

SOLUȚII SUSTENABILE DE REABILITARE ENERGETICĂ A CLĂDIRILOR DE LOCUIT

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

autor arh. Daniel Mihai Muntean

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Daniel Viorel Ungureanu

martie 2023

Sectorul construcțiilor a fost mereu centrul dezbaterilor și politicilor în domeniul energiei și al mediului. Nevoia de a reduce emisiile de gaze cu efect de seră, a atinge obiectivele până în 2050 [1] și de a îmbunătăți securitatea energetică a motivat un număr mare de studii privind eficiența energetică și impactul asupra mediului asociat cu acesta. Îmbunătățirea performanței energetice și de mediu necesită cercetare inovatoare, noi politici și reglementări standard, noi materiale și tehnologii, integrarea surselor de energie regenerabilă, o creștere a gradului de conștientizare și sensibilizare a oamenilor (proiectanți, practicieni și utilizatori finali). Funcționarea clădirilor s-a concentrat adesea pe literatura de specialitate din clădirile convenționale, iar această etapă domină cererea de energie și impactul asupra mediului. Clădirile au o durată de viață lungă, timp în care așteptările utilizatorilor finali trebuie îndeplinite, inclusiv cerințele privind confortul termic (TC) și calitatea mediului interior (IEQ). Pe măsură ce cercetările și politicile reușesc să reducă impactul funcționării clădirii, contribuția relativă a altor etape ale ciclului de viață a crescut și sunt necesare abordări integrate și holistice pentru a evita schimbarea problemelor. Reducerea impactului energetic asupra mediului asociat cu fondul construit este o sarcină provocatoare, care necesită o înțelegere cuprinzătoare a dinamicii și a principalelor factori ai cererii de energie și a impactului asupra mediului. În plus, sunt abordate câteva întrebări de actualitate pentru îmbunătățirea performanței energetice a clădirii: evaluarea ciclului de viață (LCA), planificarea urbană, clădiri cu energie aproape zero (NZEB) la scară districtuală, scenarii de rețea inteligentă, IEQ și TC, evaluarea acțiunilor de modernizare, generative. metode de proiectare a clădirilor și stocare termică cu materiale cu schimbare de fază (PCM)[2]. Acestea urmează două căi:

- utilizarea abordărilor integrate și holistice pentru a evalua și îmbunătăți performanța energetică și de mediu a clădirilor și
- dezvoltarea de noi soluții, tehnologii, materiale și metodologii dinamice

În prezent, o parte semnificativă a populației urbane din România locuiește în locuințe colective construite folosind panouri mari prefabricate din beton armat. Majoritatea acestor unități nu au atins încă jumătate din durata de viață prevăzută și au peste 30 de ani. În plus, materialele care au fost folosite cândva în special în ceea ce privește termoizolația sunt învechite sau s-au degradat în timp. Din cauza schimbărilor constante din societate, aceste clădiri în prezent nu reușesc să țină pasul cu nevoile și reglementările actuale, consumând în același timp cantități semnificative de energie în acest proces. Din acest motiv, este necesar să se elaboreze o strategie flexibilă și durabilă pentru a le face nu numai eficiente din punct de vedere energetic, ci și luând în considerare beneficiile sociale, economice și de mediu care să conducă la o reducere a emisiilor de GES și la îmbunătățirea calității vieții.

Capitolul doi evidențiază progresele actuale în performanța energetică și de mediu a clădirilor către un mediu construit mai durabil.

Numeroase studii se concentrează pe reducerea cererii operaționale generale de energie și pe proiectarea de noi clădiri cu consum redus de energie. Cu toate acestea, dacă energia operațională este scăzută, cerințele încorporate sunt crescute. Metodologia LCA calculează potențialele impacturi asupra mediului asociate cu un material și fluxurile de energie ale acestuia, prin faze secvențiale ale ciclului de viață ale unui proces (sau produs), de la „cradle to gate” sau „cradle to grave”. Este de obicei folosit într-un context industrial și are ca scop îmbunătățirea performanței de mediu a produselor. Cadrul LCA este definit de seria ISO14040 [3] [4] și include patru pași iterativi: definirea scopului și domeniului de aplicare, inventarul ciclului de licență, al ciclului de viață, al evaluării impactului și interpretarea rezultatelor. În ultimii 15 ani, LCA a fost utilizat în contextul construcțiilor și al clădirii pentru a aborda compromisurile între diferitele componente ale ciclului de viață al clădirii și ale diferitelor componente ale clădirii și pentru a ajuta la identificarea celor mai eficiente oportunități de reducere a impactului.

Clădirile sunt sisteme complexe. Ele încorporează mai multe materiale de construcție, procese, care provin din diferite industrii și producători. Deși sunt disponibile date extinse de inventar internațional pentru sistemele de producere a energiei și materialele de construcție (de exemplu, baza de date EcoInvent [5] [6]), materialele provenite din construcțiile locale au un rol semnificativ în clădiri. Materialele naturale (de exemplu, lemnul) au un impact mai mic decât altele (de exemplu, beton sau cărămidă), dar impactul lor concret depinde de întregul lanț de producție, care include creșterea lemnului, recoltarea lemnului și regenerarea pădurilor. Acestea variază de la un loc la altul și depășesc scara clădirii. Spre deosebire de produsele standardizate, o clădire este de obicei un produs unic.

Proiectarea, locația și caracteristicile urbane locale afectează, de asemenea, performanța de mediu a clădirilor, iar concentrarea numai asupra clădirii individuale ar putea neglija potențialele interacțiuni cu scara urbană, poate schimba impactul și trece cu vederea oportunitățile de îmbunătățire pentru o dezvoltare urbană mai durabilă [7] [8].

Conceptul NZEB [9] a fost studiat pe scară largă; cu toate acestea, s-a acordat o ușoară atenție grupurilor de clădiri în context urban. Abordările la scară de district urmăresc să culeagă studiul clădirilor și al caracteristicilor urbane care le pot influența performanța energetică. Este important să înțelegem mai bine interacțiunea dintre clădiri și contextul urban și să consolidăm beneficiile potențiale ale partajării resurselor și sistemelor energetice la această scară.

Controlul resurselor energetice într-un scenariu de rețea inteligentă în care existența unor tarife dinamice (variabile în amplitudine și pe parcursul zilei) este o realitate care se poate realiza într-un mod eficient prin utilizarea sistemelor de suport decizional, precum sistemele de management al energiei dotate cu algoritmi de optimizare adecvați [10]. Sistemele de energie existente sunt unul dintre principalele motive pentru efectele de seră sau de încălzire globală care duc la impacturi asupra mediului prin utilizarea combustibililor fosili, în special a cărbunelui. Spre deosebire de combustibilii fosili, energia regenerabilă (ER) oferă o sursă alternativă de energie care nu poluează, din perspectivă tehnologică [11]. Există o mare atenție asupra utilizării RE, în special a energiei solare și eoliene, în schimbul energiei electrice, fără a genera emisii de dioxid de carbon. Cu toate acestea, majoritatea rețelelor existente de transport și distribuție instalate sunt considerate sisteme „proaste” sau ineficiente, deoarece nu pot returna datele inteligente necesare pentru o funcționare modernă a rețelei. Rețelele inteligente reunesc centralele electrice masive centralizate și generatoarele de energie distribuite, permițând un flux de energie multidirecțional și un schimb de informații. Acest sistem de comunicare bidirecțională a energiei creează o rețea avansată de livrare a energiei, avansată și eficientă din punct de vedere energetic, spre deosebire de sistemele de energie tradiționale în care puterea circulă doar într-o singură direcție, adică de la generatoare la clienți prin relee de transport și

distribuție[11]

Comportamentele energetice reprezintă o resursă importantă subexploată în contextul promovării eficienței energetice la uzul final în sectorul rezidențial, iar potențialul de economisire a energiei poate fi la fel de semnificativ ca și cel din soluțiile tehnologice.

Pe măsură ce oamenii își petrec cea mai mare parte a timpului în interior, calitatea mediului interior este o problemă cheie în viața oamenilor. Pe lângă confortul uman în general, condițiile interioare precum cerințele de ventilație influențează puternic consumul de energie în clădiri. Se cere mai multă educație în materie de energie pentru a îmbunătăți performanța energetică și calitatea aerului din interiorul clădirilor[12].

Atunci când sunt cuplate cu un mecanism de evaluare a performanței, metodele de proiectare generativă pot contribui la îmbunătățirea proiectării clădirii prin producerea unui număr de soluții alternative care să fie comparate de către practicianul în construcții, prin integrarea diferitelor aspecte de proiectare care altfel ar fi evaluate individual și prin crearea unor soluții mari. seturi de date sintetice pentru a analiza comportamentul general al clădirilor în contexte specifice.

Metodologiile de asistare a luării deciziilor în evaluarea acțiunilor de reabilitare în funcție de aspecte de evaluare multiple, în general conflictuale, pot fi distinse în două abordări principale: în primul rând, abordări în care alternativele sunt cunoscute explicit a priori și în al doilea rând, modele în care alternativele sunt implicit definite în stabilirea unui model de optimizare. Trebuie efectuate mai multe cercetări pentru a generaliza utilizarea metodologiilor multi-obiective pentru evaluarea acțiunilor de modernizare a clădirilor[13] [14].

Sistemele active și pasive bazate pe PCM TES (materiale cu schimbare de faza sau masa termica) pot fi utilizate în clădiri pentru a îmbunătăți utilizarea surselor regenerabile și pentru a reduce cererea de energie pentru încălzire și răcire. Cu toate acestea, există încă o cale lungă pentru utilizarea generalizată a sistemelor bazate pe PCM în strategiile de proiectare și modernizare și trebuie efectuate mai multe cercetări în aceste domenii de cercetare[15].

Capitolul trei analizează fondul de locuințe colective existente în România în comparație cu exemple similare din spațiul european.

Unitățile de locuințe colective mari din panouri prefabricate din beton armat (LPRCP) reprezintă 1,8% din întregul stoc de clădiri. Conform Recensământului Național al Populației și Locuințelor din 2011, România avea aproximativ 19 milioane de locuitori. Mai mult de jumătate (52,8%) locuiesc în mediul urban, majoritatea în locuințe colective construite prin utilizarea LPRCP. Au fost construite în total 84000 de blocuri, având 2,5 milioane de apartamente. Majoritatea locuințelor urbane construite (aproximativ 71%) au fost de tip „multilocuință” și acoperă 66% din suprafața locuibilă. Au fost ridicate în total 57431 de unități LPRCP, majoritatea între 1965 și 1989, 41540 în total, fiind de înălțime mică[16] [17].

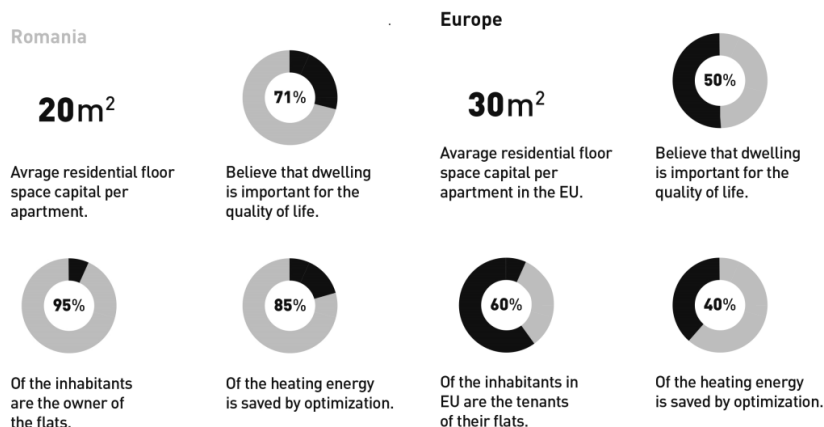
Aceste clădiri au fost construite datorită expansiunii puternice a industriilor din apropierea orașelor, rezultând o migrație masivă din zonele rurale din apropiere spre mediul urban, dublând populația urbană. În plus, numărul orașelor a crescut de la 187 la 237. Pentru a răspunde rapid cerințelor crescute ale pieței imobiliare, au trebuit să fie construite noi unități locative într-un timp scurt și într-un mod simplu pe șantier.



Acest fenomen, folosind panouri mari prefabricate, a fost o caracteristică comună a orașelor din Europa de Est în anii 1970 și 1980. Astfel de tehnologii au fost folosite și în țările din nordul Europei, dar spre deosebire de omologii lor din Europa de Est, acestea au reușit să-și îmbunătățească clădirile spre sustenabilitate[18].

În România, clădirile din prefabricate au folosit tipuri de proiecte standardizate, pentru o mai bună utilizare a terenului. Cel mai comun tip de proiect al acestor așa-numite „cutii de chibrituri” a fost cel T770.

Odată cu schimbarea constantă a stilului de viață cotidian, condițiile inițiale pe care le ofereau aceste unități locative au devenit departe de a fi adecvate, începând chiar de la sfârșitul anilor 1980. Dacă se compară aceste unități cu cea din vestul Europei, în România se asigură doar 20 m²/persoană de suprafață, în timp ce țările din Sud alocă 31 m²/persoană și 36 m²/persoană este asigurată în țările occidentale [19].



Capitolul patru se concentrează pe proiectare și construcție. Pentru a testa performanța diferitelor sisteme de anvelopa care ar putea fi utilizate pentru modernizarea blocurilor menționate mai sus a fost construit un laborator modular. Aceasta a fost susținută de un grant al Ministerului Cercetării și Inovării din România, CCCDI - UEFISCDI, numărul de proiect PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0391 / CIA_CLIM - Clădiri inteligente adaptabile la efectele schimbărilor climatice, în cadrul PNCDI III. cu două direcții principale de cercetare: (1) utilizare inteligentă a fațadei, cu transfer redus de căldură care contribuie activ la creșterea confortului interior, cu control pasiv al energiei pasive prin utilizarea energiei solare; (2) eficiență energetică inteligentă prin sisteme automate și colectoare de energie. Procesul de construcție a fost realizat în 4 etape.



Prima etapă a presupus simularea diferitelor configurații de fațade similare celor existente deja pe piață. Acesta a comparat opțiuni cu vată minerală și miez cu spuma poliuretanică, pentru care au fost efectuate analize de transfer termic, inclusiv schimbarea de fază, amplitudine de calcul a atenuării și raportul de amplitudine a temperaturii. Studiul a fost finalizat prin calcularea energiei de bilanț, pentru clădirea model, având în vedere opțiunea analizată.

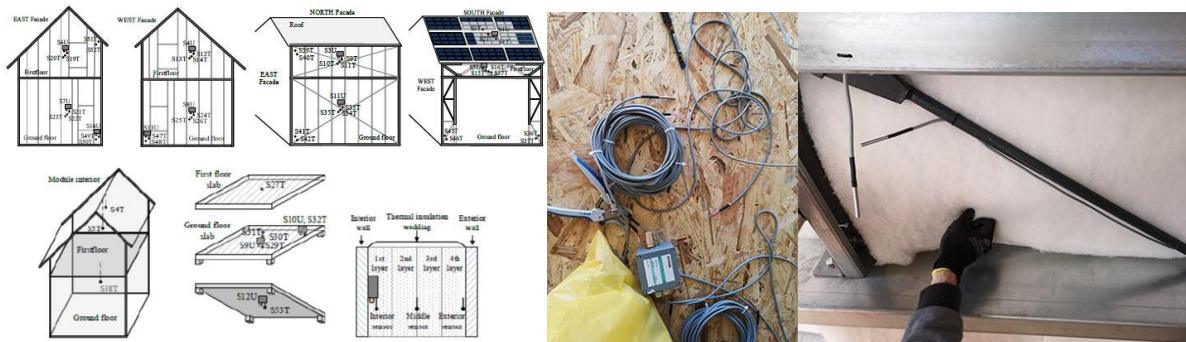
Facade System	Overall thermal resistance [m ² K/W]	Lowest net heating energy balance [kWh/a]	Heat storage capacity [kJ/ m ² K]	Thermal capacity of inner layers [kJ/ m ² K]	Phase shift [hours]	Amplitude attenuation	TAV
MW 1	5,943	3624,8	47	19,7	6,7	7,9	0,126
MW 2	6,193	3597	47	19,8	6,7	8,3	0,120
PIR 1	5,850	3723,2	46	21	6,8	8,2	0,122
PIR 2	6,001	3658,2	46	21	7,2	8,5	0,117

A doua etapă a proiectului s-a concentrat pe construcția modului de testare și pe experimentarea unor materiale de izolare alternative pentru sistemele de anvelopă ale clădirii. Recent, este luată în considerare perspectiva de mediu a produselor termoizolante, iar utilizarea materiilor prime secundare este din ce în ce mai mult în centrul atenției. Vata termoizolantă produsă cu fibre de poliester obținute din reciclarea sticlelor PET post-consum este un astfel de material de izolare dezvoltat în ultimul deceniu[20] [21]. Fabricarea fibrelor de poliester începe cu reciclarea sticlelor PET post-consum din colectarea diferențiată a deșeurilor. După spălare, tocate în fulgi, acestea sunt utilizate în producția de fibre. În continuare, straturile de materie primă pentru vată termoizolatoare se obțin prin ghidarea mecanică a fibrelor de poliester în aceeași direcție. În cele din urmă, vata termoizolatoare se obține prin suprapunere și lipire termică (cca. 180°C) a două sau mai multe straturi de vată de materie primă cu densitatea și grosimea dorită [22].

Material	Thickness [mm]	Net weight [kg/sqm]	U [W/m ² K]	Thermal resistance R [m ² K/W]
MW 100	100	9	0.4	2.5
PET 150	150	3.597	0.36	2.77

Performanță tehnică vata minerală vs PET

A treia fază sa concentrat pe monitorizarea datelor. Pentru monitorizarea caracteristicilor fațadelor în diferite condiții atmosferice, modulul a fost echipat cu 14 senzori de umiditate, 53 de senzori de temperatură și 3 senzori de monitorizare a concentrației de CO₂.



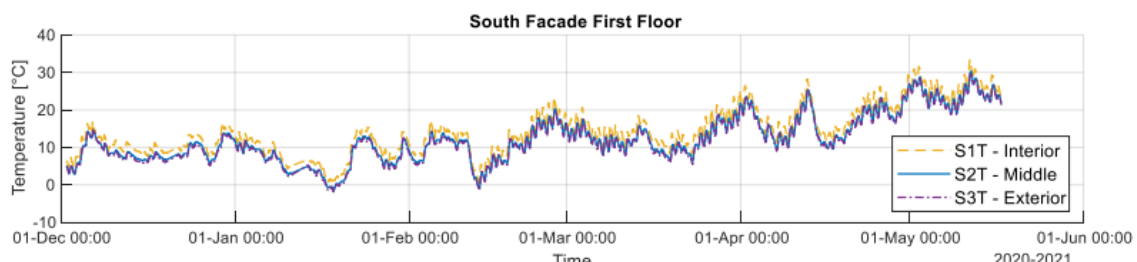
Amplasare senzori in elementele de anvelopa

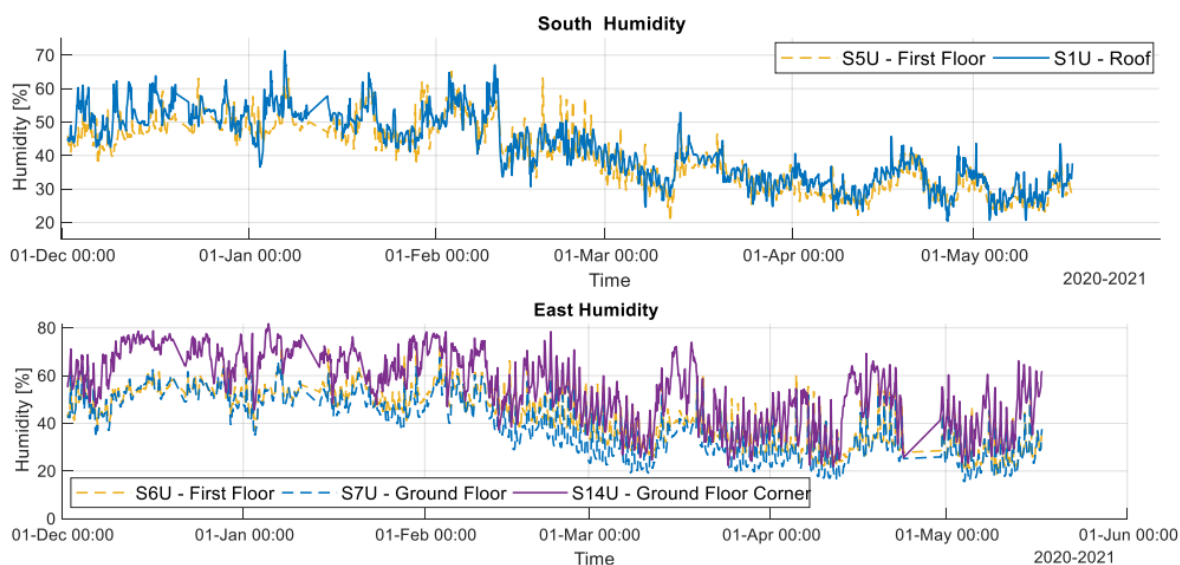
Faza finală a detaliat în continuare precedentul cu următoarele evenimente: În aceasta etapă, s-a realizat asamblarea turbinei eoliene și a structurii de susținere și a lamelor fotovoltaice în model. Monitorizarea datelor experimentale a fost continuată pentru a urmări variațiile date de senzorii de temperatură, umiditate și concentrație de CO₂. Producția de energie a fost monitorizată și datorită producției de panouri fotovoltaice pe acoperiș. Odată cuplate sistemele dintre turbina eoliană și paletele fotovoltaice a fost posibilă monitorizarea producției de energie dată de aceste sisteme.



Interfața de monitorizare SCADA

Înregistrările senzorilor arată comportamentul de anvelopă al modului experimental și condițiile de confort interior. La momentul înregistrărilor temperatura interioară era influențată doar de intrarea solară, dispozitivele electrice și interacțiunile umane în timpul interferențelor prin întreținere și observare, sistemele de reglare a confortului interior HVAC (încălzire-răcire, aer condiționat) nefiind conectate. A fost monitorizată și producția de energie. Datele înregistrate arată că există perioade de încărcare cu energie de până la 10kWh/zi, care compensează zilele înnorate sau cu ninsoare, în care energia este furnizată de baterii. In condițiile naturale de functionare ale modului, consumul este constant de aproximativ 2,6 kWh/zi.





Pentru a ilustra beneficiul de mediu al sistemului de termoizolație obținut din saltele de PET reciclat, în această fază a fost efectuată o analiză suplimentară de tip LCA, comparând rezultatele obținute cu rezultatele obținute pentru un sistem clasic de vată minerală. Rezultatele indică faptul că impactul total al sistemului de izolație PET_150 (438,09 kg CO₂eq) este mai mic decât impactul asupra mediului dat de MW_100 (864,86 kg CO₂eq) cu aproximativ 48%.

Capitolul cinci preia componentele anvelopei testate de la modulul de testare și le aplică la clădirea existentă T770. Sunt prezentate trei scenarii pentru modernizarea extinsă, luând în considerare dificultățile de implementare și costurile. Ca bază, peretii exteriori portanți sunt realizați din panouri prefabricate din beton armat, cu o grosime totală medie de 27 cm. Stratul de rezistență de 12,5 cm, precum și stratul de protecție de 5 cm, sunt realizate din beton armat B250 (C16/20), având un strat termoizolant de 7,5 cm din beton celular și granule EPS.

Comportarea termică a anvelopei clădirii (pentru întreaga clădire), existentă și nouă, este studiată utilizând platforma online de calcul Ubakus [23]. Platforma este ușor de utilizat și permite generarea de componente de construcție folosind fie materiale încorporate existente, fie crearea altora noi pentru utilizare ulterioară. Simulările energetice sunt efectuate cu opțiunea ArchiCAD Energy Evaluation[24], iau în considerare doar energia necesară pentru încălzire și răcire fără surse de consum suplimentare (de exemplu, aparate).

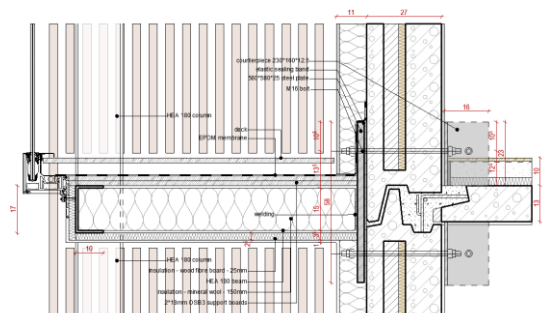
Primul scenariu și cel mai accesibil constă într-o modernizare a anvelopei existente a clădirii cu materiale de izolare noi și elemente de ferestre mai eficiente.

Envelope	Total net energy [kWh/m ² year]	Net Heating [kWh/m ² year]	Net Cooling [kWh/m ² year]	R [m ² K/W]
Existing panel	35.42	21.52	13.90	1.52
XPS 8 cm	30.51	19.72	10.79	3.64
Mineral wool 10cm	27.82	19.63	8.19	4.21
PET insulation 15cm	27.86	19.65	8.21	4.13

Performanța sistemelor de anvelopă

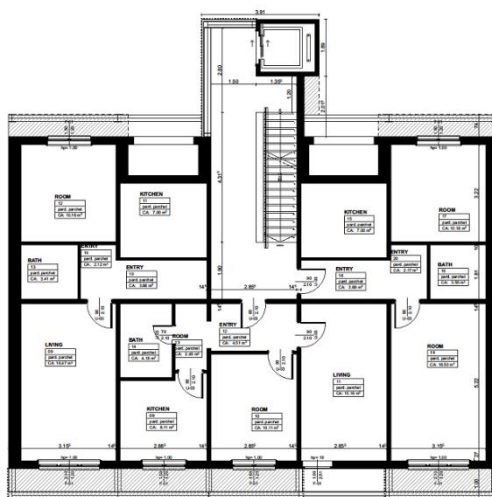
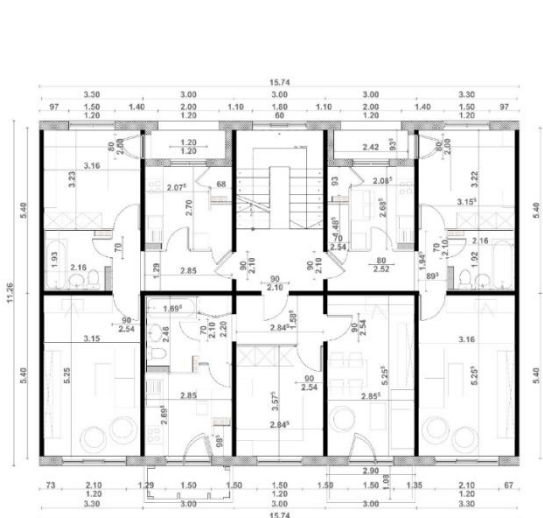
Pe lângă anvelopa nouă, a doua opțiune oferă o fațadă secundară a clădirii realizată din structură de oțel ușoară. Structura este fixată pe panourile prefabricate existente și asigură susținerea unei eventuale extinderi orizontale a apartamentelor. Noile elemente structurale principale sunt profilele de grinzi și stâlpi HEA 180 care sunt sudate pe plăci de capăt din oțel și conectate la panourile prefabricate existente ale clădirii. Structura este fixată pe panourile

prefabricate din beton armat existente și asigură susținerea unei eventuale extinderi orizontale a apartamentelor. Legătura se face în perechi printr-o tijă filetata M16 care traversează diafragma internă, având rolul de a preveni forțele axiale care ar putea provoca ruperea panourilor în zona monolitică.



Detaliu structural

Scenariul final și cel mai provocator este reproiectarea scării actuale și adăugarea unui lift pentru a rezolva problemele de accesibilitate. Datorită implicațiilor semnificative ale soluției și acoperișul terasei este transformat într-un spațiu public cu diferite funcții. Aceste funcții servesc și ca suport pentru instalarea sistemelor de energie regenerabilă.



În final, **al șaselea capitol** prezintă un rezumat al rezultatelor, concluziile tezei, principalele contribuții personale și o prezentare completă a diseminării cercetării în lucrări de conferințe și reviste și citările acestora. În același timp, capitolul prezintă, de asemenea, o schiță a posibilelor studii viitoare privind soluțiile de construcție de eficiență energetică.

Subliniază din nou că sectorul construcțiilor generează anual un volum considerabil de deșeuri, care poate ajunge până la 40% în țările industrializate, aproape toate provenind din reabilitarea sau demolarea clădirilor. Prin urmare, aceste deșeuri reprezintă o problemă cheie și schimbarea modului în care gestionăm utilizarea materialelor de construcție este crucială.

Aici intervine economia circulară, un sistem care urmărește să eficientizeze utilizarea resurselor și să reducă impactul asupra mediului, fără a neglija în același timp bunăstarea oamenilor. Pe scurt, atunci când ne gândim la un produs, trebuie să luăm în considerare întregul său ciclu de viață, din faza de proiectare până în momentul în care acesta nu mai poate fi utilizat.

Conform modelului liniar, la sfârșitul unui ciclu de viață produsele erau de obicei aruncate, dar economia circulară propune o nouă abordare, în 3 pași: reducere-reutilizare-reciclare. Prin urmare, celebrul motto „Nimic nu se pierde, totul se transformă” valabil în știință poate fi aplicat cu ușurință și în economia circulară. În toată Europa, arhitecții consideră reutilizarea materialelor de către alți utilizatori și reciclarea deșeurilor drept principalele calități ale unei economii circulare a clădirilor. O treime dintre aceștia se așteaptă chiar să realizeze o economie a construcțiilor complet circulară până în 2030.

Principalele realizări și contribuții personale sunt:

- Proiectarea modelului experimental în cadrul programului de cercetare „CIA_CLIM - Clădiri inteligente adaptabile efectelor schimbărilor climatice”;
- Construirea și monitorizarea modulului experimental;
- Analiza și interpretarea rezultatelor înregistrate;
- Calibrarea și validarea numerică a modelului experimental;
- Extinderea rezultatelor obținute experimental la nivel de bloc.

Ca urmare a cercetării efectuate, trebuie precizate următoarele direcții de cercetare, neexplorate în cadrul acestei teze:

- evaluare complexă a consumului de energie pe un întreg bloc extins la nivelul cartierului, reabilitat în mod integrat, conform măsurilor propuse;
- Evaluarea ciclului de viață a metodei de reabilitare integrată în ceea ce privește economia circulară;
- Studiu experimental aplicat suplimentar folosind modele de testare modulare;
- Pe baza strategiilor de proiectare a modelelor, o a doua participare la Concursul Solar Decathlon, implicând studenți din diferite domenii de studiu.

Rezultatele cercetării prezentate în această teză au fost publicate în lucrări de conferințe și proiecte de cercetare.

- 7 lucrări în lucrări indexate Web of Science;
- 4 lucrări în procedurile de baze de date internaționale
- 3 lucrări în proceduri internaționale;
- 2 proiecte de cercetare

REFERENCES

- [1] “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,” p. 23.
- [2] N. Soares et al., “A review on current advances in the energy and environmental performance of buildings towards a more sustainable built environment,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 845–860, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.04.027.
- [3] “ISO-14040 Environmental Management – Life cycle assessment – Principles and framework, 2006.”
- [4] “ISO-14044 Environmental Management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines; 2006.”
- [5] “Kellenberger D, Althaus H-J, Künniger T, Lehmann M, Jungbluth N, Thalmann P. Life cycle inventories of building products. Final report ecoinvent Data v2.0 No7. Dübendorf, CH; 2007.”
- [6] “Hischier R, Althaus H-J, Bauer C, Doka G, Frischknecht R, Jungbluth N, Nemecek T, Simons A, Stuchi M, Sutter J, Tuchschnid M. In: Documentation of changes implemented

in ecoinvent data v2.1 and v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf; 2010.”.

[7] “Rickwood P, Glazebrook G, Searle G. Urban structure and energy – a review. Urban Policy Res 2008;26(1):57–81.”.

[8] “Heinonen J, Junnila S. Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland. Energy Build 2014;76:295–303”.

[9] “European Commission. Europe 2020: a strategy for smart, sustainable and inclusive growth; 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.”

[10] D. Kolokotsa et al., “On the integration of the energy storage in smart grids: Technologies and applications,” Energy Storage, vol. 1, no. 1, p. e50, Feb. 2019, doi: 10.1002/est2.50.

[11] Ekanayake, J., Liyanage, K., Wu, J., Yokoyama, A., Jenkins, N. (2012). Smart Grid. Technology and Applications, pp. 6–9, John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-97409-4.

[12] “Howieson S. Are our homes making us ill? The impact of energy efficiency on indoor air quality. Perspect Public Health 2014;134(6):318–9.”

[13] “Galvin R. Making the ‘rebound effect’ more useful for performance evaluation of thermal retrofits of existing homes: defining the ‘energy savings deficit’ and the ‘energy performance gap’. Energy Build 2014;69:515–24”.

[14] “Jaggs M, Palmer J. Energy performance indoor environmental quality retrofit – a European diagnosis and decision making method for building refurbishment. Energy Build 2000;31(2):97–101.”

[15] “Soares N, Costa JJ, Gaspar AR, Santos P. Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings’ energy efficiency. Energy Build 2013;59:82–103.”.

[16] M. Popov, Reabilitarea integrată a locuințelor colective din panouri mari prefabricate: soluții structurale. Timișoara: Politehnica, 2015.

[17] M. P. Sămânță, Reabilitări termice în contextul dezvoltării durabile a clădirilor de locuit colective: studiu de caz. Timișoara: Politehnica, 2015.

[18] The Fitch Colloquium: Why preserve public housing? Session 1, (Apr. 04, 2012). Accessed: Jun. 25, 2022. [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=RXIz2piidMM>

[19] “M. Economidou et al., „Europe’s buildings under the microscope – A country-by-country review of the energy performance of buildings”. s.l. : Building Performance Institute of Europe, 2011.”

[20] “M. Pfundstein, R. Gellert, M. H. Spitzner and A. Rudolphi, Insulating Materials. Principles, Materials, Applications, Munich, 2007.”.

[21] “F. Intini and S. Kühtz, ‘Recycling in buildings: an LCA case study of a thermal insulation panel made of polyester fiber, recycled from post-consumer PET bottles,’ The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 16, pp. 306-315, 2011.”.

[22] “URBAN-INCERC, Wadding mattresses for thermal and phonic insulation - TYPE SOFTEX - Agreement Tehnic 001ST-03/039-2018, Timisoara: SC SOFTEX SRL, 2018.”

[23] “Ubakus – online U-value calculator, <https://www.ubakus.com/en/r-value-calculator/>.”

[24] “Graphisoft ARCHICAD 26.0.0 - Educational license, <https://myarchicad.graphisoft.com/>.”