

*Clădiri pozitive energetic bazate
pe surse regenerabile
integrate*

RAPORT ȘTIINȚIFIC

Etapă II

Proiect nr. 52PHE/2025

CUPRINS

Listă Figuri	3
Proiectul Orizont Europa - RENplusHOMES	4
1. Rezumat	4
2. Obiective	4
3. Echipa de implementare.....	5
4. Rezumatul etapei în anul 2025	6
5. Descrierea științifică și tehnică.....	7
a) Proiectarea modelului digitalizat al clădirii (Digital Twin).....	7
b) Dezvoltarea unui sistem modular de monitorizare pentru medii de testare inteligente ..	8
c) Arhitectura și Implementarea unei Platforme MQTT–PostgreSQL pentru Monitorizarea Distribuită a Mediului	15
6. Concluzii finale	18
Bibliografie	19
Raport publicații	20
Raport deplasare externă la Conferința Internațională IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2025, Dubai, UAE.....	22

Listă Figuri

<i>Figura 1 Modelul BIM (vizualizare 3D) al Campusului studențesc Mărăști – UTCN.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 Diagrama bloc a sistemului de monitorizare.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3 Interfața utilizatorului pentru exportul datelor.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 Interfața cu utilizatorul</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 Diagrama bloc a procesării Node-RED</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 Semnal de monitorizare a temperaturii.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 Semnal de monitorizare a umidității</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 Semnal de monitorizare a iluminatului din camere</i>	<i>14</i>

Proiectul Orizont Europa - RENplusHOMES

1. Rezumat

Clădirile sunt responsabile de aproape 40% din consumul de energie și 36% din emisiile de CO₂ în UE, iar 84% din cererea lor provine încă din combustibili fosili. Având în vedere relevanța mare a sectorului clădirilor pentru reducerea emisiilor, conceptul de PEB (clădiri cu energie pozitivă) stârnește un interes tot mai mare. De asemenea, deșeurile din construcții și demolări reprezintă 35% din deșeurile UE. Proiectul european RENplusHOMES abordează tranziția durabilă prin soluții care reduc atât emisiile de carbon cât și deficitul de resurse și sărăcia energetică, promovând educația și participarea părților interesate.

2. Obiective

Obiectivul general al proiectului european RENplusHOMES este de a dezvolta o metodologie universală pentru casele și cartierele cu energie pozitivă, pentru a facilita tranziția către clădiri rezidențiale neutre din punct de vedere climatic și pozitive energetic. Dezvoltările metodologice pornesc de la cele mai recunoscute și renumite organisme de standardizare/certificare a clădirilor, precum Institutul Internațional și Hellenic PassivHaus (Austria/Germania/Grecia/Spania/Estonia), QUALITEL (Franța), RoGBC (România). Pentru a transforma o clădire într-o „clădire pozitivă”, proiectul se bazează pe un set extins și accesibil de tehnologii cheie (KTs), construind pachete tehnologice (TPs) ușor replicabile și soluții software integrate pentru a simplifica procesele, aplicabile atât pentru renovări, cât și pentru construcții noi. Tehnologiile ce urmează a fi dezvoltate în cadrul proiectului Orizont Europa, RENplusHOMES au fost selectate pentru a i) reprezenta cele mai bune practici din lumea industrială în ceea ce privește inovația (performanță, reciclabilitate, adoptare pe piață, modele de afaceri), dar și ii) pentru a sprijini dezvoltarea celor mai bune mixuri tehnologice (TMs) din punctul de vedere al generatorilor/furnizorilor. Abordarea metodologică va fi implementată și testată în 4 țări din UE și în diferite climaturi (Spania, Estonia, Austria și România), atât în construcții noi, cât și în clădiri renovate, pentru a obține surplus de energie.

3. Echipa de implementare

Prenume și Nume	UEFISCDI ID (UEF-iD) din BrainMap	Calitatea	Poziția ocupată în cadrul proiectului
Mihaela Crețu	U-1700-036Y-4008	Conferențiar	Director de proiect
Dan Doru Micu	U-1700-030M-3027	Profesor	Membru proiect - cercetător
Laura Darabant	U-1700-035Y-7756	Profesor	Membru proiect- cercetător
Denisa Șteț	U-1700-035S-9973	Conferențiar	Membru proiect- cercetător
Ștefan Cîrstea	U-1700-031W-5612	Conferențiar	Membru proiect- cercetător
Levente Czumbil	U-1700-038K-5323	Conferențiar	Membru proiect- cercetător
Andrei Ceclan	U-1700-031E-3515	Conferențiar	Membru proiect- cercetător
Dacian Jurj	U-1900-064D-1116	Cercetator postdoctoral	Membru-Cercetator postdoctoral
Alexandru Mureșsan	U-1900-062B-5257	Cercetator postdoctoral	Membru-Cercetator postdoctoral
Claudia Mureșsan	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	Masterand	Membru - Masterand

4. Rezumatul etapei în anul 2025

Etapa 2 de implementare a proiectului „Clădiri pozitive energetic bazate pe surse regenerabile integrate” a cuprins trei activități principale:

Activitatea 2.1: Proiectarea unui model digitalizat al clădirii pilot din cadrul proiectului

Proiectarea unui model digitalizat – Digital Twin - al unei clădiri se referă, în general, la realizarea unei reprezentări virtuale exacte și detaliate a unei construcții, utilizând tehnologii moderne precum BIM (Building Information Model), modelare 3D sau scanare digitală. Un Digital Twin reprezintă o copie digitală dinamică a clădirii reale, construită pe baza modelului BIM. Spre deosebire de un model 3D static, Digital Twin-ul reflectă în timp real starea construcției, prin conectarea la senzori, sisteme inteligente și baze de date operaționale. În vederea construirii unui model digitalizat corect al clădirii pilot s-a utilizat modelul BIM construit în cadrul proiectului Orizont RENplusHOMES, care constă într-o reprezentare virtuală, modelare 3D, cât mai exactă și suficient de detaliată, ținând cont de datele existente la clădirea pilot.

În cadrul acestei etape s-a urmărit în principal dezvoltarea unui sistem modular de monitorizare pentru medii de testare inteligente, dezvoltat pentru clădirea pilot din cadrul proiectului Orizont Europa, respectiv unul dintre Căminele Studențești aparținând Campusului Studențesc Mărăști al Universității Tehnice din Cluj-Napoca.

Activitatea 2.2. Creșterea impactului publicațiilor și a vizibilității universității

În cadrul acestei activități s-au 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.

Participarea la aceste evenimente 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.

Activitatea 2.3 Montarea unui sistem performant de senzori care să permită preluarea și monitorizarea eficientă a datelor de la structura geotermală și de la panourile fotovoltaice, tehnologii ce vor fi instalate în clădirea pilot a UTCN

În cadrul acestei etape s-a urmărit conectarea modelului BIM la senzori IoT (Internet of Things). Pentru a transforma un model BIM într-un Digital Twin, s-au montat în clădire, respectiv în câteva camere care sunt direct conectate la sistemul geotermal și pompă de căldură, senzori care colectează date precum: temperatură și umiditate; proximitate, circulație aer, consumul de energie electrică, apă și căldură.

Aceste date sunt transmise către modelul digital prin rețele IoT și sisteme de management al clădirii (BMS – Building Management System).

Prin instalarea sistemului de senzori și proiectarea sistemului digitalizat al camerelor se va permite o vizualizare clară și în timp real a consumurilor, prin evidențierea zonelor cu consum

ridicat, compararea consumurilor reale cu cele predicționate, optimizarea funcționării echipamentelor (de ex., reducerea consumului în perioadele de neocupare). Rezultatul este creșterea eficienței energetice și reducerea costurilor de exploatare.

5. Descrierea științifică și tehnică

a) Proiectarea modelului digitalizat al clădirii (Digital Twin)

Înainte de a proiecta un model digitalizat al unei clădiri trebuie parcurse mai multe etape.

1. *Definirea scopului digitalizării*, care constă în: monitorizarea energetică în timp real, evaluarea comportamentului structural al clădirii, gestionarea instalațiilor și echipamentelor, mentenanța predictivă, simulări și optimizare operațională.

După care, se decide ce date sunt necesare și ce nivel de integrare se dorește.

Modelul Digital Twin se bazează pe modelul BIM complet realizat în cadrul proiectului Orizont – Figura 1 – la care s-au adăugat parametri necesari pentru conectare (nume senzori, coduri, locații). Practic, BIM devine scheletul digital al clădirii reale.

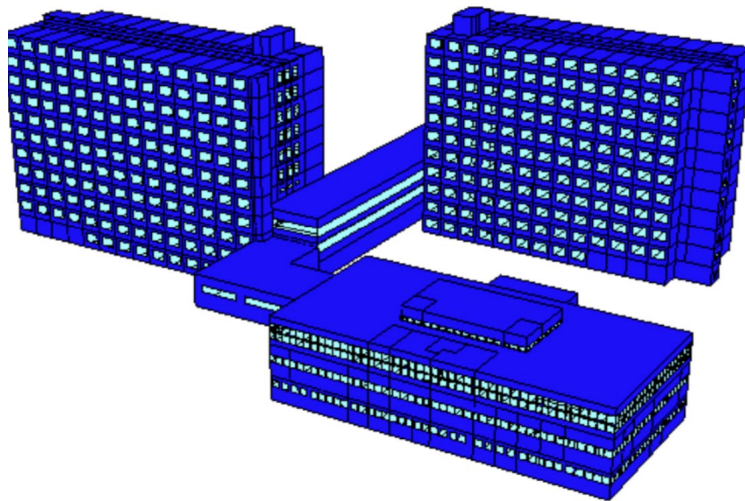


Figura 1 Modelul BIM (vizualizare 3D) al Campusului studențesc Măraști – UTCN

2. *Identificarea punctelor ce necesită monitorizare*

Pentru aceasta, se analizează clădirea pentru a stabili unde și ce se măsoară, respectiv consumuri: electricitate, apă, agent termic, parametri microclimat: temperatură, CO₂, umiditate, echipamente critice: centrale, chillere, ventilatoare, pompe, elemente structurale: vibrații, deformări.

Rezultatul final este un plan complet al senzorilor la nivelul clădirii.

3. *Selectarea și instalarea senzorilor IoT*

În funcție de datele necesare, se aleg și se montează: senzori de temperatură, umiditate, presiune, contoare inteligente (smart meters), senzori pentru calitatea aerului, gateway-uri IoT

pentru transmiterea datelor. Senzorii trebuie să fie calibrați, să aibă conectivitate (Wi-Fi, LoRaWAN, BACnet, Modbus etc.), respectiv să fie poziționați strategic.

4. Conectarea senzorilor la o platformă de date (IoT Platform)

Datele brute colectate trebuie transmise către o platformă. Pentru aceasta se configurează protocoale de comunicare, se creează fluxurile de date, se stabilizează frecvența de citire (de ex. la 1 minut, 5 minute etc.) și se implementează filtre și validări pentru eliminarea valorilor eronate. Platforma creată poate fi cloud sau poate fi o platformă locală (server intern).

5. Integrarea datelor din senzori în modelul BIM

Fiecare senzor este asociat unui element din model, iar valorile măsurate sunt afișate în timp real în model, creându-se legături dinamice între obiectele BIM și datele operaționale. Modelul devine astfel interactiv, nu doar descriptiv.

6. Crearea interfeței de vizualizare și monitorizare

Se realizează o platformă vizuală prin care utilizatorul poate vizualiza în timp real consumurile, parametri mediului ambiant (temperatură, umiditate), proximitate.

7. Validarea, testarea și calibrarea sistemului

Înainte de punerea în exploatare a sistemului se verifică dacă datele primite corespund realității, respectiv se ajustează calibrarea senzorilor, se definesc scenariile de intervenție, se optimizează intervalele de citire și volumul de date. Astfel, modelul digital reflectă perfect clădirea reală.

În continuare, se poate preciza că modelul Digital Twin este o platformă utilizată pentru monitorizarea zilnică a consumurilor, optimizarea energetică, detectarea timpurie a defectelor și planificarea lucrărilor de mentenanță, oferind totodată posibilitatea de a anticipa și menține un nivel optim al confortului ocupanților clădirii.

b) Dezvoltarea unui sistem modular de monitorizare pentru medii de testare inteligente

Ca parte din modelul digitalizat al clădirii, este esențială înțelegerea infrastructurii hardware și software care poate asigura fluxul continuu de date necesar sincronizării dintre modelul digital și clădirea reală. În acest context, în cadrul acestei etape a proiectului s-a dezvoltat un sistem modular și dinamic de monitorizare pentru medii de testare inteligente.

Sistemul a fost dezvoltat pentru a asigura monitorizarea în timp real a parametrilor de medii cheie, cum ar fi temperatura, umiditatea, proximitatea și iluminarea în camerele de testare desemnate ca și site pilot din cadrul proiectului Orizont Europa – RENplusHOMES - utilizând tehnologii open-source cu costuri reduse pentru a asigura replicabilitatea și scalabilitatea.

La baza platformei se află o arhitectură accesibilă de achiziție și comunicare a datelor bazată pe protocolul MQTT, care permite transmiterea eficientă a datelor de la senzori printr-o arhitectură de tip publish-subscribe. Node-RED este utilizat pentru a orchestra fluxul de date la nivel local, pentru a procesa datele primite și pentru a afișa informații pe un tablou de bord accesibil prin

internet. Pentru vizualizarea extinsă a datelor și accesul utilizatorilor externi, sistemul se integrează cu Grafana, oferind capacități avansate de grafică și analiză a tendințelor pe termen lung.

Arhitectura platformei pune accentul pe modularitate, permițând adăugarea de senzori sau camere suplimentare cu un efort minim de configurare. De asemenea, suportă accesul securizat la distanță prin rețele virtuale, ceea ce o face potrivită pentru scenarii de implementare pe mai multe site-uri.

Datorită scalabilității și versatilității sale, sistemul de monitorizare poate fi utilizat într-o varietate de aplicații, indiferent de tipul sau configurația clădirii. Obiectivul principal al proiectării a fost asigurarea accesibilității la distanță și a comunicării sigure, sprijinind în același timp colectarea de date în timp real privind multiple caracteristici ale mediului, precum temperatura, umiditatea, iluminarea, proximitatea și chiar parametrii electrici, cum ar fi tensiunea, curentul și factorul de putere. Sistemul oferă o bază cuprinzătoare pentru monitorizarea inteligentă a clădirilor și testarea răspunsului la cerere, combinând dispozitive de detectare, protocoale ușoare și interfețe intuitive pentru utilizatori, bazate pe soluții precum cele prezentate în [1], [2].

1. Arhitectura sistemului – prezentarea generală a sistemului de monitorizare

Sistemul de monitorizare este conceput pentru a colecta date de mediu în mod continuu și în timp real de la locurile de testare. Datorită designului său modular, adăugarea de unități de senzori, noduri de conexiune și interfețe de vizualizare este simplă. Detectarea, comunicarea, procesarea și vizualizarea sunt cele patru niveluri principale care alcătuiesc sistemul. Astfel de proiecte stratificate s-au dovedit eficiente în implementările inteligente în campusuri și în prototipurile de clădiri inteligente cu energie pozitivă [3], [4]. Componentele open-source sau larg acceptate sunt utilizate în construcția fiecărui strat pentru a garanta flexibilitate, accesibilitate și mentenanță pe termen lung. Arhitectura permite scalabilitatea în afara mediului de implementare original, acceptând atât accesul local, cât și accesul la distanță la date.

Arhitectura sistemului de monitorizare este prezentată în Figura 2.

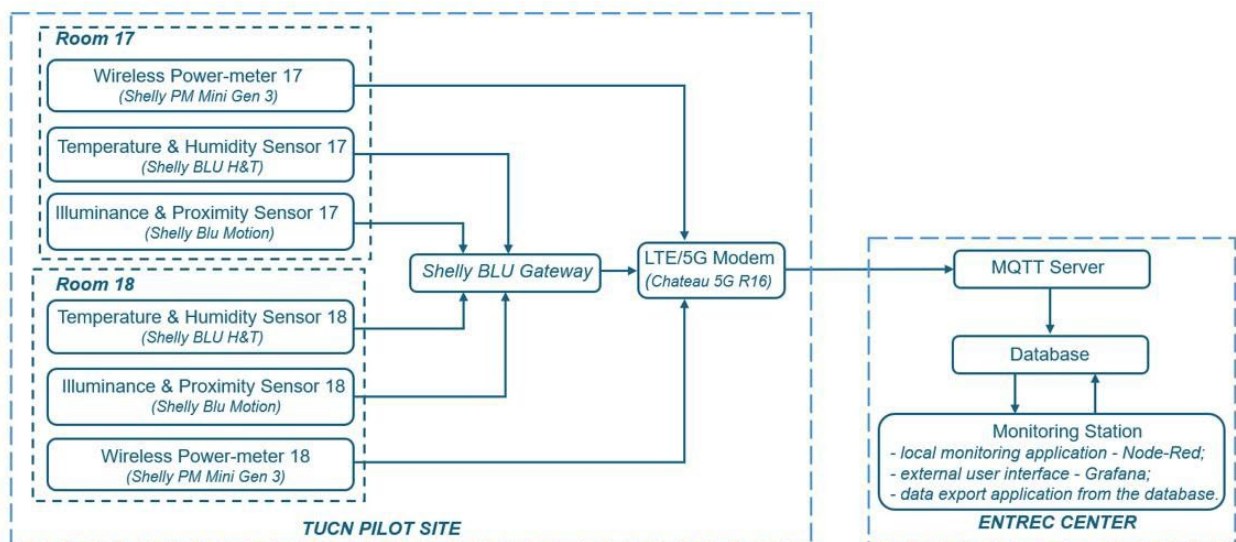


Figura 2 Diagrama bloc a sistemului de monitorizare

În camerele de testare din cadrul Căminului studențesc, care constituie site-ul pilot, au fost montați diferiți tipuri de senzori de mediu: temperatura, umiditatea relativă, inclusiv iluminatul. Amplasarea senzorilor s-a făcut în funcție de configurația fiecărei camere, respectiv de scopul prevăzut, cu accent pe obținerea unor condiții de mediu reprezentative, neperturbate de nereguli localizate (cum ar fi lumina directă a soarelui sau orificiile de ventilație HVAC). Pe baza cerințelor sistemului, s-a concluzionat că hardware-ul cel mai potrivit, cu o infrastructură completă gata de utilizare, este reprezentat de diferiți senzori Bluetooth și Wi-Fi Shelly. Această modularitate este în concordanță cu concluziile din [5] și [6], unde senzorii compatibili cu Bluetooth și Wi-Fi au fost integrați în sisteme de monitorizare în timp real.

În tabelul I sunt prezentați senzorii care au fost montați în fiecare dintre camerele care au fost supuse testării.

TABELUL I

Tipul senzorului	Caracteristici cheie
Shelly PM Mini Gen 3	- măsoară și raportează parametrii electrici - Comunicare Wi-Fi - programabil
Shelly BLU H&T	- măsoară și raportează temperatura și umiditatea - Comunicare Bluetooth - durată de viață a bateriei de până la 3 ani
Shelly BLU Motion	- măsoară și raportează mișcarea și iluminarea - Comunicare Bluetooth - durată de viață a bateriei de până la 5 ani

Datele înregistrate de la senzori sunt structurate în format JSON și trimise către un broker de mesaje MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) centralizat. Conectivitatea este stabilită prin intermediul unui modem LTE echipat cu o cartelă SIM de internet mobil, permițând transmiterea fiabilă a datelor în medii fără infrastructură de rețea fixă. În plus, conectivitatea la modemul în sine este realizată printr-o poartă Bluetooth în cazul senzorilor care utilizează Bluetooth (Shelly BLU H&T, Shelly BLU Motion) sau direct în cazul senzorilor cu module Wi-Fi. Sistemul acceptă mai multe noduri de senzori per cameră, iar nodurile suplimentare pot fi integrate cu o configurație minimă datorită structurii de comunicare modulare și bazate pe subiecte. Datele senzorilor sunt transmise utilizând protocolul MQTT, un protocol de mesagerie ușor, de tip publicare/abonare, ideal pentru rețele cu lățime de bandă redusă, latență mare sau nesigure. MQTT permite fiecărui senzor să acționeze ca un editor, trimițând date către o instanță centralizată

Mosquitto broker, care poate fi găzduită local pe un dispozitiv gateway sau extern pe un server public, cum ar fi mqtt.eclipse.org.

2. Gestionarea locală a datelor

Nivelul intermediar de procesare a datelor este implementat utilizând Node-RED, un editor de flux bazat pe browser care permite programarea vizuală pentru aplicații bazate pe evenimente. Node-RED rulează pe un gateway local și este configurat pentru a se abona la subiecte MQTT relevante. Mesajele primite sunt analizate, filtrate și formate înainte de a fi transmise către o bază de date locală și afișate pe un tablou de bord local în timp real. Mediul Node-RED permite, de asemenea, crearea de fluxuri bazate pe logică, cum ar fi alerte bazate pe praguri, înregistrarea datelor în sisteme de fișiere sau baze de date și rutarea către interfețe externe. Această modularitate permite prototiparea rapidă și modificarea logicii de monitorizare, făcând-o potrivită pentru scenarii pilot în evoluție sau cazuri de utilizare în expansiune.

3. Instrumente de vizualizare

Sistemul include atât straturi de vizualizare locale, cât și la distanță. La nivel local, tabloul de bord Node-RED oferă afișarea în timp real a parametrilor de mediu prin intermediul indicatoarelor, graficelor liniare și indicatorilor de stare – Figura 3. Pentru utilizatorii externi sau pentru explorarea mai avansată a datelor, sistemul se integrează cu Grafana, o platformă open-source pentru vizualizarea și analiza datelor.

Datele senzorilor sunt transmise de la Node-RED către o bază de date de serie temporală bazată pe PostgreSQL, care este utilizată ca sursă de date pentru vizualizare în Grafana. Aceasta acceptă analiza tendințelor, studiile de corelație și raportarea pentru cercetare sau monitorizarea performanței. Funcționalitatea de alertare a Grafana permite, de asemenea, definirea pragurilor personalizate și a notificărilor pentru operatorii de sistem.

Împreună, aceste niveluri formează o arhitectură flexibilă și extensibilă care acceptă achiziția, procesarea și vizualizarea fiabilă a datelor atât în contexte operaționale locale, cât și la distanță. În scopul accesibilității datelor, a fost creat și un script de export cu parametri selectabili în interfața Node-RED.

The image shows a user interface for exporting data. The top section, titled 'Export CSV', contains two date pickers for 'Select Start Date' and 'Select End Date', both set to '29/05/2025'. Below these is a dropdown menu for 'ASC/DESC' with the option 'Select option'. A blue button with a download icon and the text 'EXPORT CSV' is positioned below the dropdown. The bottom section, titled 'Column Select', displays a grid of toggle switches for various data columns. The columns are arranged in two rows. The first row includes 'timestamp_unix' (checked), 'year' (checked), 'month' (unchecked), 'hour' (checked), 'minute' (checked), 'second' (unchecked), 'temperature_1' (checked), 'temperature_2' (checked), 'total_apower' (checked), 'apower_phase1' (checked), 'current_phase1' (checked), and 'voltage_phase1' (unchecked).

Figura 3 Interfața utilizatorului pentru exportul datelor

4. Prelucrarea datelor locale

Nivelul intermediar de procesare al sistemului de monitorizare este implementat utilizând Node-RED pentru a converti datele JSON brute în formate utilizabile pentru utilizator și baza de date. Node-RED acționează ca hub central de integrare și gestionare a datelor, abonându-se la subiecte MQTT și gestionând fluxuri de date în timp real de la senzori implementați în mediul monitorizat.

La acest nivel, fluxul de date a fost împărțit în 3 categorii principale, în funcție de tipul de date. Au fost create două tabele de baze de date diferite, una cu date de mediu și cealaltă cu date electrice. Categoria finală este formatarea și cronometrarea timpului, care este comună ambelor tabele.

Primul flux de date primește date de mediu, cum ar fi temperatura, umiditatea, proximitatea și iluminatul, provenite de la mai mulți senzori instalați în mediul de testare. Fiecare tip de parametru este analizat individual și mapat la senzori specifici pentru identificare și trasabilitate. Instrumentele încorporate ale Node-RED sunt utilizate pentru formatarea marcajelor de timp, îmbogățirea metadatelor și redirecționarea datelor către tablouri de bord locale pentru vizualizare imediată.

Starea bateriei și timpul de livrare pentru senzorii Bluetooth sunt, de asemenea, înregistrate ca parte a acestui flux de date, permițând evaluarea stării senzorilor și a latenței comunicației – Figura 4. Datele procesate sunt înregistrate într-o bază de date dedicată parametrilor de mediu, în scopul arhivării și analizei.

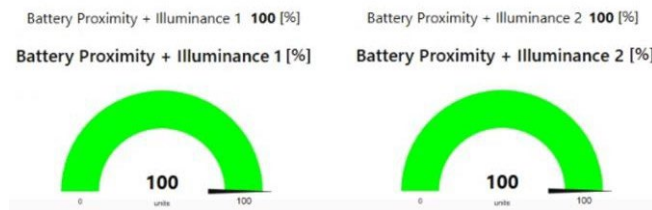


Figura 4 Interfața cu utilizatorul

Al doilea flux de date, care conține date electrice, este colectat de la un dispozitiv de măsurare inteligent care monitorizează tensiunea, curentul, puterea activă, puterea aparentă și consumul de energie. Acești parametri sunt esențiali pentru profilarea consumului de energie și evaluarea comportamentului echipamentelor sub sarcini operaționale. În cazul nostru, senzorul monitorizează prizele din camere.

Pentru a păstra modularitatea și a evita congestionarea datelor, aceste două categorii sunt stocate în baze de date PostgreSQL separate, facilitând analiza independentă și urmărirea performanței.

Al treilea flux se referă la sincronizarea timpului, care este esențială pentru menținerea consistenței temporale între seturile de date de mediu, electrice și de control. Un segment separat de flux interoghează un server NTP (Network Time Protocol) pentru a prelua și sincroniza ceasul sistemului. Aceste valori de timp sunt formate și introduse în conducta de procesare pentru a se asigura că toate înregistrările stocate respectă standardele ISO 8601 privind marcarea temporală. Acest lucru permite, de asemenea, alinierea precisă între semnalele de mediu, electrice și de control.

Datele primite sunt decodificate din pachete MQTT și dirijate prin noduri de transformare pentru formatare, marcare temporală și aplicarea schemelor. Nodurile de depanare sunt incluse de-a lungul joncțiunilor cheie pentru validarea în timp real. Odată procesate, datele sunt inserate în baze de date structurate utilizând noduri SQL configurate pentru PostgreSQL.

Designul modular al mediului Node-RED permite reconfigurarea rapidă și scalabilitatea. Noile senzori, tipuri de parametri sau destinații de stocare suplimentare pot fi integrate cu o întrerupere minimă a logicii de bază – Figura 5.

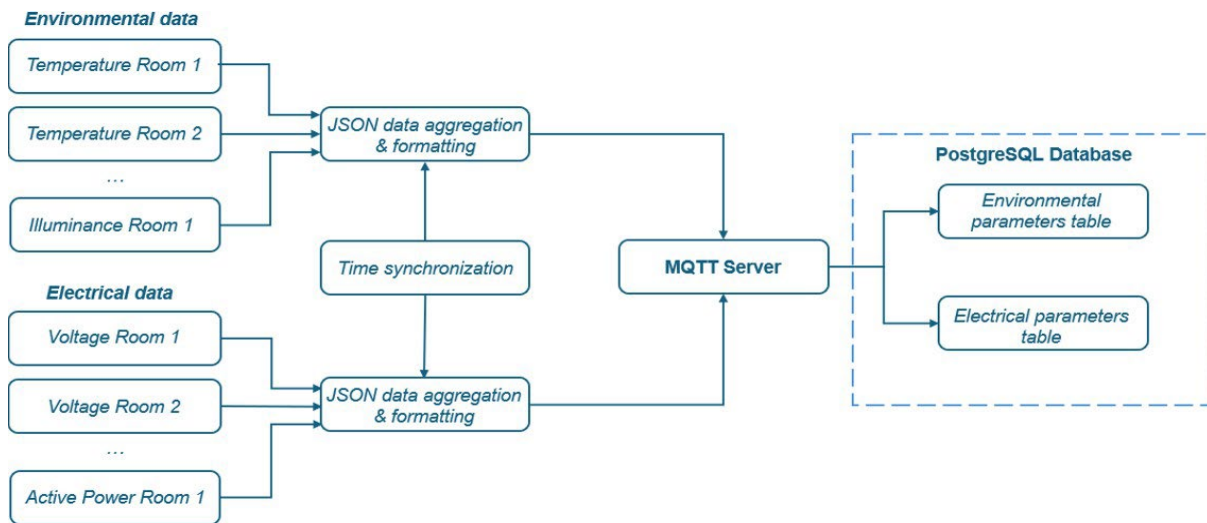


Figura 5 Diagrama bloc a procesării Node-RED

5. Interfața cu utilizatorul

Nivelul de vizualizare al sistemului de monitorizare este împărțit între tablouri de bord locale în timp real pentru monitorizarea operațională și platforme externe pentru analize pe termen lung. Împreună, aceste interfețe oferă atât o cunoaștere imediată a situației, cât și informații bazate pe date privind condițiile de mediu și consumul de energie în cadrul site-ului de testare.

Pentru utilizatorul final, cea mai ușoară și mai atractivă interfață din punct de vedere vizual în contextul nostru este Grafana. Deși Node-RED are într-adevăr capacitatea de a afișa aceleași date, Grafana a fost creată special în scopul afișării datelor. Implementările anterioare care utilizează Grafana pentru monitorizarea mediului și-au dovedit eficacitatea pentru analiza temporală și vizualizarea ușor de utilizat [2].

Figurile 6, 7 și 8 ilustrează câteva exemple de tablou de bord Grafana utilizat pentru monitorizarea în timp real.

Diverse tipuri de senzori, fluxuri de date separate pentru parametrii electrice și de mediu și sincronizarea precisă a timpului prin NTP sunt toate suportate de design. Designul său modular se adaptează atât cerințelor de monitorizare locală, cât și la distanță și garantează integrarea simplă a noilor surse de date.

Implementările inițiale au demonstrat reziliența, reactivitatea și utilitatea sistemului în

condiții practice, în special în ceea ce privește monitorizarea consumului de energie al pompelor de căldură și modul în care acesta este influențat de factori externi. Adaptabilitatea sistemului permite, de asemenea, adaptarea rapidă la scenarii viitoare care necesită senzori, interfețe utilizator sau module de control suplimentare.

Activitatea viitoare se va concentra pe extinderea implementării în alte locații de testare, integrarea buclelor de feedback de control pentru aplicații de răspuns la cerere și îmbunătățirea caracteristicilor de securitate și analiză a datelor pentru a sprijini interacțiuni mai avansate ale rețelelor inteligente.



Figura 6 Semnal de monitorizare a temperaturii

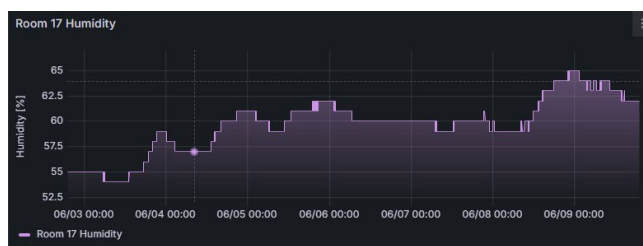


Figura 7 Semnal de monitorizare a umidității

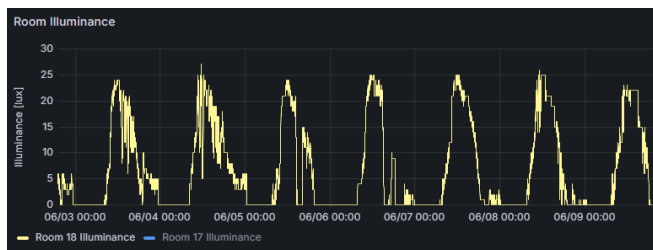


Figura 8 Semnal de monitorizare a iluminatului din camere

Un alt avantaj major al Grafana este că, odată conectată la sursa de date, platforma are o funcționalitate integrată pentru selectarea intervalului de timp al datelor vizualizate la nivel individual sau la nivel de tablou de bord. Există până la 30 de presetări, variind de la 5 minute până la ultimii 5 ani, precum și tipuri derivate, cum ar fi „Săptămâna aceasta”, „Ziua aceasta până acum”, „Anul fiscal acesta” și altele. Bineînțeles, Grafana acceptă și intervale de timp personalizate, pentru ca utilizatorii să poată defini propria perioadă pe care doresc să o vizualizeze.

c) Arhitectura și Implementarea unei Platforme MQTT–PostgreSQL pentru Monitorizarea Distribuită a Mediului

În continuare se va prezenta arhitectura unui sistem distribuit de monitorizare a mediului care utilizează MQTT pentru telemetrie și PostgreSQL pentru stocarea datelor. Obiectivul platformei este de a captura cu precizie date de înaltă frecvență de la senzorii dintr-o întreagă instalație, asigurându-se că datele privind temperatura, umiditatea, iluminatul, starea bateriei și proximitatea sunt înregistrate în mod fiabil și consecvent. Prin proiectarea sistemului în jurul unei comunicări eficiente în timp real și a unui backend analitic puternic, soluția facilitează supravegherea operațională, detectarea anomaliilor, diagnosticarea clădirilor și potențialele aplicații pentru învățarea automată în viitor.

Abordarea fundamentală a acestei arhitecturi pune accentul pe fiabilitate printr-un design modular. Fiecare element - senzori, comunicare MQTT, procesare Node-RED și stocare PostgreSQL - funcționează independent, contribuind în același timp la un flux de date integrat și scalabil. Acest design îmbunătățește rezistența sistemului la defecțiuni în subsistemele individuale și permite o adaptare ușoară pe măsură ce apar noi nevoi analitice.

1. Prezentare generală a arhitecturii sistemului

Sistemul funcționează pe baza unui flux de procesare a datelor, care începe cu colectarea informațiilor de la senzori și continuă până la înregistrarea lor în baza de date. Senzorii implementați pe teren monitorizează continuu variabilele de mediu și condițiile de sănătate ale dispozitivelor. Aceste dispozitive își publică măsurătorile către un broker MQTT, care acționează ca un hub de comunicare intermediar, conceput pentru actualizări mici și frecvente. Modelul bazat pe evenimente al MQTT asigură că, chiar și atunci când apare instabilitate în rețea, mesajele sunt livrate eficient și cu costuri minime.

Odată ce brokerul MQTT primește pachetele senzorilor, datele sunt transmise către un flux de lucru Node-RED. Node-RED joacă un rol esențial în normalizarea mesajelor, validarea structurii, îmbogățirea acestora cu timestampuri sincronizate la server și efectuarea oricăror pași necesari de preprocesare înainte de a le transmite bazei de date PostgreSQL. PostgreSQL servește apoi ca stocare de date pe termen lung, păstrând o înregistrare istorică curată și ușor de interogată a tuturor evenimentelor. De aici, tablourile de bord și instrumentele analitice, cum ar fi Grafana, scripturile Python sau sistemele de alertare, accesează și transformă datele în informații utile.

2. Schema bazei de date PostgreSQL

Tabelul PostgreSQL utilizat în acest proiect este structurat pentru a echilibra claritatea, eficiența analitică și viteza de scriere. O caracteristică notabilă a schemei este includerea mai multor forme de reprezentare a timestamp-ului. Sistemul înregistrează timestamp-ul brut Unix în milisecunde, ceea ce oferă o ancoră temporală lipsită de ambiguitate și agnostică față de dispozitiv. Pentru a facilita interogarea rapidă, în special atunci când se lucrează cu milioane de rânduri stocate

pe perioade lungi de timp, tabelul include și câmpuri descompuse, cum ar fi anul, luna, ziua, ziua lucrătoare, ora, minutul și secunda. Prin încorporarea acestor câmpuri direct în setul de date, sistemul evită calculele repetitive în timpul interogărilor, ceea ce îmbunătățește semnificativ performanța tablourilor de bord și a rapoartelor automate.

Măsurătorile de mediu sunt înregistrate pentru doua camere din incinta Căminului Mărăști. Câmpurile de stare a dispozitivului, cum ar fi nivelurile bateriei atât pentru senzorii principali de mediu, cât și pentru modulele de proximitate, permit sistemului să urmărească starea senzorilor în timp. Citirile de proximitate, stocate în paralel pentru fiecare canal, oferă informații legate de ocupare și acceptă scenarii de automatizare.

3. Fluxul de preluare a datelor

Fluxul de lucru de scriere este conceput pentru consecvență și fiabilitate. Fiecare senzor colectează date de mediu și de stare a dispozitivului la un interval predeterminat și transmite sarcina utilă JSON rezultată către brokerul MQTT. La sosire, Node-RED preia mesajul și verifică dacă structura acestuia respectă schema așteptată. Acest pas protejează sistemul de sarcini utile malformate și oferă oportunitatea de a insera metadate suplimentare.

Exemplu:

```
INSERT INTO telemetry_readings (  
    timestamp_unix, year, month, day, weekday, hour, minute, second,  
    temperature_1, humidity_1, battery_1, illuminance_1, proximity_1, battery_proximity_1,  
    temperature_2, humidity_2, battery_2, illuminance_2, proximity_2, battery_proximity_2  
) VALUES (...)
```

Una dintre cele mai importante transformări efectuate de Node-RED este înlocuirea sau suplimentarea marcajelor temporale generate de dispozitiv cu marcaje temporale de pe server. Acest lucru asigură acuratețea temporală chiar dacă senzorii individuali se abat sau repornesc. Odată procesate complet, datele sunt asamblate într-o instrucțiune SQL parametrizată și scrise în baza de date PostgreSQL. Prin menținerea unei consecvențe stricte în ordonarea câmpurilor și a tipurilor de date, canalul permite preluarea neîntreruptă de înaltă frecvență, fără a necesita o supraveghere manuală continuă.

4. Analytics and Dashboards

Cu datele stocate în mod fiabil în PostgreSQL, o varietate de instrumente analitice pot opera direct asupra setului de date. Tablourile de bord Grafana oferă vizualizări în timp real care dezvăluie modele temporale, nereguli operaționale și comportamentul general al mediului monitorizat. Fluctuațiile de temperatură pot fi urmărite oră de oră, tendințele de umiditate pot fi comparate pe parcursul zilelor sau al anotimpurilor, iar modelele de iluminare pot fi corelate cu condițiile de ocupare sau de iluminare exterioară. Nivelurile bateriei pot fi monitorizate pentru a

prezice evenimentele de întreținere a senzorilor înainte ca acestea să provoace întreruperi operaționale.

Citirile de proximitate deschid calea către informații comportamentale, cum ar fi identificarea perioadelor de mișcare neașteptată sau confirmarea modelelor normale de ocupare în timpul orelor de lucru. Atunci când sunt combinate, acești indicatori formează o vedere multidimensională a stabilității mediului și a stării ecosistemului senzorilor.

Sistemul acceptă, de asemenea, alerte automate. Pot fi definite praguri pentru orice degradare a bateriei pe teren, temperatură excesivă, niveluri neașteptate de umiditate sau detectare a mișcării pe timp de noapte. În cazul în care un prag este depășit, notificările pot fi trimise prin e-mail, mesagerie instantanee sau hook-uri de automatizare.

5. Studii de caz

Platforma acceptă o gamă largă de aplicații operaționale și analitice. Din perspectiva managementului facilităților, sistemul permite detectarea timpurie a ineficiențelor HVAC, a modelelor problematice de umiditate sau a senzorilor defecți. În timp, setul de date devine o bază istorică care poate distinge variațiile sezoniere normale de defecțiunile emergente.

Analiza predictivă beneficiază, de asemenea, de setul bogat de date. Modelele de temperatură și umiditate pot fi introduse în modele de învățare automată pentru a detecta anomalii sau a prognoza condițiile de mediu. Modelele de descărcare a bateriei pot fi modelate pentru a programa întreținerea proactivă. Datele de proximitate susțin prognoza ocupării și pot informa strategiile de economisire a energiei bazate pe profiluri reale de utilizare.

Deși tabelul actual se concentrează pe detectarea mediului, structura sa se integrează în mod natural cu alte surse de date bazate pe MQTT, cum ar fi contoarele de consum electric. Atunci când sunt combinate, seturile de date de mediu și electrice permit studii complexe ale comportamentului clădirilor, inclusiv optimizarea energetică, modelarea confortului interior și evaluarea sistemelor fotovoltaice sau a bateriilor.

6. Dezvoltări ulterioare

Sistemul este conceput intenționat având în vedere extensibilitatea. Metadate suplimentare, cum ar fi geolocalizarea per senzor, versiunile de firmware sau coeficienții de calibrare, pot fi integrate fără a restructura canalul de date de bază. Sarcinile utile MQTT brute pot fi stocate în format JSONB pentru auditare sau depanare, în timp ce analizele mai avansate pot utiliza modele de învățare automată antrenate pe baza tiparelor istorice pentru a efectua detectarea anomaliilor în timp real.

Integrarea cu sistemele HVAC și de iluminat reprezintă o evoluție naturală a platformei. De exemplu, nivelurile de iluminare ar putea automatiza ajustările iluminării, sau citirile de proximitate ar putea declanșa controlul climatic bazat pe ocupare. Pe măsură ce setul de date crește, capacitățile predictive ale platformei se vor maturiza, permițând automatizarea sofisticată a clădirilor, bazată pe date.

7. Concluzii

Platforma de telemetrie MQTT–PostgreSQL formează o bază robustă pentru monitorizare pe termen lung, analiză și informații operaționale. Prin designul său modular, aceasta asigură că datele senzorilor sunt captate cu precizie, procesate consecvent și stocate într-un format potrivit pentru tablouri de bord, analize statistice și învățare automată. Sistemul nu numai că susține nevoile operaționale actuale, dar deschide și calea către mentenanță predictivă, automatizare inteligentă și viitoare inițiative de optimizare energetică. Structura și flexibilitatea sa garantează că va rămâne valoros pe măsură ce cerințele clădirilor evoluează și ambițiile analitice se extind.

6. Concluzii finale

În cadrul Etapei II a proiectului s-a proiectat, implementat și validat un sistem modular de monitorizare electrică și de mediu bazat pe Internet of Things, în cadrul unui site pilot, două camere studentești din cadrul Campusului Universității Tehnice din Cluj-Napoca.

Sistemul oferă o soluție scalabilă și accesibilă pentru procesarea locală, vizualizarea de la distanță și colectarea datelor în timp real. Se bazează pe tehnologii open-source precum MQTT, Node-RED și Grafana.

Bibliografie

- [1] M. A. Abu Radia, M. K. El Nimr și A. S. Atlam, „Sistem wireless de achiziție și control al datelor bazat pe IoT pentru analiza performanței modulelor fotovoltaice”, *e-Prime – Adv. Electr. Eng., Electron. Energy*, vol. 6, art. nr. 100348, 2023. doi: 10.1016/j.prime.2023.100348
- [2] S. M. H. Anik, X. Gao, N. Meng, P. R. Agee și A. P. McCoy, „O infrastructură de date IoT rentabilă, scalabilă și portabilă pentru detectarea mediului interior”, *J. Build. Eng.*, vol. 49, art. nr. 104027, 2022. doi: 10.1016/j.jobbe.2022.104027
- [3] M. A. Ahmed, S. A. Chavez, A. M. Eltamaly, H. O. Garces, A. J. Rojas și Y. C. Kim, „Către un campus inteligent: platformă IoT pentru monitorizarea și controlul de la distanță al clădirilor inteligente”, *Sensors*, vol. 22, nr. 23, Art. nr. 9045, 2022. doi: 10.3390/s22239045
- [4] H. Sabit și T. Tun, „Integrarea IoT a sistemului de gestionare a clădirilor inteligente cu siguranță în caz de defecțiune”, *IoT*, vol. 5, nr. 4, pp. 801–815, 2024. doi: 10.3390/iot5040036
- [5] C.-Y. Chen, S.-H. Wu, B.-W. Huang, C.-H. Huang și C.-F. Yang, „Internetul obiectelor bazat pe web pentru controlul și monitorizarea mediului și a iluminatului utilizând comunicații Node-RED, MQTT și Modbus în cadrul platformei Linux încorporate”, *Internet Things*, vol. 27, art. nr. 101305, 2024. doi: 10.1016/j.iot.2024.101305
- [6] M. Poyyamozi, B. Murugesan, N. Rajamanickam, M. Shorfuzzaman și Y. Aboelmagd, „IoT — O soluție promițătoare pentru gestionarea energiei în clădirile inteligente: o analiză sistematică, aplicații, bariere și perspective viitoare”, *Buildings*, vol. 14, nr. 11, art. nr. 3446, 2024. doi: 10.3390/buildings14113446

Raport publicații

În cadrul acestei etape a proiectului s-au publicat două articole, prezentate la conferințe internaționale și publicate în baze de date indexate de prestigiu.

Prezenta secțiune prezintă succint rezumatul celor două lucrări publicate.

1. **Assessing Vehicle-to-Grid as a Flexible Energy Storage Solution for Buildings: Case Studies and Policy Outlook in Romania**

Autori: Mihaela Crețu, Mircea N. Lăncrănjan, Dan D. Micu

Conferința: IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2025

Locația: Dubai, Emiratele Arabe

Perioada: 23-26 Noiembrie 2025

Articolul urmează a fi indexat în baza de date internațională IEEExplore

Stocarea energiei devine un element central în optimizarea performanțelor clădirilor inteligente, contribuind atât la stabilitatea rețelei, cât și la reducerea costurilor și a emisiilor. În acest context, tehnologia Vehicle-to-Grid (V2G) a câștigat vizibilitate datorită capacității sale de a permite un flux bidirecțional de energie între vehiculele electrice și infrastructura clădirii. Această funcționalitate transformă vehiculul electric într-o resursă energetică flexibilă, capabilă să stocheze surplusul de energie regenerabilă și să îl livreze înapoi atunci când cererea crește. Studiul analizat în acest articol propune un cadru de optimizare bazat pe simulări pentru implementarea V2G la nivelul unei clădiri și îl aplică unui cămin universitar din România, comparând performanțele sistemului cu soluții staționare de stocare a energiei, precum bateriile litiu-ion și bateriile second-life provenite din vehicule electrice. Rezultatele arată că, deși beneficiile economice zilnice sunt moderate la nivel individual, agregarea mai multor sisteme V2G conduce la reduceri considerabile de costuri și emisii, evidențiind totodată avantajul cost-eficiență pe unitate de flexibilitate comparativ cu stocarea staționară.

Integrarea acestor soluții în procesul de dezvoltare a unui Digital Twin al unei clădiri este esențială, deoarece un astfel de model virtual poate simula scenarii complexe de consum și stocare energetică, evaluând în timp real impactul soluțiilor V2G asupra performanței clădirii. Digital Twin-ul permite explorarea diferitelor strategii de încărcare/descărcare, optimizarea fluxurilor energetice și estimarea contribuției pe termen lung a vehiculelor electrice la flexibilitatea clădirii, fără a afecta infrastructura reală.

În același timp, implementarea unei tehnologii precum V2G necesită un sistem modular de monitorizare pentru medii de testare inteligente, capabil să colecteze, proceseze și interpreteze date cu granularitate ridicată. Un astfel de sistem trebuie să monitorizeze atât parametrii clădirii (consum, producție locală, condiții de operare), cât și caracteristicile vehiculelor electrice (starea bateriei, disponibilitatea, cicluri de încărcare/descărcare). Rezultatele studiului subliniază tocmai importanța unui astfel de mecanism integrat de monitorizare și control, care să permită implementarea algoritmilor de optimizare și să asigure funcționarea coerentă a rețelei energetice la nivelul clădirii.

2. Current Scopes and Challenges Associated with Renewable Energy Integration across Various Systems

Autori: Mahmuda Rahman, Shahria Tanzil, Mihaela Crețu, Dan D. Micu

Conferința: Future Energy Solutions, FES 2025

Locația: Cluj-Napoca, România

Perioada: 24-26 Septembrie 2025

Articolul urmează a fi indexat în baza de date internațională IEEEexplore

Lucrarea analizează domeniile esențiale și provocările actuale legate de integrarea surselor regenerabile de energie în rețelele de distribuție, transport, clădiri inteligente și sisteme de termoficare urbană. Integrarea surselor regenerabile este dificilă din cauza variabilității meteorologice, a caracterului distribuit al noilor unități de producție și a apariției fluxurilor bidirecționale în rețele. În distribuție, producția regenerabilă introduce incertitudine în planificarea operării și în evaluarea eficienței operatorilor. Un sistem de monitorizare bazat pe Digital Twin ar permite vizualizarea în timp real a stării rețelei, identificarea pierderilor, modelarea scenariilor de variație a producției și separarea clară a ineficiențelor persistente de cele tranzitorii, sprijinind astfel operatorii în luarea deciziilor.

În rețelele de transport, tranziția către un mix energetic dominat de surse regenerabile impune extinderea inteligentă a infrastructurii și utilizarea algoritmilor de optimizare avansați. Lucrarea subliniază rolul metodelor meta-heuristice și AI în planificarea extinderii rețelei. Un Digital Twin al sistemului de transport poate integra aceste metode într-un cadru unitar, transformând planificarea dintr-un proces static într-unul continuu și adaptiv. Prin simulări în timp real, operatorii pot evalua impactul fluctuațiilor de generare, al creșterii cererii sau al schimburilor transfrontaliere, reducând riscul și incertitudinea decizională. Clădirile inteligente, care produc, stochează și gestionează energia într-o manieră dinamică, devin entități interactive în sistemul energetic. Studiile analizate arată progrese importante în optimizarea HVAC, integrarea vehiculelor electrice, demand response și control predictiv. Prin implementarea unui Digital Twin la nivel de clădire, toate aceste funcționalități pot fi modelate și coordonate în timp real. Clădirile pot contribui activ la flexibilitatea sistemului, oferind servicii auxiliare și reducând vârfurile de sarcină. Un sistem modular de monitorizare, capabil să conecteze mai mulți twin-i ai clădirilor, ar crea un ecosistem energetic urban optimizat și rezilient. Sistemele de termoficare, se bazează din ce în ce mai mult pe surse regenerabile, pompe de căldură și rețele cu temperatură scăzută. Variabilitatea cererii de căldură, pierderile de rețea și integrarea stocării termice necesită instrumente avansate de analiză. Un Digital Twin termic ar putea modela fluxurile de energie, optimiza temperaturile de tur-retur, detecta pierderile și evalua scenarii de integrare a energiilor regenerabile, crescând eficiența și stabilitatea sistemelor.

În ansamblu, lucrarea evidențiază nevoia unui sistem energetic flexibil, inteligent și predictiv. Concluziile arată că o platformă modulară Digital Twin, capabilă să integreze rețele electrice, clădiri și sisteme termice într-o structură unificată, reprezintă soluția optimă pentru o integrare eficientă a energiilor regenerabile.

Raport deplasare externă la Conferința Internațională IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2025, Dubai, UAE

În data de 21 noiembrie 2025, am efectuat deplasarea către conferința internațională Innovative Smart Grid Technologies (ISGT2025), organizată de Universitatea din Dubai, în perioada 23–26 noiembrie 2025. Am plecat din Cluj-Napoca la ora 19:35, iar sosirea la București a avut loc la ora 20:45 în aceeași zi. Ulterior, la ora 22:10, am decolat de pe Aeroportul Internațional „Henri Coandă” cu destinația Dubai, unde am ajuns în dimineața zilei de 22 noiembrie, la ora 06:00.

Participarea la conferință a inclus prezența la sesiunile tehnice și științifice derulate în intervalul 23–26 noiembrie 2025, acoperind teme de actualitate în domeniul rețelelor inteligente, mobilității electrice și soluțiilor de flexibilitate energetică. Evenimentul a reunit cercetători, cadre universitare, specialiști din industrie și factori de decizie, oferind un cadru valoros pentru schimbul de cunoștințe și promovarea rezultatelor proiectului.

În data de 25 noiembrie, la ora 09:00 (ora locală Dubai), am susținut prezentarea lucrării intitulate “Assessing Vehicle-to-Grid as a Flexible Energy Storage Solution for Buildings: Case Studies and Policy Outlook in Romania”.

Lucrarea a fost bine primită de către participanții secțiunii, fiind apreciate atât relevanța tematicii, cât și rezultatele analizelor privind aplicabilitatea tehnologiei Vehicle-to-Grid (V2G) în contextul clădirilor din România. Prezentarea a generat discuții constructive privind potențialul de integrare al soluțiilor V2G în infrastructurile existente și perspectivele de reglementare necesare pentru adoptarea pe scară largă.

Pe lângă rolul de autor și prezentator, am avut și responsabilitatea de chairman al sesiunii Smart Mobility, în cadrul căreia am coordonat desfășurarea comunicărilor, am facilitat discuțiile dintre participanți și am asigurat managementul timpului și al sesiunii. Această activitate a contribuit la consolidarea vizibilității proiectului și la poziționarea cercetării într-un cadru internațional de prestigiu.

În data de 26 noiembrie, miercuri, am încheiat participarea la conferință și am plecat din Dubai la ora 10:00, marcând finalul deplasării și întoarcerea către România.