

TECHNICAL UNIVERSITY OF CIVIL ENGINEERING BUCHAREST

UNIVERSITATEA TEHNICA DE CONSTRUCTII BUCURESTI

FACULTY OF BUILDING SERVICES

FACULTATEA DE INGINERIA INSTALATIILOR

TEZA DE ABILITARE HABILITATION THESIS

Prezentată la / Presented at

Universitatea Tehnică de Construcții București/Technical University of Civil Engineering of
Bucharest

Pentru obținerea titlului și a atestatului de / To obtain the title and the certification for ABILITARE
IN CERCETARE

Specialitatea / Research field: INGINERIE CIVILA / CIVIL ENGINEERING

Autor / Author

Șef Lucr. Dr. Ing. / Associate Prof. PhD. Eng. Cristiana CROITORU

Urban Synergies

Sinergii în mediul urban

Susținută la data de / Presented on:

În fața comisiei de examen compusa din: / In front of the examination jury composed of:

Membrii juriului / Jury members:

1. xxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxx xxxx President
2. xxxx xxxxxxxxxxxxxzxxx xxxx xxxx xxxx Member
3. xxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxx Member
4. xxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxx Member
5. xxxxx xxxxxxxx xxxx xxxxxx xxxxx xxx Member

REZUMAT

Teza de abilitare reprezintă sinteza carierei mele de cercetare, academice și profesionale de la terminarea studiilor doctorale. Această piatră de hotar în calea mea profesională a marcat începutul unei aventuri minunate, provocatoare și plină de satisfacții. Manuscrisul cuprinde două părți principale: (1) realizările profesionale, științifice, academice și (2) planul de dezvoltare științifică a carierei profesionale.

Teza începe cu o scurtă introducere care oferă o imagine de ansamblu asupra lucrării, având în vedere inițiativele inițiale de cercetare și evoluția de la **nevoia de confort a ocupantului la interacțiunile urbane în ceea ce privește problematici generale precum poluarea, energia, mediu etc.** Chiar dacă evoluția direcțiilor de cercetare a fost de la individ la comunitate, principalele probleme necesită în continuare răspunsuri, astfel planurile de dezvoltare sunt construite pe aceiași trei piloni.

Realizările mele științifice, construite ca rezultate comune în cadrul echipei CAMBI, întreprind mai multe domenii de cercetare: **confort termic, mecanica fluidelor experimentală și numerică, strategii de distribuție a aerului, calitatea mediului interior (IEQ), eficiența energetică a clădirilor, clădiri verzi, sisteme de energie din surse regenerabile și durabilitate urbană.**

În domeniile de cercetare de mai sus, am obținut rezultate promițătoare utilizate în continuare de alți cercetători, arhitecți și ingineri și am publicat lucrarea în reviste ISI, reviste BDI și conferințe internaționale. De-a lungul anilor, am gestionat mai mult de 9 proiecte de cercetare și consultanță și am fost implicată în peste 10 echipe naționale și internaționale de cercetare. Interesul pentru subiectul clădirilor **confortabile, sănătoase, eficiente din punct de vedere energetic** m-a ghidat de-a lungul studiilor și lucrărilor științifice. Sunt auditor energetic de gradul I în domeniul clădirilor și instalațiilor, evaluator certificat BREEAM pentru clădiri verzi, membru al Comitetului tehnic și de cercetare (TRC) REHVA, fapt care m-a reorientat către conceptul de construcții durabile și confortabile, înțelegând la nivel profund constrângerile semnalizate de politicile europene privind energia și mediul. Aceste cunoștințe tehnice sunt importante pentru cariera mea, deoarece îmi permit să mă concentrez pe știința aplicată în **proiectarea clădirilor și politicile din domeniu.**

Astfel, având în vedere competențele mele dobândite prin cercetările efectuate, am devenit **expert în energie pentru Apelurile Orizont 2020 ale Comisiei Europene, expert în eficiență energetică pentru Banca Mondială și expert independent pentru UNDP Moldova** cu privire la noul cod verde pentru clădiri.

Punctul de plecare al carierei mele de cercetare, teza de doctorat, a avut ca obiectiv găsirea unor noi modalități de obținere a **confortului termic al ocupanților** prin reconsiderarea teoriei confortului. Principalele obiective ale acestui studiu au fost de a obține o perspectivă asupra influenței jucate de intensitatea turbulenței locale ale aerului asupra confortului termic al utilizatorilor sistemelor de ventilare și climatizare. Ca urmare a acestei direcții, echipa CAMBI a demarat colaborări naționale și internaționale, conduse de prof. Ilinca Năstase, propunând trei granturi naționale PN-II-ID-PCE-2011-3-0835-INADEVA, PN-II-PT-PCCA-2011-3.2-1212-EQUATOR și PN-II-PT-PCCA-2013-4-0569-INSIDE unde am fost membru de echipă și am participat activ la scrierea propunerilor de proiect, deschizând astfel calea către managementul proiectelor de cercetare.

Interesul pentru noi provocări și, mai important, încrederea acordată de o echipă minunată (Ilinca Năstase, Florin Bode, Mihnea Sandu și alți colegi minunați), au fost ingredientele principale ale unei dezvoltări reușite în domeniile menționate anterior.

Cunoștințele acumulate în perioada de doctorat au avut două direcții principale: **simularea numerică și investigarea experimentală axată pe cercetarea curgerii aerului în încăperi**, direcții care au fost extinse în continuare la nivelul anvelopei clădirilor prin finanțarea post-doctorală în cadrul proiectului național "*Elemente inovatoare de anvelopă ventilată pentru recuperarea căldurii solare în clădirile cu consum redus de energie*" - PN-II-RU-PD-2012-3-0144.

Alături de echipa CAMBI, am fost pionierii domeniului de cercetare al **colectoarelor solare perforate (TSC)** la nivel național. Publicațiile rezultate din activitățile anterioare de cercetare ale echipei CAMBI au demonstrat că optimizarea perforației geometriei TSC este foarte importantă, ducând la o creștere cu aproape 20% a eficienței energetice în comparație cu alte cazuri din literatura de specialitate[1]. Scopul articolelor publicate de membrii echipei [1-18] este de a dovedi creșterea eficienței datorate geometriei lobate, subliniind beneficiul sistemelor solare pasive. Echipa a testat diferite tipuri de geometrii ale perforațiilor colectorului solar. S-a dovedit că o **geometrie lobată poate crește semnificativ transferul de căldură**. Studiile relevă importanța anumitor caracteristici ale colectoarelor solare care pot îmbunătăți cu aproape 15% eficiența termică. Dinamica complexă a jeturilor lobate generează o **rată mai bună de transfer de căldură**[2, 19].

Mai mult, am integrat materiale de stocare a energiei termice în cadrul colectorului solar și am folosit parafină organică ca **material de schimbare a fazei cu stocare ridicată a căldurii latente**, potrivit pentru aplicațiile în clădiri conform literaturii de specialitate. Astfel, am obținut o eficiență de transfer termic mai mare, cu până la 38% și un număr mai mare de ore de funcționare în comparație cu TSC-ul cu inerție scăzută (energia stocată în PCM-uri fiind eliberată în timpul nopții încet) [20]. Multe articole de cercetare, propuneri de proiecte, 1 brevet și diferite teze de doctorat au fost generate în cadrul acestui domeniu de cercetare. Intermitența și instabilitatea radiației solare a dus la integrarea elementelor PCM în TSC, fapt care a făcut obiectul unui alt grant, SCOPE - PN-III-P2-2.1-PED-2016-1154 -*Colector solar inteligent cu integrarea materialelor de schimbare de fază*, în colaborare cu echipa Universității Politehnica București, **crescând eficiența energetică și stabilitatea sistemului global**[6, 21]. Proiectul SCOPE s-a încheiat cu un brevet privind sistemul TSC optimizat (brevet 2018 00463: *Element de fațadă ventilat opac cu materiale integrate de schimbare a fazelor pentru utilizare pasivă a energiei solare*) și un model dinamic de simulare pentru regimul de stabilitate al radiației solare.

Rezultatele anterioare au fost integrate în continuare într-o casă prototip, construită în timpul proiectului complex CIA-CLIM, PN-III-P1-1.2-PCCDI-2017-0391, "*Clădiri inteligente adaptabile la efectele schimbărilor climatice*", coordonat de Universitatea Politehnica din Timișoara, în cadrul căruia sunt liderul echipei UTCB[12]. Proiectul a **demonstrat posibilitățile de integrare a TSC la nivelul clădirii**. Proiectul propune îmbunătățirea colaborării instituționale între trei universități și două institute de cercetare pentru revigorarea activităților de cercetare și transferul de cunoștințe între parteneri în ceea ce privește **subiectul schimbărilor climatice și a construcțiilor eficiente**. Cele 4 proiecte componente, centrate pe clădirile energetice eficiente, sunt axate pe două direcții principale de cercetare: (i) utilizarea fațadelor inteligente cu transfer termic redus, integrate activ pentru îmbunătățirea confortului intern și care au un control pasiv al energiei (prin utilizarea energiei solare) și (ii) eficiența energetică inteligentă prin automatizarea clădirilor și colectoarele solare. Sistemul rezultat, casa inteligentă, este conceput astfel pentru a minimiza consumul de energie.

Rezultatele anterioare ale echipei au fost relevante pentru conceptul proiectului BISCUIT " *Sistem integrat cu elemente de fațadă ventilată pentru uscarea fructelor și legumelor cu aplicație în agricultura urbană*"- PN-III-P2-2.1-PED-2019-4165, abordarea diferitelor domenii de cercetare: **procesul de uscare, uscarea solară, cercetarea comportamentului elementelor inertiiale, integrarea anvelopelor clădirilor PCM, colectoare solare perforate** etc. Activitatea privind studiul TSC are o tradiție îndelungată la Centrul de Cercetare UTCB-CAMBI, începând cu direcția de cercetare pentru implementarea geometriei lobate a perforațiilor. Principalele componente ale demonstratorului BISCUIT sunt **TSC cu perforații cu geometrie lobată, elementele de intensificare a curgerii turbulente în interiorul uscătorului și sferele cu PCM cascade de pe conducta de aer cald, care vor fi legate de sistemul de aer proaspăt sau de camera de uscare, în funcție de necesități**. Sectorul adaptiv cu PCM-uri face parte din conducta de aer, fiind compus din **3 zone de temperatură în cascadă pentru schimbarea fazei**. Acest uscător solar integrat în clădire poate fi utilizat pentru ferme urbane situate pe acoperișurile clădirilor multi-familiale sau pentru ferme urbane situate pe clădiri industriale, cum ar fi supermarket-urile. Pentru fiecare tip de aplicație, uscătorul solar este utilizat pentru încălzirea spațiilor clădirilor în perioada rece și pentru nevoile de uscare a fermelor urbane în perioada mai caldă.

În ceea ce privește curgerea aerului în interiorul clădirilor, la scară mare, a fost implementat un alt proiect de cercetare, în parteneriat cu principalul furnizor de apă din București: SC APA NOVA SA. Proiectul "*Îmbunătățirea mediului de deshidratare a nămolurilor din sistemul de epurare prin Optimizarea Captării și Tratării Locale a Efluenților*" -SOLECT- PN-III-P2-2.1-BG-2016-0158 a vizat definirea unei **soluții optime pentru ventilarea zonei** pentru deshidratarea totală a nămolului pentru îmbunătățirea parametrilor tehnologici și a condițiilor de lucru, după cerințele partenerului. Pentru rezolvarea problemelor defectuoase ale sistemului de ventilație, Apa Nova SA a decis colaborarea cu UTCB pentru a oferi o soluție optimă de ventilație, obținută folosind cele mai noi tehnologii disponibile în Universitate. Echipa de cercetare a efectuat **măsurători de concentrație, studii numerice care au vizat jeturile de aer generate de sistemul de ventilație (CFD) și investigații experimentale prin tehnici optice (PIV și LDV)**. Proiectul a vizat definirea unei soluții optime pentru ventilarea (**adaptarea sistemului general de ventilație existent și pregătirea pentru introducerea soluțiilor locale de ventilație**) halei și îmbunătățirea parametrilor tehnologici și a condițiilor de muncă.

Începând cu anul 2013, **sub coordonarea mea și a altor colegi**, la UTCB au fost conduse **2 teze de master**: Mihai Mira și Daniel Bordianu, **2 burse Erasmus de cercetare**: Baptiste Bazire et Paul Leclerc, de la IUT St Lo, **2 burse AUF-"Eugen Ionescu" de doctorat și post-doctorat** a lui Abdelouhab Labihi, de la Cadi Ayyad University Marrakech, și **1 stagiu de cercetare Erasmus** pentru Tournois Quentin - INSA Lyon , toate referitoare la evaluarea termo-dinamică și optimizarea colectoarelor solare. **Teza domnului dr. Andrei Bejan a fost finanțată integral de Proiectul SCOPE** și co-supravegheată de mine pe întreaga perioadă de doctorat. Fiind din ce în ce mai interesați de partea de sustenabilitate, la Centrul de Cercetare UTCB-CAMBI a fost dezvoltat un alt domeniu de cercetare, după cum se menționează în proiectul BISCUIT: cuplarea colectoarelor solare cu sisteme de uscare pentru aplicații urbane solare și trecerea la nivel de comunitate. Sistemele de uscare solară și-au câștigat interesul începând cu colaborarea cu **dr. Abraham Tetang Fokone, de la Universitatea Camerun, care a fost beneficiarul unei burse post-doc AUF- Eugen Ionescu în UTCB sub coordonarea mea**, pe un subiect legat de optimizarea procesului de uscare folosind energia solară. Pe de altă parte, proiectele de cercetare în colaborare cu prof. Ashish Shukla, de la Universitatea Coventry, au generat noi direcții de cercetare privind colectoarele solare perforate și

optimizarea comportamentului termic al elementelor cu PCM. Mai mult decât atât, **teza de doctorat în curs de desfășurare a domnului MSc. Charles Berville este legată de studiul eficienței energetice a unui sistem de uscare solară**, pentru a crește consumul de energie solară și de a reduce risipa de alimente și energie. Necesitatea unor soluții de conservare a alimentelor cu consum redus de energie, alături de rezultatele interesante obținute deja de echipa CAMBI [5, 19, 20, 22, 23] au condus la un concept nou, inovativ, al unui sistem de aer proaspăt pentru clădirile preîncălzite în perioada rece și care să asigure aer încălzit pentru procesul de uscare a culturii rezultat din agricultura urbană locală în perioada caldă.

În 2020, la invitația amabilă a dr. Horia Petran, cercetător la INCD URBAN-INCERC și președinte al Asociației Clusterului pRO-nZEB, am devenit reprezentantul UTGB și membru al Consiliului Director în **Asociația Clusterul pRO-nZEB, un actor important în domeniul clădirilor cu consum redus de energie**. Această oportunitate mi-a oferit **perspectiva politicilor energetice la nivel urban și regional**, putând să implic și să colaborez activ cu administrațiile publice.

Începând cu anul în curs, **conduc echipele din România pentru două proiecte Orizont 2020**.

Proiectul nZEB ready (H2020-LC-SC3-EE-2020-2) – *"Îmbunătățirea pregătirii pieței pentru implementarea conceptului nZEB"* își propune să pregătească **cadre gata de utilizare pentru a răspunde nevoilor legate de lipsa de conștientizare, lipsa profesioniștilor calificați și lipsa instrumentelor de sprijin, implementarea procedurilor etichetate gata nZEB** în 5 țări pilot pentru a obține o gamă mai largă de rezultate, reprezentative la nivel european. Axat pe deblocarea pieței nZEB, proiectul nZEB Ready va acționa pe baza a 3 piloni diferiți, astfel au fost cristalizate din revizuirea literaturii de specialitate și consultarea părților interesate relevante: conștientizare, formare și sprijin, răspunzând punctelor critice ale barierelor pieței, astfel au fost identificate în țările europene.

Proiectul DivAirCity (H2020-LC-CLA-2020-2) – *"Puterea diversității și incluziunii sociale ca medie pentru reducerea poluării aerului și realizarea legăturii urbane verzi în orașele neutre din punct de vedere climatic"* - este un proiect ambițios care vizează schimbarea paradigmei urbane prin valorificarea diversității umane (cu accent pe gen și multiculturalism) ca resursă de definire a noilor servicii și modele urbane către orașele verzi conduse de cultură. Proiectul **se concentrează pe legătura urbană care combină oamenii, locurile, pacea, creșterea economică, robustețea climatică și impactul acesteia asupra calității aerului și decarbonizării**. DivAirCity, prin știința și creativitatea cetățenilor, va co-proiecta soluții și va urmări impactul acestora într-un mod transparent și sigur. Proiectul implică 5 orașe din UE reprezentând studii de caz replicabile: Orvieto (IT), Castellon (SP), Potsdam (D), Aarhus (DK) și București (RO). Consorțiul reprezintă un mix de părți interesate selectate din cele mai obișnuite doar organizații axate pe cercetare, pentru a oferi o cale reală de piață, cu ambiția de a aduce rezultatele proiectului pe piață până la sfârșitul proiectului, urmărind revoluționarea conceptului de sustenabilitate urbană.

Având în vedere toate aceste rezultate, **planurile de dezvoltare urmează aceleași trei direcții** care au stat la baza carierei mele: **confortul și bunăstarea ocupanților, mediu construit eficient din punct de vedere energetic și sustenabilitatea comunităților**.

Rezultatele obținute conturează **dorința, creativitatea, curiozitatea și efortul uriaș de echipă** care mi-au consolidat cunoștințele și abilitățile științifice de a iniția și de a derula o gamă largă de activități de cercetare în care **doctoranzii își pot găsi propriul parcurs științific**.

1. Croitoru, C., et al., *Thermodynamic investigation on an innovative unglazed transpired solar collector*. Solar Energy, 2016. **131**: p. 21-29.
2. Croitoru, C., et al., *Innovative solar wall performance study for low energy buildings applications*. 14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies, 2014. **1**(SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-15-5/ISSN 1314-2704, June 19-25, 2014, Vol. 1, 307-314 pp): p. 307-314 pp.
3. Croitoru, C., et al., *Heat Transfer Analysis for a Transpired Solar Collector Numerical Model*. Energy and Clean Technologies, 2015: p. 939--944.
4. Croitoru, C., A. Meslem, and R. Atta, *Etude thermique d'un capteur solaire innovant à circulation d'air/Thermal study of a innovative solar collector with air circulation*. Revista Romana de Inginerie Civila, 2015. **6**(2): p. 101.
5. Croitoru, C., et al., *Thermal Evaluation of an Innovative Type of Unglazed Solar Collector for Air Preheating*. Energy Procedia, 2016. **85**: p. 149-155.
6. Bejan, A.-S., et al. *Transpired solar collectors energy efficiency improvement using inertial materials*. in *2017 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)*. 2017. IEEE.
7. Labihi, A., et al. *Experimental and numerical investigation of heat transfer inside an air cavity with a Phase Change Material side*. in *Solar World Congress 2017* 2017. Abu Dhabi, EUA ISES - International Solar Energy Society.
8. Bejan, A.-S., et al., *Experimental Investigation of the Performance of a Transpired Solar Collector Acting as a Solar Wall*, in *Solar World Congress 2017*. 2017, ISES - International Solar Energy Society: Abu Dhabi, UAE.
9. Andrei – Stelian Bejan, A.L., Cristiana Verona Croitoru, Tiberiu Catalina, Hassan Chehouani and Brahim Benhamou *Experimental investigation of the charge/discharge process for an organic PCM macroencapsulated in an aluminium rectangular cavity*. in *Advances in Heat and Mass Transfer for the Built Environment (EENVIRO Workshop 2017)*. 2017. Bucharest, Romania.
10. Cristiana Croitoru, I.N., Mihnea Sandu, Andrei Bejan, Florin Bode *Innovative Transpired Solar Collector - an experimental study*. in *Healthy Buildings Asia 2017*. 2017. Taiwan.
11. Bejan, A.-S., et al. *Experimental investigation of the performance of a transpired solar collector acting as a solar wall*. 2017. ISES Solar World Congress.
12. Bejan, A., et al., *Solar ventilated façade with PCM integration for air preheating*. Healthy Building Conference, 2018.
13. Bejan, A.S., et al. *Airflow study inside an enclosure with a pcm wall and a solar collector*. in *Roomvent & Ventilation 2018*. 2018. Finland.
14. Andrei - Stelian Bejan, C.V.C., Florin Bode, Ilinca Nastase, Mihnea Sandu, Abdelouhab Labihi *Inertial elements integration on thermal solar collectors*. in *4th International Conference On Building Energy, Environment (COBEE 2018)*. 2018. Melbourne, Australia.
15. Bejan, A.S., et al., *Numerical model of a solar ventilated facade element: experimental validation, final parameters and results*. E3S Web of Conferences - EENVIRO 2018, 2019. **85**: p. 02013.
16. Andrei Stelian Bejan, C.V.C., Florin Bode, *Preliminary numerical studies conducted for the numerical model of a real transpired solar collector with integrated phase changing materials*. E3S Web of Conferences CLIMA 2019, 2019. **111**(03047).
17. Catalin Teodosiu, C.S., Cristiana Croitoru, Florin Bode, *Experimental Study of Heat Transfer Inside a Real Scale Innovative Air Solar Collector*, in *The 16th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (Indoor Air 2020)*. 2020: COEX, Seoul, Korea.
18. Bejan, A., et al., *Experimental investigation of transpired solar collectors with/without phase change materials*. Solar Energy, 2020. **214**: p. 478-490.

19. Croitoru, C.V., et al., *Thermodynamic investigation on an innovative unglazed transpired solar collector*. Solar Energy, 2016. **131**: p. 21-29.
20. Bejan, A.-S., C.V. Croitoru, and F. Bode. *Preliminary numerical studies conducted for the numerical model of a real transpired solar collector with integrated phase changing materials*. in *E3S Web of Conferences*. 2019.
21. Budea, S., et al. *The stability of the radiative regime in Bucharest during 2017-2018*. in *E3S Web of Conferences*. 2019. EDP Sciences.
22. Bejan, A.S., et al. *Experimental investigation of the charge/discharge process for an organic PCM macroencapsulated in an aluminium rectangular cavity*. in *E3S Web of Conferences*. 2018. EDP Sciences.
23. Iten, M., S. Liu, and A. Shukla, *Experimental validation of an air-PCM storage unit comparing the effective heat capacity and enthalpy methods through CFD simulations*. Energy, 2018. **155**: p. 495-503.