a clădirii (23,81 kWh/m²/an).

În cazul sezonului de încălzire, diferențele dintre temperaturile exterioare în perioada contorizată și valorile medii lunare luate în calcul, respectiv utilizarea reală a clădirii în alt regim de ocupare și încălzire decât cel din ipotezele de calcul, sunt principalele cauze ale magnitudinii diferenței dintre valorile contorizate respectiv calculate. O fracțiune din diferențele lunare sunt datorate utilizării cu un grad de ocupare scăzut al etajului 3, care conform calculelor, reprezintă o componentă importantă a consumurilor totale de energie.

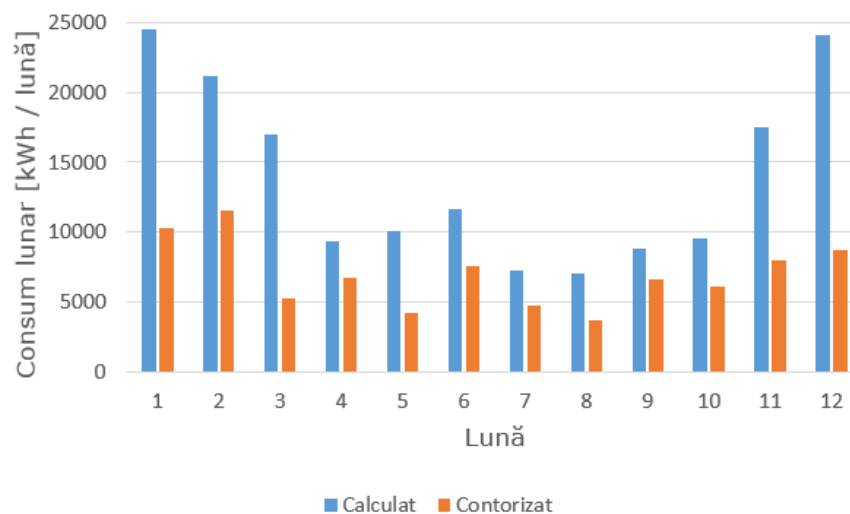


Figura 5 – Comparare valori calculate și contorizate ale consumurilor lunare de energie electrică

5.6. Termografiere

S-a urmărit verificarea calitativă suplimentară a lucrărilor de execuție a componentelor anvelopei termice dar și a comportării energetice a acestora, prin termografiere [12]. Procedura de verificare s-a realizat în data de 16.01.2018 utilizând un termograf Flir InfraCam B.

Diferențele de temperatură de pe suprafețele exterioare de 8-9°C dintre clădirea vecină existentă și clădirea analizată denotă diferența calitativă majoră dintre acestea, în favoarea clădirii eficiente energetic. De asemenea, valorile temperaturilor suprafețelor exterioare a clădirii de învățământ care sunt apropiate de condițiile mediului exterior dovedesc funcționarea termică corespunzătoare a anvelopei.

În imaginile termice de detaliu realizate din exterior și interior s-au identificat preponderent punți termice care se află pe perimetrul montajului tâmplăriei în peretele de zidărie datorate

soluțiilor constructive alese dar și deficiențelor locale în rezolvarea detaliilor de montare a benzilor de etanșare. Temperaturile pe suprafețele interioare ale zonelor cu deficiențe sunt mai scăzute decât în dreptul elementelor de anvelopă care sunt realizate corespunzător, iar efectul local se manifestă printr-un flux termic pronunțat și diminuarea confortului interior.

5.7. Blower-door test

Verificarea etanșeității clădirii dar și a calității montajului tâmplăriei s-a efectuat prin efectuarea unui Blower-Door-Test [13]. Testul urmărește determinarea cantitativă și calitativă a etanșeității anvelopei termice printr-o măsurătoare de presiune diferențială și determină numărul de schimburi de aer pe oră (n_{50}) la o diferență de presiune de 50 Pa. Testul s-a realizat cu un set de echipamente formate din: ventilator Blower-Door de capacitate 8000 m³/h, anemometru termic compact cu sondă de debit și un generator de fum. În urma efectuării testului, rezultatele au fost $n_{50} = 0,4760 \text{ h}^{-1}$ și $n_{-50} = 0,4935 \text{ h}^{-1}$, valori care se încadrează în limitele $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$. Îndeplinirea condiției de etanșitate s-a datorat utilizării și montării corespunzătoare a benzilor de etanșare la tâmplăria exterioară, închiderii etanșe a cercevelor pe tocul tâmplăriilor prevăzute cu ochiuri mobile respectiv limitării perforațiilor anvelopei termice de către componentele instalațiilor clădirii.

5.8. Controlul calității

Pentru a asigura implementarea proiectului conform conceptului și detaliilor proiectate în scopul obținerii unei clădiri eficiente energetic, dar în aceeași măsură și a unei clădiri cu standarde de calitate ridicate în toate componentele acesteia, echipa de proiectare și management a întreprins urmărirea lucrărilor și consultarea tuturor factorilor implicați. După recepția la terminarea lucrărilor, s-a efectuat instructajul personalului administrativ de întreținere a clădirii, pentru buna înțelegere a funcționării sistemelor, dar și pentru adaptarea parametrilor acestora în funcție de diverse scenarii de utilizare a clădirii. În ceea ce privește utilizarea clădirii, s-a întocmit un regulament de ordine internă în care sunt stabilite măsuri necesare a fi respectate pentru funcționarea în parametrii normali a clădirii.

5.9. Măsurători

Prin măsurarea temperaturilor în timp real se urmărește modelarea numerică a fluxul termic aferent citirilor, calibrarea modelului numeric de calcul și determinarea pierderilor de energie reale. Unul dintre scopurile principale ale implementării sistemului de monitorizare este să ofere date prin care să se poată fi generate modele calibrate pe baza consumurilor reale. Până în prezent, procesarea datelor s-a realizat doar parțial din perioada execuției datorită volumului foarte mare de date. Valorile temperaturilor înregistrate demonstrează că detaliile propuse pentru izolarea termică sunt corespunzătoare.

6. Evaluarea ciclului de viață

Impactul asupra mediului a clădirii de învățământ analizate s-a evaluat prin alegerea determinării emisiilor de CO₂ pe durata ciclului de viață, în etapa de execuție și de utilizare [14]. Ciclul de viață definit pentru clădirea analizată este alcătuit din producția și punerea în operă a cantităților reale de materialelor pentru construirea clădirii și consumurile de energie calculate pe durata a 50 ani de utilizare.

6.1. Date de intrare

Pentru a determina efectele soluțiilor tehnice de eficiență energetică la clădirile de învățământ, construcția analizată este comparată cu două tipuri de clădiri de referință. Clădirile de referință diferă de clădirea analizată, în principal, prin utilizarea centralelor în condensatie pe gaze naturale în detrimentul pompelor de căldură și prin performanțele termice ale elementelor de anvelopă, care sunt egale cu valorile minime cerute de metodologia de calcul națională.

6.2. Amprenta de carbon a etapei de execuție

Procese luate în calcul pentru determinarea impactului etapei de execuție cuprind materialele structurale, de compartimentare și închidere, de finisaje dar și transportul acestora pe șantier

[15]. Componentele instalațiilor nu sunt luate în considerare. Determinarea amprentei celor trei tipuri de clădiri s-a determinat utilizând programul de calcul dezvoltat de Environment Agency UK [16], respectiv bazele de date al amprentelor de carbon ale materialelor de construcție al Universității din Bath și al British Cement Association. Amprenta de carbon a clădirii analizate este mai mare cu 4% decât a celorlalte două tipuri de clădiri de referință. Diferențele sunt datorate de cantitățile mai mari de termoizolare și de sticlă ale clădirii analizate.

6.3. Evoluția consumurilor de energie finală și primară

Consumurile de energie finală ale celor trei tipuri de clădiri analizate s-a determinat în baza unor scenarii de înlocuire a componentelor principale ale instalațiilor. Principiul de calcul implică raportarea procentuală a intervențiilor la consumurile specifice din primul an de utilizare. În baza scenariului de înlocuire cu componente de performanță tehnică superioară și a efectelor creșterii temperaturilor medii anuale, consumurile de energie finală a celor trei variante de clădiri sunt descendente în timp.

Evoluția în timp a consumurilor de energie primară este determinată prin considerarea consumurilor de energie finală determinate anterior și factori variabili de conversie în energie primară a energiei electrice ($f_{p,el}$) și a gazelor naturale ($f_{p,gaz}$). Variația în timp a $f_{p,el}$ are la bază rezultatul studiului realizat de Institutul Fraunhofer în 2016. Scăderea procentuală anuală a valorii $f_{p,el}$ luată în calcul s-a determinat prin media diferențelor anuale ale celor patru metode de calcul, între anii 2020 și 2030. Variația în timp a $f_{p,gaz}$ s-a determinat prin creșterea anuală cu 0,25%. În baza scenariului de evoluție a $f_{p,el}$ și $f_{p,gaz}$, consumurile de energie primară ale celor trei variante de clădiri sunt descendente în perioada considerată.

La sfârșitul perioadei analizate, diferența de consum de energie primară între clădirea analizată și clădirile de referință este de 186 kWh/m²an, respectiv 277%. Din punct de vedere ale consumurilor globale, după 50 de ani de utilizare, economia de energie primară a clădirii analizate față de clădirile de referință este de 33,4 GWh.

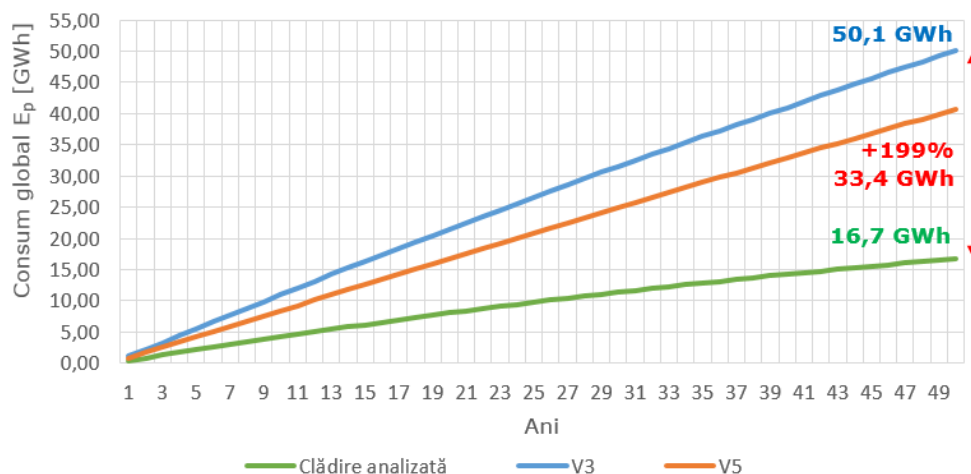


Figura 6 – Consumuri globale de energie primară

6.4. Evoluția emisiilor de CO₂

Pentru determinarea evoluției de emisii specifice de CO₂, factorii de emisie pentru energie electrică ($f_{CO_2,el} = 0,299$) și gaze naturale ($f_{CO_2,gaz} = 0,205$) sunt luați în calcul în conformitate cu valorile furnizate de metodologia națională de calcul. La sfârșitul perioadei analizate, diferența de emisii de CO₂ între clădirea analizată și clădirile de referință este de 38,3 kg CO₂/m²an. Din punct de vedere ale emisiilor globale de CO₂, în urma a 50 de ani de utilizare, cantitatea de emisie evitată a clădirii analizate față de clădirile de referință este de 6966 tone CO₂.

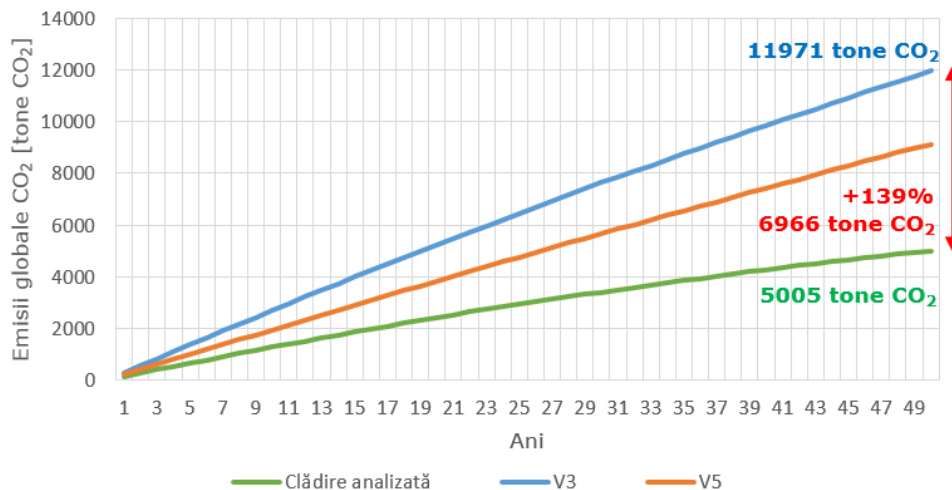


Figura 7 – Emisii globale de CO₂

6.5. Costul global

Determinarea costurilor globale ale celor trei tipuri de clădiri urmărește să analizeze fezabilitatea financiară a soluțiilor tehnice de eficiență energetică, pe durata a 50 ani de utilizare. Componentele costului global care s-au luat în calcul cuprind:

- Costurile inițiale de investiție
- Costurile anuale de întreținere (contravaloarea consumurilor de energie finală pentru încălzire, ACM, răcire, ventilare mecanică și iluminat)
- Costurile anuale de mentenanță
- Costurile anuale de înlocuiri

Prețul brut al clădirii analizate luat în calcul este în conformitate cu cel real, în baza căruia s-a pus în operă. Evoluția prețului unitar al energiei electrice are la bază creșterea medie anuală în România de 0,85% [5]. Evoluția prețului unitar al gazelor naturale are la bază creșterea medie anuală în statele membre UE și estimarea Băncii Mondiale [6] privind creșterea prețului unitar în Europa între anii 2020 – 2030, de 2%. Prețurile unitare brute ale energiei electrice (0,6494 RON/kWh) și gaze naturale (0,1610 RON/kWh) considerate în calcul sunt cele din datele statistice Eurostat [5] pentru a doua jumătate a anului 2019.

La sfârșitul perioadei analizate de 50 de ani, diferența costului global între clădirea analizată și clădirile analizate este de 1363 mii €, respectiv 27%. Perioada de amortizare a investițiilor suplimentare de 10% pentru implementarea soluțiilor tehnice de eficiență energetică ale clădirii analizate este de 11 ani.

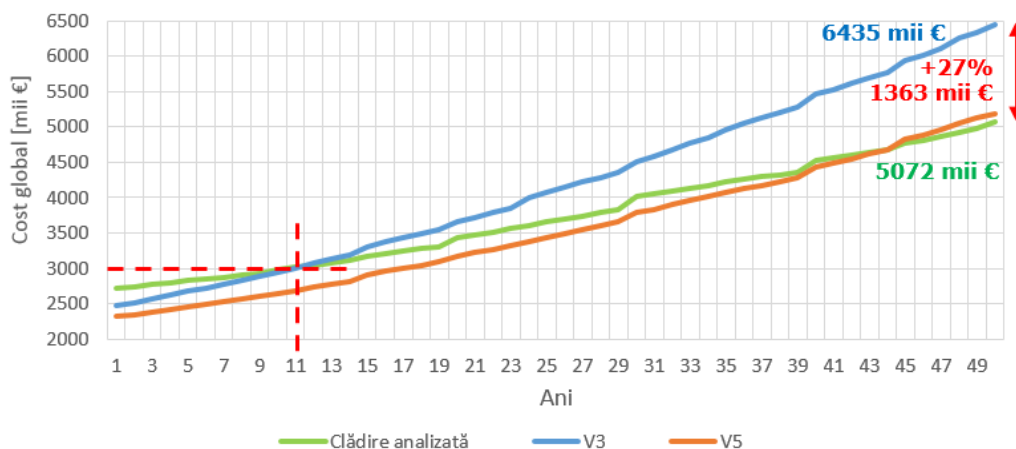


Figura 8 – Evoluția costului global

7. Concluzii

7.1. Concluziile cercetării

Concluziile principale a activității de cercetare și interpretarea rezultatelor sunt:

- Evoluția cercetării și studiilor în domeniul eficienței energetice a clădirilor a arătat că îmbunătățirea performanțelor energetice a acestora poate să reprezinte un instrument corespunzător pentru îndeplinirea obiectivelor strategice de reducere a impactului asupra mediului până în anul 2050.
- Factorul de transformare a energiei electrice în energie primară reprezintă un parametru esențial în contextul energetic global.
- Raportul dintre prețul unitar al energiei electrice și al gazelor naturale reprezintă un factor decizional în alegerea sursei de energie a clădirilor. În primul semestru al anului 2020, raportul era de 2,83 în cazul mediei statelor membre UE și de 4,39 în cazul României.
- Propunerea de modificare a metodologiei de calcul națională aduce îmbunătățiri din punctul de vedere al procedurilor de calcul, al datelor puse la dispoziție, al transparenței și al cerințelor tehnice privind performanța energetică a clădirilor. Se propune crearea unor metode simplificate de încadrare în clase energetice a consumurilor clădirilor și de elaborare a certificatelor energetice.
- Performanțele energetice și confortul interior al clădirilor care respectă principiile și cerințele tehnice de Casă Pasivă și nZEB, sunt semnificativ mai bune decât ale clădirilor realizate utilizând soluții clasice și tradiționale.
- Sistemele de monitorizare a performanței și a consumurilor energetice ale clădirilor pot să reprezinte un instrument potrivit pentru calibrarea modelelor numerice de calcul.
- Metoda evaluării ciclului de viață poate fi utilizată pentru compararea clădirilor realizate cu diferite soluții tehnice, dar și pentru a oferi asistență factorilor decizionali privind performanțele clădirilor pe termen lung.
- Consumul total de energie finală al clădirii, calculat în baza metodologiei de calcul națională, este de 48,02 kWh/m²an, din care 17,86 kWh/m²an pentru încălzire, 13,13 kWh/m²an pentru prepararea apei calde menajere, 4,35 kWh/m²an pentru răcire, 9,07 kWh/m²an pentru ventilare mecanică, 3,61 kWh/m²an pentru iluminat.
- Consumul total de energie primară al clădirii, calculat în baza metodologiei de calcul națională, este de 125,81 kWh/m²an. Diferențele reduse dintre performanța energetică a clădirii și cerințele tehnice de încadrare prezentate se pot elimina prin dotarea acesteia cu o instalație locală de producere a energiei electrice cu panouri fotovoltaice.
- Diferențele între clădirea analizată și varianta clădirii realizată cu soluții tehnice tradiționale și surse energetice bazate de gaze naturale, sunt de +328% în cazul energiei finale, de +153% în cazul energiei primare și de +109% în cazul emisiilor de CO₂.
- Sistemul de monitorizare implementat reprezintă o sursă de date înregistrate în timp real, prin care comportarea energetică a clădirii se poate analiza în detaliu.
- Valoarea consumurilor specifice de energie finală calculate în baza metodologiei de calcul (48,02 kWh/m²an) sunt de două ori mai mari decât valoarea contorizată a clădirii (23,81 kWh/m²an). Diferențele dintre temperaturile exterioare în perioada contorizată și valorile medii lunare luate în calcul, respectiv utilizarea reală a clădirii în alt regim de ocupare și încălzire decât cel din ipotezele de calcul, sunt principalele cauze ale magnitudinii diferenței de consum de energie dintre valorile contorizate și cele calculate.
- Consultanța de specialitate, asistența tehnică și controlul calității pe întreaga durată a procesului de implementare, urmărirea comportării în timp și instruirea utilizatorilor au fost activități esențiale pentru obținerea performanței energetice proiectate.

- Impactul asupra mediului prin amprenta de carbon și emisiile de CO₂ ale clădirii analizate, pe durata a 50 ani de utilizare, sunt semnificativ mai reduse decât cele ale clădirilor realizate cu soluții tehnice tradiționale.
- La sfârșitul perioadei analizate de 50 de ani, diferența costului global între clădirea analizată și clădirea realizată cu soluții tehnice tradiționale și cu surse de gaze naturale (V3) este de 1363 mii €, respectiv 27%. Perioada de amortizare a investițiilor suplimentare de 10% pentru implementarea soluțiilor tehnice de eficiență energetică a clădirii analizate este de 11 ani.
- Realizarea și urmărirea în exploatare a clădirii de învățământ poate să reprezinte un exemplu de bune practici pentru implementarea investițiilor similare.

7.2. Contribuții personale

- Elaborare studiu preliminar pentru soluții constructive eficiente energetic
- Coordonator al echipei de proiectare, detalieri și dimensionare structură, stabilire soluții constructive inovative de eficiență energetică pentru anvelopă, manager de proiect, coordonator al echipei de asistență tehnică în etapa de execuție, instruire și consultare administrator clădire în etapa de utilizare.
- Analizarea și studiul unui număr considerabil de lucrări științifice, activități cercetare.
- Crearea unei infrastructuri de cercetare prin implementarea sistemului de monitorizare, unică prin complexitate.
- Organizare și concepere test de etanșeitate Blower-Door și termografiere.
- Calculul performanței energetice a clădirii prin metode complexe utilizând un volum de date ridicat și calibrarea acestuia cu caracteristicile materialelor și detaliilor executate.
- Procesarea, analiza și interpretarea consumurilor de energie înregistrate în etapa de utilizare. Compararea consumurilor reale de energie cu valorile teoretice calculate și justificarea diferențelor dintre cele două valori.
- Propunerea unor modificări ale metodologiei de calcul: îmbunătățirea metodei de evaluare a consumurilor de energie a clădirilor cu altă destinație decât cea de locuit și cu ocupare discontinuă în baza valorilor real măsurate, schimbarea strategiei de aplicare a metodologiei de calcul în funcție de categoria de importanță a clădirii respectiv în funcție de scopul realizării certificatului energetic.

7.3. Continuarea activității de cercetare

Se propune continuarea cercetării cu următoarele activități:

- Completarea sistemului de monitorizare cu elementele lipsă, respectiv procesarea, analizarea și interpretarea datelor monitorizate pe o perioadă de cel puțin 10 ani.
- Calibrarea modelului numeric de calcul cu citirile înregistrate și realizarea unui calcul de performanță energetică în regim dinamic.
- Dotarea clădirii cu o instalație de panouri fotovoltaice, cu automatizarea suplimentară a instalațiilor termice și ventilare, cu sisteme de umbrire exterioare și cu contoare suplimentare de consum de energie electrică.
- Monitorizarea comportamentului și stării de sănătate a utilizatorilor, respectiv a nivelului de CO₂ a încăperilor.
- Implementarea unor sisteme de monitorizare la alte clădiri cu regim de ocupare discontinuă respectiv în altă zonă climatică.
- Construirea unei baze de date de monitorizare, cu prelucrare, evaluare și interpretare automatizată, care să fie utilizat la calibrarea metodologiilor de calcul și la validarea soluțiile tehnice optime de eficiență energetică.

- [1] European Commission (EC), EU energy in figures, Statistical pocketbook 2018, doi: 10.2833/105297
- [2] Ministerul Lucrărilor Publice, Dezvoltării și Administrației (MLPDA), Strategiei Naționale de Renovare pe Termen Lung pentru sprijinirea renovării parcului național de clădiri rezidențiale și nerezidențiale, atât publice, cât și private, într-un parc imobiliar cu un nivel ridicat de eficiență energetică și decarbonat până în 2050, Proiectul de act normativ, Ianuarie 2020
- [3] Directiva 2018/844/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 30 mai 2018 de modificare a Directivei 2010/31/UE privind performanța energetică a clădirilor și a Directivei 2012/27/UE privind eficiența energetică
- [4] Mc 001/2006 – Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor
- [5] Eurostat – The statistical office of the European Union, Disponibil de la: <https://ec.europa.eu/eurostat>
- [6] The World Bank Group (WBG), World Bank Commodities Price Forecast, October 2019, Disponibil de la: <https://www.worldbank.org/>
- [7] The Passive House Institute (PHI), Disponibil de la: <https://www.passiv.de>
- [8] C107/2005 – Normativ privind calculul termotehnic al elementelor de construcție ale clădirilor
- [9] Metodologie de calcul al performanțelor energetice a clădirilor, indicativ MC 001/2006: Revizuire metodologie - Redactarea a II-a – faza a II-a, revizia 5 - septembrie 2019
- [10] Passive House Database, Disponibil de la: <https://www.passivehouse-database.org> (09.11.2020)
- [11] Intelligent Energy – Europe (IEE) - Monitoring and Control of Energy Consumption in Municipal Public Buildings over the Internet (ENERinTOWN), 2008, Disponibil de la: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enerintown>
- [12] MP 037/2004 – Metodologie privind determinările termografice în construcții
- [13] EN 13829 – European Standard EN 13829:2001, Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method, 2001
- [14] EN 15643-1:2010 – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework
- [15] EN 15978:2011 – Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method.
- [16] Environment Agency (EA) - United Kingdom government's Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Disponibil de la: <https://www.data.gov.uk/data/contracts-finder-archive/download/355422/39ef8800-9ca6-43b3-b893-5b6399cf7374>