

# **Dezvoltarea unui Digital Twin cognitiv pentru modelarea influenței factorilor semantici, psihologici și comportamentali asupra confortului termic și consumului energetic în clădiri**

Development of a Cognitive Digital Twin for Modelling the Influence of Semantic, Psychological and Behavioural Factors on Thermal Comfort and Building Energy Use

## **1. Context**

Confortul termic reprezintă unul dintre principalele criterii utilizate în proiectarea și exploatarea clădirilor eficiente energetic. Modelele actuale de evaluare, precum PMV/PPD, modelele adaptive și modelele termofiziologice, explică relația dintre mediul fizic și răspunsul ocupanților prin intermediul parametrilor de mediu și al proceselor fiziologice de termoreglare. Cu toate acestea, numeroase studii au evidențiat existența unei variabilități semnificative a percepției termice între indivizi aflați în condiții fizice similare. În cadrul modelelor adaptive, această variabilitate este explicată prin factori precum experiența anterioară, așteptările, adaptarea comportamentală și contextul social. Mecanismele cognitive și psihologice care stau la baza acestor procese rămân însă insuficient investigate.

Evoluțiile recente din domeniul inteligenței artificiale, al Digital Twin-urilor și al științelor cognitive permit abordarea unei noi generații de modele de confort termic, capabile să integreze nu doar parametri fizici ai mediului interior, ci și informații privind comportamentul, percepția, contextul semantic și răspunsurile psihologice ale ocupanților.

Tema propusă urmărește dezvoltarea conceptului de „Digital Twin cognitiv”, capabil să descrie și să prezică modul în care factorii cognitivi, emoționali și semantici influențează percepția confortului termic și comportamentul utilizatorilor în clădiri inteligente.

## **2. Obiective și metodologie**

Obiectivele principale ale tezei sunt: identificarea și caracterizarea factorilor cognitivi, psihologici și semantici care influențează percepția confortului termic; dezvoltarea unor protocoale experimentale pentru investigarea influenței stimulilor vizuali, narativi și contextuali asupra senzației termice;

realizarea unei baze de date experimentale care să conțină simultan parametri de mediu, răspunsuri subiective și indicatori fiziologici; dezvoltarea unui model Digital Twin cognitiv bazat pe inteligență artificială pentru predicția percepției termice; evaluarea impactului modelelor cognitive asupra strategiilor de control HVAC și asupra consumului energetic.

Metodologia va combina: monitorizarea parametrilor de mediu interior (temperatură, umiditate, viteza aerului, CO<sub>2</sub>, poluanți); evaluarea confortului termic prin chestionare standardizate; utilizarea manechinelor termice instrumentate; experimente controlate în camere climatice; simulări CFD și Digital Twin; tehnici de inteligență artificială și machine learning; metode specifice semanticii computaționale pentru analiza și clasificarea stimulilor cognitivi; eventual integrarea unor măsurători fiziologice (EEG, ritm cardiac, conductanță galvanică etc.).

Rezultatele așteptate includ dezvoltarea unui nou cadru conceptual pentru evaluarea confortului termic, validarea experimentală a influenței factorilor cognitivi asupra percepției termice și dezvoltarea unui prototip de Digital Twin cognitiv pentru aplicații în clădiri inteligente și eficiente energetic.

## **3. Infrastructura de cercetare disponibilă**

Activitatea experimentală se va desfășura în cadrul Centrului de Cercetare CAMBI – Centrul de Cercetare Avansată pentru Calitate Ambientală și Fizica Clădirilor din UTCB.

Doctorandul va avea acces la: camere climatice experimentale; manechini termici multi-zonal; sisteme de monitorizare a calității aerului interior; echipamente pentru măsurarea temperaturii, umidității, vitezei aerului și radiației; sisteme de monitorizare a expunerii la particule și poluanți; software CFD (Ansys Fluent, PyroSim etc.); software in-house; infrastructură HPC disponibilă în cadrul UTCB și al partenerilor internaționali; infrastructura partenerilor din cadrul EU-CONEXUS și IMT Nord Europe.

## **4. Finanțări suplimentare disponibile**

Tema este compatibilă cu direcțiile de cercetare dezvoltate în cadrul: Centrului de Cercetare CAMBI; alianței europene EU-CONEXUS; proiectului Horizon Europe ENABLES; proiectelor aflate în pregătire privind Digital Twins și inteligență artificială pentru mediul construit; colaborărilor existente cu IMT Nord Europe, La Rochelle Université și Universität Rostock.

Rezultatele tezei pot contribui la dezvoltarea de proiecte naționale și europene în domeniul Digital Twin, Inteligenței Artificiale, Smart Buildings, Human-Centric Buildings și Indoor Environmental Quality.

## Justificarea încadrării în domeniile prioritare ANSCSI 2022–2027

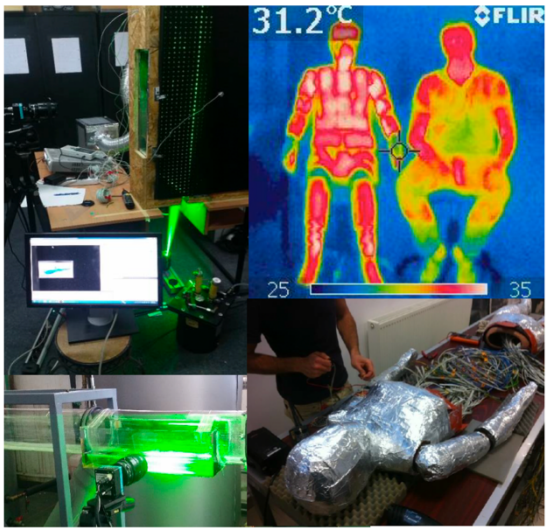
Tema propusă se încadrează în principal în domeniul prioritar „Digitalizare, industrie și spațiu”, prin dezvoltarea unor modele inovatoare de tip Digital Twin cognitiv, bazate pe inteligență artificială, integrarea datelor provenite de la senzori, modele predictive și ecosisteme digitale pentru evaluarea interacțiunii dintre ocupanți și mediul construit. Cercetarea contribuie la dezvoltarea unor noi generații de Digital Twin-uri pentru clădiri inteligente, capabile să integreze simultan parametri fizici, fiziologici și comportamentali.

Tema contribuie de asemenea la domeniul prioritar „Climă, energie și mobilitate”, prin investigarea mecanismelor cognitive și comportamentale care influențează confortul termic și utilizarea sistemelor HVAC. O mai bună înțelegere a relației dintre percepția ocupanților și condițiile reale de mediu poate conduce la optimizarea strategiilor de control, reducerea consumului energetic și creșterea rezilienței clădirilor în contextul schimbărilor climatice și al valorilor de căldură din ce în ce mai frecvente.

În același timp, cercetarea se înscrie în domeniul „Cultură, creativitate și societate incluzivă”, prin studierea influenței proceselor cognitive, a contextului semantic și a mecanismelor psihologice asupra percepției mediului construit. Proiectul propune o abordare interdisciplinară la interfața dintre ingineria instalațiilor, inteligența artificială, științele cognitive și analiza comportamentală, contribuind la dezvoltarea unor medii interioare mai sănătoase, mai confortabile și mai bine adaptate nevoilor utilizatorilor. Rezultatele așteptate vor contribui la dezvoltarea unor metode inovatoare de proiectare și operare a clădirilor inteligente, orientate către ocupant, susținând obiectivele naționale și europene privind digitalizarea, eficiența energetică, sănătatea și sustenabilitatea mediului construit.

### Referințe:

1. Barrett, L.F., *The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization*. Social Cognitive and Affective Neuroscience, 2017. **12**(1): p. 1-23.
2. ISO 7730 - *Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 2005.
3. Croitoru, C., et al., *Thermal comfort models for indoor spaces and vehicles—Current capabilities and future perspectives*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. **44**: p. 304-318.
4. Fanger, P.O., *The new comfort equation for indoor air quality*. Ashrae Journal, 1989. **31**(10): p. 33-38.
5. Nastase, I., et al., *A regard on the thermal comfort theories from the standpoint of Electric Vehicle design — Review and perspectives*. Energy Reports, 2022. **8**: p. 10501-10517.
6. Entman, R.M., *Framing: Towards clarification of a fractured paradigm*. McQuail's reader in mass communication theory, 1993. **390**: p. 397.
7. Pentzold, C. and C. Fraas, *Media frames as adaptive networks of meaning: A conceptual proposition*. Language & Communication, 2023. **93**: p. 95-106.
8. Nicol, F., Humphreys, M., Roaf, S., *Adaptive Thermal Comfort: Principles and Practice (1st ed.)*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203123010>. 2012.
9. Parkinson, T., R. de Dear, and G. Brager, *Nudging the adaptive thermal comfort model*. Energy and Buildings, 2020. **206**: p. 109559.



Centrul de Cercetare Avansată pentru Calitate Ambientală și Fizica Clădirilor este una dintre cele două structuri de cercetare asociate Departamentului de Sisteme Termo-Hidraulice și pentru Protecția Atmosferei din cadrul Facultății de Inginerie a Instalațiilor a Universității Tehnice de Construcții București. Centrul de cercetare CAMBI reunește atât cadre didactice de la UTCB cât și colaboratori din afara Universității. Membrii săi sunt profesori, conferențieri, șefi de lucrări, cercetători, asistenți universitari, doctoranzi și tineri absolvenți. Aceștia desfășoară activități de cercetare în domeniul calității mediului interior, al eficienței energetice și al fenomenelor de transfer de căldură și masă în clădiri. În prezent, colectivul CAMBI reunește 37 de persoane, dintre care 19 sunt membri permanenți. Centrul de cercetare gestionează activitatea colectivă a trei domenii de cercetare, fiecare cu direcții proprii sau trans-disciplinare. Proiectele de cercetare derulate în cadrul centrului de cercetare CAMBI ilustrează o adevărată muncă de echipă și se remarcă prin rezultate de excepție la nivel național.

