

Raport final de activitate

Perioada implementare: 2024 – 2026

Proiectul cu titlul:

„Clădiri pozitive energetic bazate pe surse regenerabile integrate”

Proiect nr. 52PHE

Avizat, Coordonator proiect nr.52/01.02.2024

Director proiect
Conf. Dr. Ing. Mihaela CREȚU

Cuprins

1. Obiectivele prevăzute/realizate	4
Echipa de implementare a proiectului	5
2. Prezentarea rezultatelor obținute, a indicatorilor de rezultat și a nerealizărilor înregistrate	6
2.1 Etapa I (2024) — rezumat	6
Tehnologii instalate la clădirea-pilot UTCN	6
Activitatea 1.1 — Fidelizarea tinerilor cercetători	6
Activitatea 1.2 — Consolidarea capacității CDI	6
Concluzii cheie ale Etapei I	6
2.2 Etapa II (2025) — rezumat	7
Proiectarea modelului Digital Twin	7
Sistemul modular de monitorizare IoT	7
Platforma MQTT–PostgreSQL pentru monitorizare distribuită	7
Creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității	7
Concluzii cheie ale Etapei II	7
2.3 Etapa III (2026) — raport integral	8
Rezumatul etapei	8
Descriere științifică și tehnică	9
Formularea problemei și date despre clădiri	11
Metodologie	11
Rezultate	13
Concluziile studiului TC-TimeGAN	14
Concluzii finale ale Etapei III	15
2.4 Indicatori de rezultat	16
2.5 Nerealizări înregistrate	16
3. Modul de atribuire și exploatare de către parteneri a drepturilor de proprietate	16
4. Impactul estimat al rezultatelor obținute	16
5. Rezumat executiv	17
6. Link către pagina web a proiectului	20
Anexă — Publicații rezultate din proiect	21
Anexă — Deplasări externe	21
Bibliografie	22

1. Obiectivele prevăzute/realizate

Proiectul „Clădiri pozitive energetic bazate pe surse regenerabile integrate” (Proiect nr. 52PHE) s-a derulat pe parcursul a trei etape anuale (2024–2026), în completarea proiectului Orizont Europa RENplusHOMES, la care Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (UTCN) este partener.

Obiectivul general, comun celor trei etape, a fost dezvoltarea și testarea, la clădirea-pilot UTCN (Complexul Studentesc Mărăști), a unei metodologii universale pentru case și cartiere cu energie pozitivă — în paralel cu site-urile-pilot din Spania, Estonia și Austria ale proiectului RENplusHOMES — prin integrarea de tehnologii-cheie (geostructuri energetice, panouri fotovoltaice din celule reciclate), a unei infrastructuri digitale de monitorizare (BEMS, IoT, Digital Twin) și a unor metodologii avansate de analiză a datelor.

Obiectivele specifice, planificate și realizate pentru fiecare etapă, au fost:

- **Etapa I (01.02.2024 – 31.12.2024) — fidelizarea tinerilor cercetători și consolidarea capacității de cercetare** a echipei, studiul literaturii privind casele pozitive energetic și comunitățile de energie, precum și extinderea sistemului BEMS existent la clădirea-pilot pentru integrarea structurii geotermale nou-instalate prin proiectul Orizont Europa - RENplusHOMES. **Obiectiv realizat integral.**
- **Etapa II (01.01.2025 – 31.12.2025) — proiectarea unui model digitalizat (Digital Twin) al clădirii-pilot, dezvoltarea unui sistem modular de monitorizare IoT** pentru medii de testare inteligente și implementarea unei platforme de telemetrie MQTT–PostgreSQL pentru monitorizarea distribuită a mediului. De asrmenea, pentru creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității, s-au prezentat și publicat două articole la conferințe internaționale. **Obiectiv realizat integral.**
- **Etapa III (01.01.2026 – 15.07.2026) — extinderea infrastructurii Digital Twin** cu o metodologie de generare a datelor sintetice (TC-TimeGAN) pentru completarea înregistrărilor energetice parțiale ale clădirilor. **Obiectiv realizat integral.**

Toate obiectivele planificate pentru cele trei etape ale proiectului au fost atinse, conform detalierii din secțiunea următoare.

Echipa de implementare a proiectului

Nume	UEFISCDI ID (UEF-iD) – BrainMap	Funcție	Rolul în proiect
Mihaela Crețu	U-1700-036Y-4008	Conferențiar universitar	Director de proiect
Dan Doru Micu	U-1700-030M-3027	Profesor universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Laura Darabant	U-1700-035Y-7756	Profesor universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Denisa Șteț	U-1700-035S-9973	Conferențiar universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Ștefan Cîrstea	U-1700-031W-5612	Conferențiar universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Levente Czumbil	U-1700-038K-5323	Conferențiar universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Andrei Ceclan	U-1700-031E-3515	Conferențiar universitar	Membru al proiectului – Cercetător
Dacian Jurj	U-1900-064D-1116	Cercetător postdoctoral	Membru – Cercetător postdoctoral
Alexandru Mureșan	U-1900-062B-5257	Cercetător postdoctoral	Membru – Cercetător postdoctoral
Claudia Mureșan	U-2100-066L-6673	Doctorand	Membru – Doctorand
Timea Farkas	U-1900-064A-3525	Doctorand	Membru – Doctorand
Alexandru-George Berciu	U-2000-065T-9726	Doctorand	Membru – Doctorand
Mircea Lăncrănjan	U-2400-070A-4092	Doctorand	Membru – Doctorand
Roxana-Valentina Briscan	U-2400-070B-4083	Doctorand	Membru – Doctorand

2. Prezentarea rezultatelor obținute, a indicatorilor de rezultat și a nerealizărilor înregistrate

Rezultatele proiectului sunt prezentate cronologic, pe cele trei etape de implementare. Etapele I și II sunt prezentate sub formă de rezumat, întrucât conținutul lor detaliat a fost deja raportat și avizat la finalul fiecărei etape; Etapa III, aflată în curs de avizare, este prezentată integral, conform raportului științific final al acestei etape.

2.1 Etapa I (2024) — rezumat

Etapa I a proiectului a cuprins două activități principale: (1.1) fidelizarea tinerilor cercetători și extinderea sistemului de monitorizare BEMS al clădirii-pilot, și (1.2) consolidarea capacității de cercetare-dezvoltare-inovare (CDI) a echipei UTCN prin diseminare internațională.

Tehnologii instalate la clădirea-pilot UTCN

În cadrul proiectului european RENplusHOMES au fost instalate la Complexul Studentesc Măraști două tehnologii-cheie: o geostructură energetică de tip perete geotermal, care transformă pereții subterani ai clădirii într-un schimbător de căldură conectat la o pompă de căldură sol-apă, fără costuri suplimentare de excavare; și un sistem fotovoltaic BIPV/BAPV realizat din celule reciclate recuperate din panouri retrase din uz, personalizat pentru integrare arhitecturală în clădirea-pilot. Ambele soluții au fost testate și monitorizate în cadrul BEMS existent la site-ul pilot.

Activitatea 1.1 — Fidelizarea tinerilor cercetători

Au fost acordate două burse postdoctorale și o bursă pentru un student masterand. Echipa a realizat un studiu al literaturii de specialitate privind casele pozitive energetice, extins la comunitățile de energie și la potențialul acestora de a forma Comunități Energetice Pozitive (Positive Energy Districts), incluzând un studiu de caz de modelare a unei comunități de energie în zona Cluj-Napoca. În paralel, a fost analizată și extinsă infrastructura BEMS a clădirii-pilot, prin achiziția unui nou sistem de senzori necesar integrării datelor de la structura geotermală nou-instalată.

Activitatea 1.2 — Consolidarea capacității CDI

Au fost prezentate două lucrări la conferințe internaționale (MediTech 2024, Cluj-Napoca; SEST 2024, Torino) și a avut loc o deplasare de documentare la ITeC (Institutul Catalan de Tehnologia Construcțiilor), Barcelona, Spania, partener în proiectul RENplusHOMES, pentru integrarea funcțiilor API ale sistemului BEMS și pentru consolidarea unei colaborări viitoare pe axa Horizon Europe – Smart Homes.

Concluzii cheie ale Etapei I

Analiza comunităților de energie a evidențiat importanța unei granularități temporale ridicate (ex. intervale de 5 minute) pentru identificarea corectă a surplusurilor/deficitelor energetice, necesitatea unor politici tarifare care să descurajeze supradimensionarea

capacităților fotovoltaice individuale și rolul esențial al sistemelor BEMS în tranziția comunităților către ecosisteme energetice reziliente.

Implementarea BEMS la Campusul Mărăști a confirmat că infrastructurile inteligente de monitorizare pot transforma un spațiu convențional într-un exemplu replicabil de independență energetică.

2.2 Etapa II (2025) — rezumat

Etapa II a proiectului a continuat infrastructura BEMS extinsă în Etapa I, cu trei direcții principale: proiectarea unui model digitalizat (Digital Twin) al clădirii-pilot, dezvoltarea unui sistem modular de monitorizare IoT și implementarea unei platforme de telemetrie MQTT–PostgreSQL, alături de creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității.

Proiectarea modelului Digital Twin

Modelul Digital Twin al clădirii-pilot a fost construit pornind de la modelul BIM (Building Information Model) realizat în cadrul proiectului RENplusHOMES, la care au fost adăugați parametri necesari conectării la senzori (nume, coduri, locații), transformând modelul BIM static într-o copie digitală dinamică, actualizată în timp real pe baza datelor de la senzorii instalați.

Sistemul modular de monitorizare IoT

A fost dezvoltat un sistem de monitorizare bazat pe senzori Shelly (Wi-Fi și Bluetooth) pentru temperatură, umiditate, iluminare, proximitate și parametri electrici, instalați în două camere de testare din Căminul studențesc-pilot. Datele sunt transmise printr-un modem LTE către un broker MQTT, procesate local cu Node-RED și vizualizate atât local (tablou de bord Node-RED), cât și la distanță, prin platforma Grafana.

Platforma MQTT–PostgreSQL pentru monitorizare distribuită

A fost implementată o arhitectură distribuită de telemetrie, cu date de mediu și date electrice stocate separat în baze de date PostgreSQL structurate, sincronizare a timpului prin server NTP conform standardului ISO 8601, și un script de export CSV cu parametri selectabili. Platforma susține analize de tendințe, detectarea timpurie a defecțiunilor și alertare automată pe bază de praguri.

Creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității

În cadrul acestei etape s-a realizat diseminarea rezultatelor proiectului prin prezentarea și publicarea a două articole la conferințe științifice de specialitate: Conferința Internațională Future Energy Solutions, care s-a desfășurat la Cluj-Napoca, România între 24-26 Septembrie, respectiv Conferința Internațională IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, desfășurată între 23-26 Noiembrie în Dubai, UAE.

Concluzii cheie ale Etapei II

A fost proiectat, implementat și validat un sistem modular de monitorizare electrică și de mediu bazat pe Internet of Things, la un site pilot format din două camere studențești din

Campusul UTCN, oferind o soluție scalabilă și accesibilă pentru procesarea locală, vizualizarea la distanță și colectarea datelor în timp real, pe baza unor tehnologii open-source (MQTT, Node-RED, Grafana). Activitățile dezvoltate în cadrul acestei etape sprijină sistemul modular de monitorizare dezvoltat în cadrul proiectului Orizont Europa RENplusHOMES.

De asemenea, participarea la conferințe internaționale și publicarea rezultatelor a contribuit atât la validarea rezultatelor în comunitatea academică, cât și la creșterea vizibilității universității în mediul de cercetare. Publicațiile prezentate au facilitat creșterea gradului de recunoaștere a contribuțiilor proiectului și au consolidat prezența instituției în rețelele naționale și internaționale de cercetare.

2.3 Etapa III (2026) — raport integral

Etapa III a proiectului este prezentată integral în continuare, conform raportului științific final avizat pentru această etapă, întrucât reprezintă etapa curentă supusă prezentei raportări finale.

Rezumatul etapei

Etapa III a proiectului „Clădiri cu energie pozitivă bazate pe surse regenerabile integrate” a cuprins două activități principale, continuând direct infrastructura de Digital Twin și monitorizare IoT stabilită în Etapa II.

Activitatea 2.3.1: Generarea de date sintetice pentru înregistrările energetice incomplete ale clădirilor

O limitare practică recurentă a calibrării Digital Twin este faptul că, clădirile – pilot și nu numai, sunt deseori contorizate doar după renovare sau punerea în funcțiune a senzorilor, lăsând mai multe luni din an fără date energetice măsurate. Pentru a aborda acest neajuns, a fost dezvoltată o Rețea Generativă Adversă pe Serii Temporale, Condiționată de o Clădire-Profesor (TC-TimeGAN), care exploatează o clădire „profesor” complet contorizată pentru a ghida sintetizarea unor profiluri energetice plauzibile și coerente sezonier pentru lunile lipsă ale unei clădiri „țintă” parțial contorizate.

Această metodologie susține direct obiectivul pe termen lung al Digital Twin dezvoltat în Etapa II, permițând reconstrucția unor referințe energetice anuale complete chiar și atunci când monitorizarea pe teren începe la mijlocul anului, așa cum este cazul pentru mai multe dintre site-urile-pilot ale proiectului.

Activitatea 2.3.2: Creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității

Această activitate a continuat strategia de diseminare inițiată în etapa precedentă. Lucrarea privind provocările integrării energiei din surse regenerabile, prezentată deja la conferința Future Energy Solutions (FES) 2025, este în curs de indexare în baza de date internațională IEEEExplore. În paralel, a fost pregătit un nou manuscris în etapa curentă – cadrul TC-TimeGAN de sintetizare a profilurilor energetice ale clădirilor – și transmis spre diseminare internațională, consolidând în continuare vizibilitatea universității și a proiectului în comunitatea de cercetare privind energia regenerabilă și clădirile inteligente.

Descriere științifică și tehnică

a) Domenii actuale și provocări asociate integrării energiei din surse regenerabile în diverse sisteme

Utilizarea surselor de energie regenerabilă în cadrul infrastructurii electrice existente aduce beneficii substanțiale, inclusiv reducerea poluanților atmosferici și creșterea rezilienței energiei distribuite, dar avantajele sale depind în mod critic de disponibilitatea în timp util și din punct de vedere locațional a resursei.

Acest studiu, bazat pe perspectiva Digital Twin a proiectului, a analizat stadiul actual al cunoașterii și provocările deschise ale integrării energiei provenite din surse regenerabile în patru domenii interconectate relevante pentru clădirea-pilot a proiectului: sistemele de distribuție și transport al energiei electrice, clădirile inteligente și sistemele de termoficare urbană (DHS).

În rețelele de distribuție, Directiva privind energia din surse regenerabile (2018/2001/UE) impune ca 40% din consumul final brut de energie al UE să provină din surse regenerabile până în 2030, intensificând integrarea generării descentralizate de mică putere de către Operatorii de Distribuție (DSO). Analiza confirmă faptul că trecerea de la un flux unidirecțional la unul variabil, bidirecțional, pune sub semnul întrebării paradigmele operaționale consacrate, iar variabilitatea determinată de condițiile meteorologice rămâne un factor extern esențial care afectează eficiența costurilor DSO – o problemă pentru care un model Digital Twin al rețelei de distribuție, capabil să separe ineficiența persistentă de cea tranzitorie și să vizualizeze starea rețelei în timp real, ar avea un beneficiu direct.

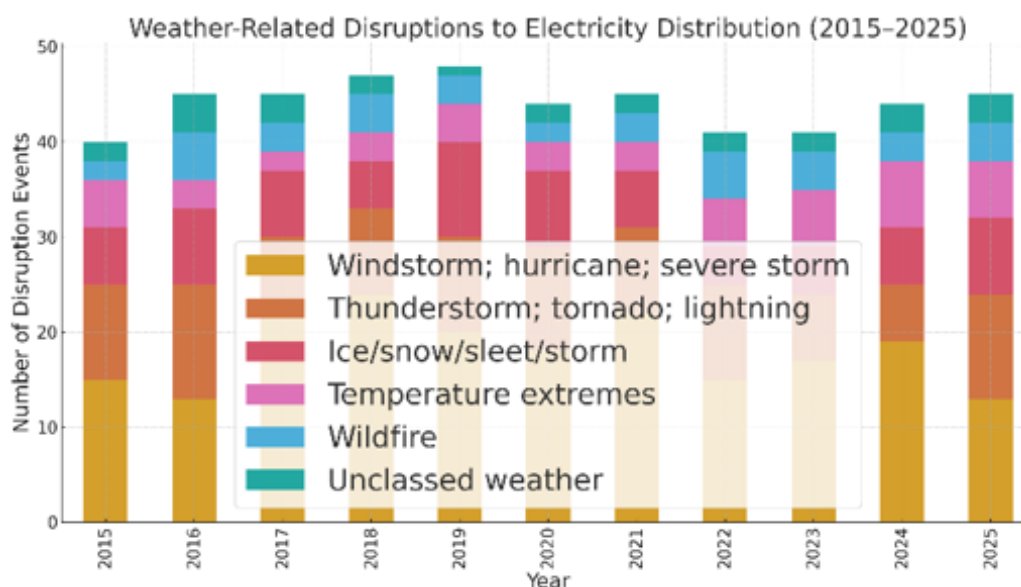


Figura 1. Perturbări legate de condițiile meteorologice asupra sistemelor de distribuție a energiei electrice (2015–2025).

În rețelele de transport, ponderea tot mai mare a producției regenerabile nedispecerizabile impune o planificare inteligentă a extinderii rețelei. Analiza evidențiază rolul central al metodelor de optimizare bazate pe inteligență artificială – precum optimizarea cu roi de particule (Particle Swarm Optimization) – în planificarea extinderii rețelei de transport (TNEP)

și constată că, includerea acestor metode într-un Digital Twin la nivel de transport ar transforma planificarea extinderii dintr-un proces static într-unul continuu și adaptiv, permițând operatorilor să evalueze în timp real impactul fluctuațiilor de generare, al creșterii cererii și al schimburilor transfrontaliere.

La nivelul clădirilor, analiza a examinat un corp extins de lucrări privind clădirile inteligente cu consum de energie aproape egal cu zero (nZEB) care participă la programe de răspuns la cerere prin programarea HVAC, integrarea vehiculelor electrice și coordonarea stocării energiei, beneficiile raportate incluzând reduceri ale costurilor energetice de până la 14% prin programele de răspuns la cerere și de 4,6% prin managementul energetic sensibil la confort, alături de îmbunătățiri ale factorului de încărcare al rețelei de distribuție. Aceste constatări întăresc abordarea proprie a proiectului de a echipa clădirea-pilot cu un sistem modular de monitorizare IoT care alimentează un Digital Twin la nivel de clădire și motivează direct cadrul de generare a datelor sintetice descris în continuare.

În final, sistemele de termoficare urbană (DHS) – responsabile, împreună cu răcirea, pentru 46% din consumul mondial total de energie aferent clădirilor – integrează tot mai mult surse regenerabile în rețele de joasă temperatură de generația a 4-a și a 5-a (4GDH/5GDHC), pompele de căldură fiind identificate ca o tehnologie regenerabilă deosebit de eficientă pentru apa caldă menajeră, încălzire și răcire. Un Digital Twin termic, capabil să modeleze fluxurile de căldură, să detecteze pierderile și să evalueze scenariile de integrare a energiei regenerabile, a fost identificat ca o extensie naturală a platformei de monitorizare a proiectului către domeniul termic.

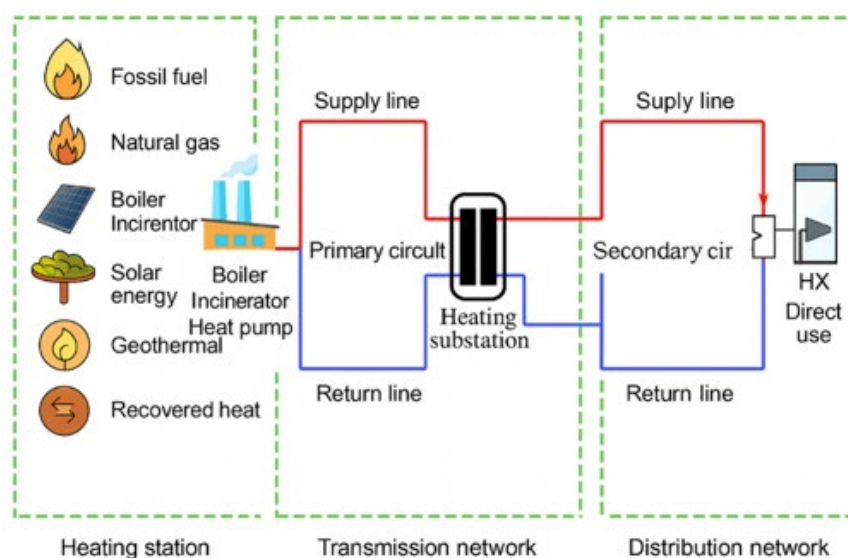


Figura 2. Structura completă a elementelor esențiale ale unui sistem de termoficare urbană.

În ansamblu, acest studiu a confirmat necesitatea unui sistem energetic flexibil, inteligent și predictiv și a concluzionat că o platformă modulară de Digital Twin, capabilă să integreze rețelele electrice, clădirile și sistemele termice într-o structură unificată, reprezintă calea optimă către o integrare eficientă a energiei regenerabile în clădiri – o concluzie care a determinat direct dezvoltarea tehnică realizată în cadrul acestei etape.

b) TC-TimeGAN: Generarea profilurilor energetice ale clădirilor din date parțiale de un an, folosind o rețea generativă adversarială ghidată de un „model-profesor”

Sintetizarea unor profiluri energetice anuale complete ale clădirilor pe baza unor date de contorizare parțiale este o provocare practică recurentă pentru calibrarea modelului Digital Twin. Clădirile nou puse în funcțiune sau renovate – precum clădirea site pilot din cadrul proiectului Orizont Europa RENplusHOMES – nu dispun frecvent de înregistrări de măsurare pentru mai multe luni, afectând caracterizarea sezonieră și managementul energetic.

Pentru a aborda această limitare, a fost dezvoltată o Rețea Generativă Adversă pe Serii Temporale, Condiționată de o Clădire-Profesor (TC-TimeGAN) [1], care exploatează o clădire „profesor” complet contorizată pentru a ghida generarea profilului energetic al unei clădiri „țintă” cu date insuficiente.

Ideea de „teacher-conditioned” (TC) se referă la faptul că modelul este antrenat/ghidat cu ajutorul unui alt model (sau al datelor reale) care joacă rol de „profesor” – de aceea a fost aleasă formularea „ghidată de un model-profesor”, care transmite sensul tehnic.

Formularea problemei și date despre clădiri

Studiul implică două clădiri de birouri de înălțime medie, situate în București, România, care funcționează conform programelor standard de birouri europene. Clădirea-țintă dispune de măsurări energetice orare pentru șapte luni consecutive (iunie–decembrie), înregistrarea parțială fiind rezultatul instalării contorizării la mijlocul anului, în timp ce „clădirea-profesor” – o clădire comparabilă din același cartier urban, având aceeași vechime de construcție, suprafață și clasificare de ocupare – furnizează o înregistrare orară completă de douăsprezece luni pentru același an calendaristic. Obiectivul este de a genera secvențe sintetice pentru fiecare dintre cele cinci luni lipsă (ianuarie–mai) care să păstreze proprietățile distribuționale ale clădirii-țintă pentru lunile observate, prezentând în același timp modele sezoniere consistente cu măsurările „clădirii-profesor” pentru lunile neobservate.

Metodologie

Înainte de a transfera orice informație sezonieră, „clădirea-profesor” este validată formal ca donator sezonier compatibil, utilizând un criteriu al erorii medii pătratice (MSE) normalizate a profilului zilnic, calculat pe toate lunile de observație comune, „profesorul” fiind acceptat doar dacă MSE-ul lunar maxim pe perioada de suprapunere rămâne sub un prag $\tau = 0,08$. Pentru lunile absente din înregistrarea-țintă, factorii multiplicativi de transfer sezonier sunt derivați din măsurările anuale ale „clădirii-profesor”, plafonați la o amplificare maximă de $1,8\times$ pentru a evita supra-scalarea. Pentru fiecare lună calendaristică, un vector de context sezonier cu 24 de dimensiuni este derivat din profilul orar mediu normalizat al „clădirii-profesor”.

TC-TimeGAN cuprinde cinci componente de rețea neuronală. Embedder-ul, Recovery-ul, Supervisor-ul și Critic-ul [2], respectă principiul structural consacrat al TimeGAN, în timp ce Generatorul Condiționat $G(z, c)$ constituie principala contribuție arhitecturală inovatoare: vectorul lunar de context sezonier este proiectat, repetat pe lungimea secvenței și concatenat cu intrarea de zgomot la fiecare pas de timp, oferind generatorului o informație sezonieră slabă a priori, păstrând totodată stohasticitatea pentru diversitatea sintezei. Obiectivul Wasserstein GAN cu penalizare de gradient (WGAN-GP) [3] înlocuiește funcția de pierdere standard [4]

de entropie încrucișată binară pe parcursul antrenării, impunând constrângerea de 1-Lipschitz [4], [5] asupra criticului printr-o penalizare a normei gradientului și oferind o antrenare substanțial mai stabilă în regimul cu date insuficiente, caracteristic contorizării parțiale anuale.

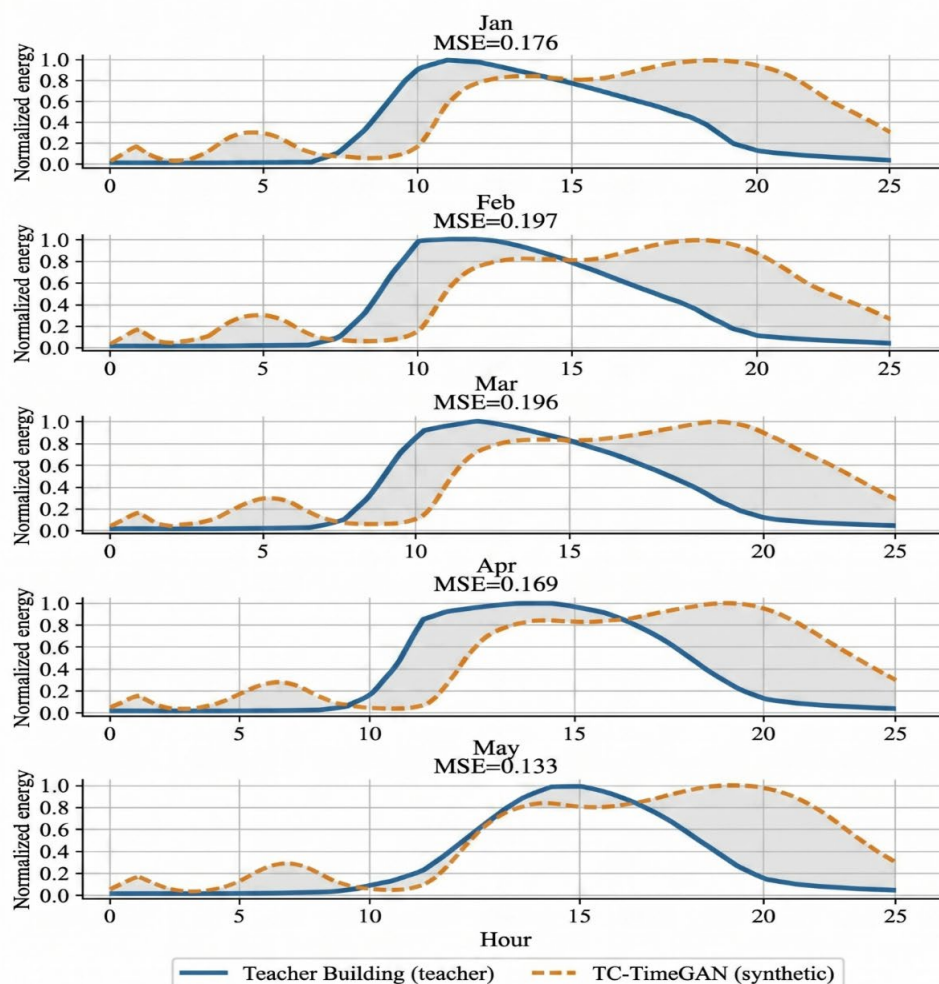


Figura 3. Arhitectura generatorului condiționat $G(z, c)$ și programul de antrenare în patru faze al TC-TimeGAN.

Antrenarea se desfășoară în patru faze: Faza 1 (Embedding, 300 de epoci) preîncălzește rețelele Embedder și Recovery; Faza 2 (Supervizată, 300 de epoci) antrenează Supervisor-ul pentru a modela dinamica temporală în spațiul latent; Faza 3 (WGAN-GP comună, 500 de epoci, limitată de hardware-ul disponibil) actualizează în comun toate cele cinci rețele sub obiectivul adversarial Wasserstein, combinat cu pierderile supervizate și de potrivire a momentelor, folosind un raport de actualizare critic-generator de 5:1; iar Faza 4 (Alinierea profilului, 300 de epoci) ajustează fin generatorul și supervisor-ul folosind o nouă funcție de pierdere de aliniere a profilului, L_{pa} , care penalizează abaterile dintre profilul orar generat mediat pe lot și profilul sezonier al „clădirii-profesor” pentru luna-țintă, impunând direct coerența sezonieră.

Calitatea modelului este evaluată folosind un set de șapte metrici: Scorul Discriminativ (un clasificator LSTM care distinge fereastrele reale de cele sintetice), Scorul Predictiv (un predictor GRU antrenat pe date sintetice și evaluat pe date reale), vizualizarea t-SNE a distribuțiilor reale și sintetice, Discrepanța Medie Maximă (Maximum Mean Discrepancy), o nouă metrică Out-of-Sample Profile MSE care compară profilurile generate pentru lunile lipsă direct cu profilul măsurat al „clădirii-profesor”, statistica Kolmogorov–Smirnov și MAE-ul autocorelației la decalaje de 1–12 ore.

Rezultate

„Clădirea-profesor” a fost validată ca donator sezonier compatibil față de clădirea-țintă pe toate cele șapte luni de observație comune (iunie–decembrie): toate cele șapte luni au satisfăcut pragul de compatibilitate $\tau = 0,08$, cu valori MSE normalizate lunare cuprinse între 0,0181 (iulie) și 0,0617 (octombrie), și o corelație Pearson medie de $r = 0,942$ pe perioada de suprapunere. MSE-ul ridicat observat în octombrie reflectă tranziția sezonieră dintre regimurile HVAC de răcire și încălzire – o perioadă de divergență previzibilă între clădiri cu caracteristici diferite ale anvelopei – totuși această valoare rămâne confortabil sub pragul prescris, confirmând faptul că criteriul de compatibilitate este calibrat corect pentru a permite variabilitatea lunilor de tranziție, fiind în același timp capabil să respingă clădirile-donator structural incompatibile.

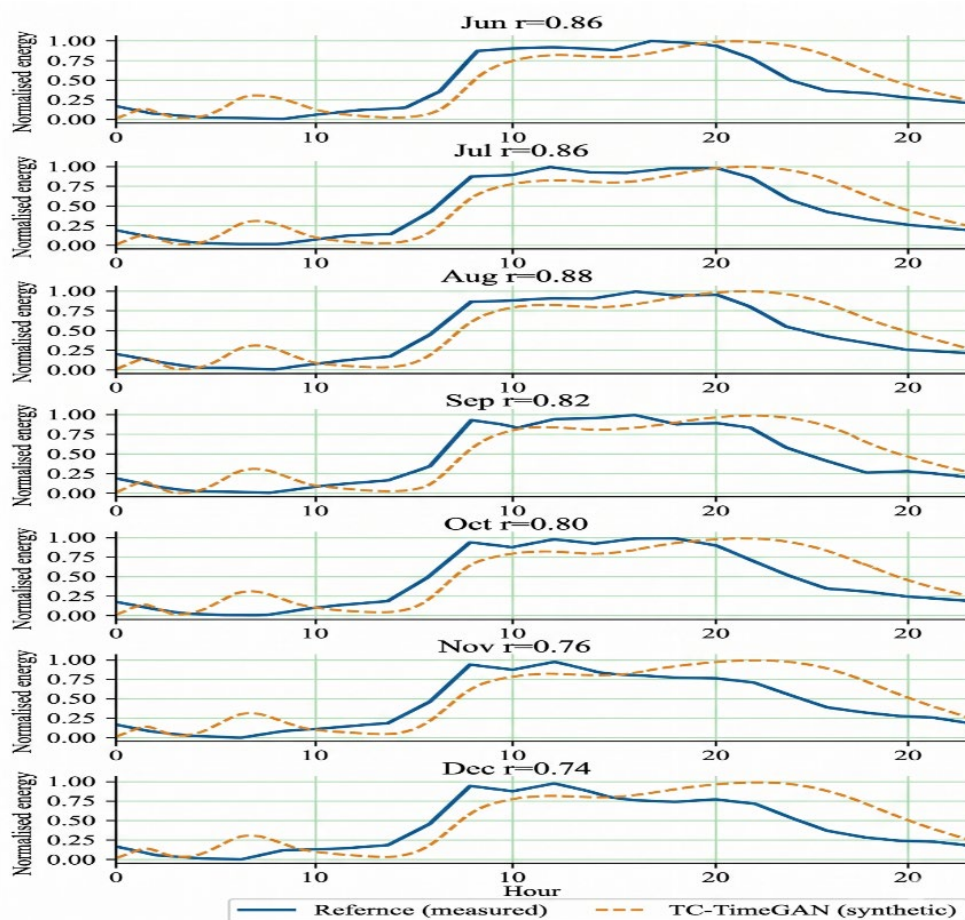


Figura 4. Comparația profilurilor zilnice normalizate ale clădirii-profesor și clădirii-țintă pentru lunile de observație comune, și reconstrucția out-of-sample a profilurilor pentru cele cinci luni lipsă (ianuarie–mai).

Adoptarea obiectivului WGAN-GP a rezolvat instabilitatea cauzată de dominanța discriminatorului, caracteristică antrenării GAN standard în regimul cu date insuficiente impus de înregistrarea de șapte luni a clădirii-țintă, iar funcția de pierdere de aliniere a profilului, introdusă în a patra fază a curriculumului, a produs secvențe generate al căror profil orar mediu pentru fiecare lună reconstruită a urmărit strâns forma sezonieră corespunzătoare a „clădirii-profesor”. Antrenarea adversarială din Faza 3 a fost limitată la 500 de epoci de hardware-ul disponibil pentru această etapă a proiectului. O antrenare extinsă pe o infrastructură GPU dedicată este planificată ca o continuare imediată a acestei lucrări și se estimează că va aduce îmbunătățiri suplimentare la toate cele șapte metrici de evaluare.

Concluziile studiului TC-TimeGAN

TC-TimeGAN oferă o soluție practică și motivată din punct de vedere fizic pentru o problemă recurentă de disponibilitate a datelor în cadrul proiectului: reconstrucția unor referințe energetice anuale complete pentru clădirile a căror infrastructură de monitorizare a fost pusă în funcțiune la mijlocul anului. Prin combinarea unui criteriu formal de compatibilitate a „clădirii-profesor”, a unui generator condiționat sezonier și a unui obiectiv dedicat de aliniere a profilului, cadrul propus susține direct obiectivul pe termen lung al modelului Digital Twin al clădirii, dezvoltat în Etapa II a proiectului, permițând o caracterizare sezonieră fiabilă, evaluarea comparativă a consumului energetic și prognoza cererii, chiar și atunci când înregistrările de măsurare pe teren sunt incomplete.

Lucrările viitoare vor extinde cadrul la tipologii suplimentare de clădiri – inclusiv clădiri rezidențiale, educaționale și cu utilizare mixtă – și la modalități energetice suplimentare dincolo de electricitate, precum energia termică și energia provenită din surse regenerabile instalate la fața locului, și vor generaliza criteriul de selecție a „clădirii-profesor” la grupuri de clădiri-donor multiple.

Raport privind deplasarea la Universitatea Valahia Târgoviște

În perioada 10- 12 iunie, directorul de proiect Mihaela Crețu a efectuat o deplasare la Universitatea Valahia din Târgoviște, partenerii noștri în proiectul european RENplusHOMES. Scopul vizitei a fost de a îmbunătăți sistemul BEMS dezvoltat prin includerea la site-ul pilot din Cluj-Napoca a unei surse de tip LPWAN (sursă de arie extinsă cu consum redus de energie) proiectată și dezvoltată de către partenerii din Târgoviște.

Extinderea infrastructurii de monitorizare BEMS cu conectivitate LPWAN (de exemplu LoRaWAN) ar completa senzorii Wi-Fi și Bluetooth utilizați în prezent. Datorită razei de acoperire mult mai mari și a consumului energetic redus, o astfel de soluție ar permite integrarea unor puncte de măsură greu accesibile sau îndepărtate de gateway-ul actual (structura geotermală, zone tehnice, clădiri suplimentare din campus) fără cablare și cu o durată de viață a bateriei de ordinul anilor, păstrând în același timp compatibilitatea cu arhitectura MQTT–Node-RED–PostgreSQL deja implementată.

Concluzii finale ale Etapei III

În Etapa III a proiectului, infrastructura modelului Digital Twin și de monitorizare IoT la nivelul clădirii, stabilită în etapa precedentă a proiectului, a fost extinsă printr-o nouă componentă tehnică, motivată de o analiză structurată a domeniilor actuale și a provocărilor integrării energiei din surse regenerabile în clădiri.

A fost dezvoltat un cadru generativ condiționat de o „clădire-profesor” (TC-TimeGAN) pentru a reconstrui referințe energetice anuale complete pentru clădirile cu înregistrări de contorizare parțiale, susținând direct calibrarea modelului Digital Twin al clădirii în condiții realiste, imperfecte, de monitorizare – o limitare practică recurentă la nivelul site-urilor-pilot ale proiectului.

Coroborată cu analiza integrării energiei din surse regenerabile, raportul realizat în această etapă confirmă faptul că o abordare modulară, centrată pe modelul Digital Twin – care cuprinde clădirea și infrastructura sa de date – rămâne calea cea mai promițătoare către obiectivul general al proiectului Orizont Europa – RENplusHOMES –, acela de clădiri cu energie pozitivă bazate pe surse regenerabile integrate.

Etapile viitoare ale finalizării proiectului se vor concentra pe integrarea modulului de generare a datelor sintetice direct în platforma operațională de monitorizare a clădirii-pilot, precum și pe extinderea metodologiei la site-urile-pilot ale proiectului din Spania, Estonia și Austria.

O direcție suplimentară de dezvoltare vizează extinderea infrastructurii de monitorizare BEMS cu conectivitate LPWAN (de exemplu LoRaWAN), care ar completa senzorii Wi-Fi și Bluetooth utilizați în prezent. Datorită razei de acoperire mult mai mari și a consumului energetic redus, o astfel de soluție ar permite integrarea unor puncte de măsură greu accesibile sau îndepărtate de gateway-ul actual (structura geotermală, zone tehnice, clădiri suplimentare din campus) fără cablare și cu o durată de viață a bateriei de ordinul anilor, păstrând în același timp compatibilitatea cu arhitectura MQTT–Node-RED–PostgreSQL deja implementată.

2.4 Indicatori de rezultat

- 3 etape de implementare realizate integral (2024, 2025, 2026);
- dezvoltarea sistemului modular de monitorizare IoT implementat în cadrul proiectului Orizont Europa RENplusHOMES (senzori Shelly Wi-Fi/Bluetooth, MQTT, Node-RED, Grafana);
- 1 platformă Digital Twin proiectată și extinsă progresiv pe parcursul celor trei etape;
- 1 cadru metodologic nou de generare a datelor sintetice (TC-TimeGAN), dezvoltat și validat în Etapa III;
- 4 lucrări științifice prezentate/transmise la conferințe internaționale indexate (MediTech 2024, SEST 2024, FES 2025, IEEE PES ISGT 2025);
- 3 deplasări externe de documentare și diseminare (Barcelona – Spania, Dubai – Emiratele Arabe Unite, Târgoviște – România);
- 3 burse acordate tinerilor cercetători (2 postdoctorale, 1 masterand) în Etapa I;
- 3 burse acordate tinerilor cercetători (1 postdoctorală, 2 doctoranzi) în Etapa 2;
- 2 burse doctoranzi în Etapa 3.

2.5 Nerealizări înregistrate

Toate activitățile planificate pentru cele trei etape ale proiectului au fost realizate conform planificării inițiale; nu au fost înregistrate nerealizări față de rezultatele estimate prin cererea de finanțare.

3. Modul de atribuire și exploatare de către parteneri a drepturilor de proprietate

Rezultatele obținute în cadrul proiectului (modele, algoritmi, seturi de date, documentație tehnică) sunt proprietatea Universității Tehnice din Cluj-Napoca, în calitate de beneficiar al finanțării, și rămân disponibile în cadrul Centrului de Cercetare pentru Tranziția Energetică (EnTReC) pentru activități viitoare de cercetare.

Rezultatele științifice au fost diseminate public prin publicare în cadrul unor conferințe internaționale indexate. Exploatarea în comun a rezultatelor cu partenerii internaționali ai proiectului RENplusHOMES (Spania, Estonia, Austria) și cu Universitatea Valahia din Târgoviște se realizează prin schimb de know-how ethnic și colaborare la publicații comune.

4. Impactul estimat al rezultatelor obținute

Rezultatele obținute pe parcursul celor trei etape ale proiectului au condus la o infrastructură de cercetare integrată la clădirea-pilot UTCN (Complexul Studențesc Mărăști), care combină tehnologii regenerabile fizice (structură geotermală, panouri fotovoltaice din celule reciclate) cu o platformă digitală completă de monitorizare și modelare (sistem IoT modular, Digital Twin, cadru de generare a datelor sintetice TC-TimeGAN). Această infrastructură crește nivelul de pregătire tehnologică (TRL) al soluțiilor RENplusHOMES testate în România și oferă un model replicabil pentru celelalte site-uri-pilot ale proiectului european (Spania, Estonia, Austria).

Cel mai semnificativ rezultat al proiectului îl reprezintă platforma modulară Digital Twin dezvoltată și validată progresiv pe parcursul celor trei etape — de la sistemul IoT de achiziție a datelor (Etapa II) până la cadrul TC-TimeGAN de completare a înregistrărilor energetice incomplete (Etapa III) — care oferă o soluție integrată, replicabilă și extensibilă pentru monitorizarea, caracterizarea sezonieră și optimizarea energetică a clădirilor cu energie pozitivă.

Diseminarea rezultatelor prin patru lucrări științifice la conferințe internaționale indexate (IEEE Xplore) și prin colaborări directe cu parteneri internaționali (ITeC Barcelona) și naționali (Universitatea Valahia Târgoviște) a consolidat vizibilitatea UTCN și a centrului de cercetare EnTReC în comunitatea internațională de cercetare privind clădirile inteligente și tranziția energetică.

5. Rezumat executiv

Proiectul „Clădiri pozitive energetic bazate pe surse regenerabile integrate” (52PHE, 2024–2026) a susținut, la nivelul Universității Tehnice din Cluj-Napoca, implementarea și testarea la clădirea-pilot a Complexului Studentesc Mărăști a soluțiilor dezvoltate în cadrul proiectului Orizont Europa RENplusHOMES.

În Etapa I (2024) a fost extins sistemul de monitorizare a consumurilor energetice (BEMS) existent la nivelul clădirii pilot a proiectului Orizont Europa RENplusHOMES. În paralel, echipa a consolidat capacitatea de cercetare prin acordarea a trei burse (2 postdoctorale, 1 masterand) și prin studiul literaturii privind casele pozitive energetic și comunitățile de energie. S-au diseminat rezultatele prin publicarea a două articole la conferințe internaționale (7th International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, SEST 2024, 10-12 septembrie 2024, Torino, Italia și 9th International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology – MediTech 2024, 30 septembrie -2 octombrie 2024, Cluj-Napoca, România). De asemenea, s-a realizat o vizită de studiu la partenerul din proiectul Orizont Europa, RENplusHOMES, Institutul Catalan de Tehnologie Construcțiilor, Barcelona, Spania, în decembrie 2024.

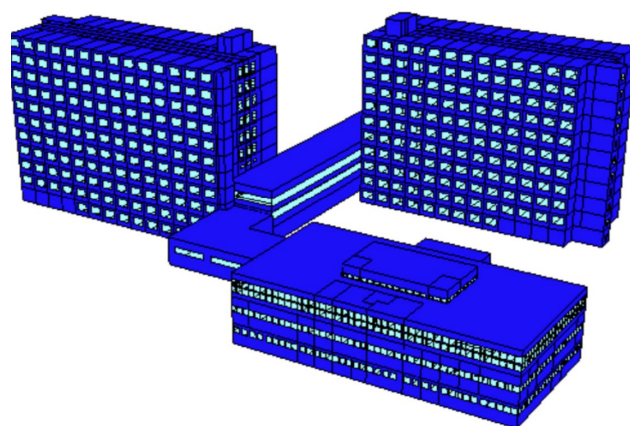
În Etapa II (2025), infrastructura de monitorizare a fost extinsă printr-un sistem modular IoT (senzori Shelly, protocol MQTT, Node-RED) și printr-o platformă de telemetrie MQTT–PostgreSQL, iar clădirea-pilot a fost transformată într-un model digital (Digital Twin) conectat la senzori în timp real. S-au acordat 3 burse de cercetare – 2 doctorale, 1 postdoctorală – și au fost publicate două articole la conferințe internaționale - Future Energy Solutions Conference, FES 2025, 24-26 Septembrie 2025, Cluj-Napoca, România, respectiv IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2025 Conference, 23-26 Noiembrie, Dubai, UAE.

În Etapa III (2026), Digital Twin-ul a fost extins cu un cadru generativ de tip rețea adversarială (TC-TimeGAN), care reconstruiește referințele energetice anuale complete pentru clădirile cu înregistrări de contorizare parțiale — o limitare practică frecventă la punerea în funcțiune a sistemelor de monitorizare. De asemenea, a fost realizat un stagiu de documentare/cercetare la Universitatea Valahia din Târgoviște, partener în cadrul proiectului Orizont Europa, RENplusHOMES.

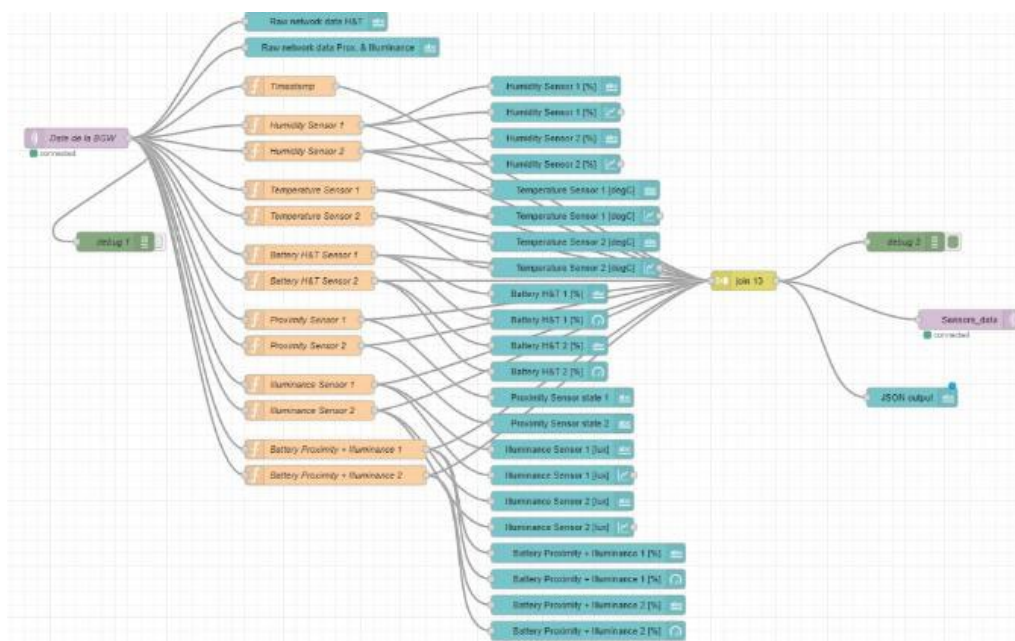
Pe parcursul celor trei etape, echipa de 14 cercetători a publicat 4 lucrări științifice la conferințe internaționale indexate și a derulat 3 deplasări de documentare și colaborare internațională (Barcelona, Dubai, Târgoviște), consolidând parteneriatele cu partenerii proiectului RENplusHOMES.

Rezultatul central al proiectului este o platformă modulară Digital Twin — integrând tehnologii fizice regenerabile, monitorizare IoT și metodologii avansate de completare a datelor — replicabilă la celelalte site-uri-pilot ale proiectului RENplusHOMES din Spania, Estonia și Austria.

Poze semnificative cu rezultatele proiectului:



Modelul BIM (vizualizare 3D) al Campusului studentesc Măraști — baza modelului Digital Twin al clădirii-pilot.



Monitoring system architecture

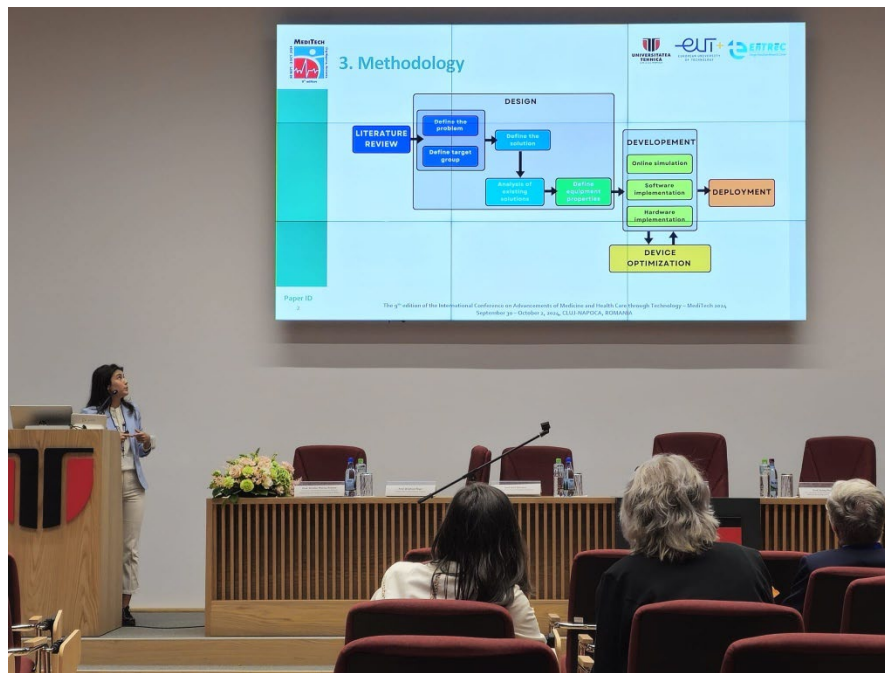
Diseminarea rezultatelor



7th International Conference on Smart Energy Systems and Technologies, SEST 2024, 10-12 settembre 2024, Torino, Italia



IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2025 Conference, 23-26 Noiembrie, Dubai, UAE



9th International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology – MediTech 2024, 30 septembrie -2 octombrie 2024, Cluj-Napoca, România

6. Link către pagina web a proiectului

<https://lcmn.utcluj.ro/renplushomesro/>

Anexă — Publicații rezultate din proiect

Pe parcursul celor trei etape ale proiectului au fost prezentate/transmise spre publicare 5 lucrări științifice la conferințe internaționale indexate:

- Briscan, R.-V., Forț, C., Vlad, S., Șteț, D. — „Prototip pentru aplicații de telemedicină în cadrul caselor pozitiv energetice pentru îmbunătățirea accesibilității la îngrijirea medicală” — MediTech 2024, Cluj-Napoca, România, 30 sept.–2 oct. 2024 (IFMBE Proceedings Series).
- Farkas, T., Ceclan, A., Czumbil, L., Micu, D.D. — „Viitor Sustenabil într-un Campus Universitar: O Analiză Cuprinzătoare a Emisiilor de CO₂ și un Plan de Acțiune” — SEST 2024, Torino, Italia, 10–12 sept. 2024 (IEEE Xplore).
- Rahman, M., Tanzil, S., Crețu, M., Micu, D.D. — „Current Scopes and Challenges Associated with Renewable Energy Integration across Various Systems” — Future Energy Solutions (FES) 2025, Cluj-Napoca, România, 24–26 sept. 2025 (IEEE Xplore).
- Crețu, M., Lăncrănjan, M.N., Micu, D.D. — „Assessing Vehicle-to-Grid as a Flexible Energy Storage Solution for Buildings: Case Studies and Policy Outlook in Romania” — IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) 2025, Dubai, EAU, 23–26 nov. 2025, (IEEE Xplore).

Anexă — Deplasări externe

Pe parcursul celor trei etape ale proiectului au fost efectuate 3 deplasări externe de documentare, diseminare și colaborare:

- Barcelona, Spania — ITeC (Institutul Catalan de Tehnologia Construcțiilor), 4–8 decembrie 2024, Mihaela Crețu și Dan Doru Micu — documentare și diseminare privind integrarea API a sistemului BEMS.
- Dubai, Emiratele Arabe Unite — Conferința IEEE PES ISGT 2025, 21–26 noiembrie 2025, Mihaela Crețu — prezentare lucrare științifică și chairman al sesiunii Smart Mobility.
- Târgoviște, România — Universitatea Valahia, 10–12 iunie 2026, Mihaela Crețu — colaborare privind integrarea unei surse LPWAN în sistemul BEMS al clădirii-pilot.

Bibliografie

- [1] I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, and Y. Bengio, "Generative adversarial networks," *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 27, 2014.
- [2] Yoon, J., Jarrett, D., & van der Schaar, M. (2019). Time-series generative adversarial networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 32.
- [3] Gulrajani, I., Ahmed, F., Arjovsky, M., Dumoulin, V., & Courville, A. C. (2017). Improved training of Wasserstein GANs. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 30.
- [4] Arjovsky, M., Chintala, S., & Bottou, L. (2017). Wasserstein GAN. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 70, 214–223.
- [5] Arjovsky, M., & Bottou, L. (2017). Towards principled methods for training generative adversarial networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.