

RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ

Raportul Științific etapă 2025 (ianuarie – decembrie 2025)

1. **Contract nr. 9/2024; etapă nr. 2/2025; titlu proiect: Sisteme de Transport Intermodale pentru Îmbunătățirea Conectivității și Accesibilității Urbane; cod de depunere ERANET-ENUAC-e-MATS.**

Universitatea Politehnica Timișoara (UPT) colaborează în cadrul acestui proiect cu Chalmers University of Technology (CTH), Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Zhejiang University (ZJU), The Hong Kong Polytechnic University Shenzhen Research Institute (PolyU-SZRI), Chongqing University (CQU), WSP Sverige AB, FellowBot AB, Hangzhou Comprehensive Transportation Center (HZCTC, cooperation partner) și Enjoyor Ltd Co. (cooperation partner). UPT coordonează partenerii din Europa, în strânsă colaborare (coordonare) cu CTH. Coordonarea pentru partenerii din China este asigurată de ZJU.

2. **Descrierea științifică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei anuale și gradul de realizare a obiectivelor**

Rezultatele prevăzute a fi obținute în cadrul proiectului în această etapă sunt:

- Finalizarea modelului de evaluare cantitativă a impactului asupra rețelei electrice urbane, în contextul încărcării vehiculelor electrice, model care este compatibil cu sistemul de transport intermodal.
- Dezvoltarea unui model de baterie orientat pe reglarea vitezei, pentru estimarea degradării și a stării termice în regim operațional. Modelul optimal conține structura rutelor de transport care include facilități de încărcare, distribuirea cererilor, gestionarea orarului de operare și rețelele de transport existente, de asemenea conține comportamentul transferului intermodal utilizând datele colectate referitoare la comportamentul conducătorilor auto.
- Elaborarea unei metode de evaluare a accesibilității spațio-temporale și a rezilienței în transportul multimodal, cu accent pe diversitatea utilizatorilor.
- Continuarea activităților de management, diseminare și comunicare în cadrul proiectului prin rapoarte și activități de diseminare și comunicare a stării intermediare a proiectului.

Cele patru obiective urmărite în cadrul acestui proiect sunt:

- **Obiectivul 1:** La nivel strategic, UPT contribuie la dezvoltarea unui cadru holistic de planificare a infrastructurii, care integrează rețeaua de transport public, micromobilitatea partajată (shared micro-mobility - SMM în engleză), facilitățile de încărcare și rețeaua de energie electrică. În această etapă, UPT participă la rafinarea configurației sistemului energetic, colaborând cu VTI și PolyU-SZRI în cadrul WP2, pentru a modela interacțiunile dintre cererea de încărcare și rețeaua electrică, cu luarea în considerare a comportamentului utilizatorilor și a echității.
- **Obiectivul 2:** La nivel tactic, UPT contribuie la dezvoltarea unei rețele electrice de transport public și a unui cadru de proiectare care să minimizeze costurile și să maximizeze eficiența și accesibilitatea, considerând integrarea cu SMM, managementul bateriilor, facilități de

încărcare, efectele asupra rețelei de energie electrică și răspunsurile comportamentale ale calătorilor. În cadrul WP2, UPT participă la modelarea impactului infrastructurii de încărcare și a rețelei de transport asupra sistemului energetic urban. În WP4, coordonat de UPT, sunt dezvoltate metode de reglare adaptivă pentru vehiculele electrice, cu sprijinul CQU pentru date despre baterii și CTH pentru algoritmi de predicție.

- **Obiectivul 3:** La nivel operațional, UPT are rolul principal în dezvoltarea unui cadru de conducere operațională adaptivă și metode care folosesc tehnologii informatice și de comunicații (information and communication technologies - ICT în engleză) și managementul bateriilor pentru crearea strategiilor de funcționarea autobuzelor electrice în timp real în scopul îmbunătățirii eficienței și rezilienței. Modelele pot fi adaptabile la schimbări dinamice datorate incidentelor. În cadrul WP4, echipa UPT proiectează și testează algoritmi de reglare care folosesc tehnologii ICT și modele de baterie pentru optimizarea traiectoriilor, reducerea consumului de energie și creșterea rezilienței sistemului.
- **Obiectivul 4:** La nivel de utilizator, UPT contribuie la evaluarea comportamentului utilizatorilor și a accesibilității sistemelor de transport intermodale, considerând factori psihologici și diversitatea utilizatorilor. În același timp sunt exploatate strategii de schimbarea a utilizatorilor pentru mobilitate sustenabilă și îmbunătățirea echității. În cadrul WP5, UPT dezvoltă modele predictive bazate pe date comportamentale colectate, colaborând cu CTH și ZJU pentru integrarea factorilor psihologici și a diversității utilizatorilor în strategiile de mobilitate sustenabilă și echitabilă.

În cadrul **obiectivului 1** aflat în desfășurare, este realizată dezvoltarea unui cadru holistic de planificare a infrastructurii multimodale, cu accent pe integrarea rețelei de transport public, a micromobilității partajate (SMM), a facilităților de încărcare și a rețelei de energie electrică. În cadrul WP2 din propunerea de proiect, UPT, alături de VTI, PolyU-SZRI, ZJU și HZCTC, contribuie la modelarea impactului infrastructurii de încărcare și a rețelelor de transport asupra sistemului energetic urban. UPT participă activ la dezvoltarea unui model de optimizare a sistemului energetic, care ia în considerare cererea spatio-temporală de energie generată de autobuzele electrice și interacțiunile cu rețeaua electrică. Acest model este configurat pentru a fi compatibil cu modelele de infrastructură și rețea din WP1 și WP3, contribuind la o planificare strategică integrată. Acest obiectiv este realizat în cadrul WP2.

În cadrul **obiectivului 2** aflat în desfășurare, este continuată dezvoltarea unei rețele electrice de transport public, asociată cu un cadru de proiectare tactică. În WP2, UPT contribuie la analiza stabilității sistemului energetic urban, colaborând cu VTI și HZCTC pentru a evalua impactul încărcării vehiculelor electrice asupra rețelei în orele de vârf. În paralel, în WP4, coordonat de UPT, sunt dezvoltate metode de reglare adaptivă pentru vehiculele electrice, cu scopul de a optimiza consumul energetic și de a reduce degradarea bateriilor. UPT lucrează împreună cu CQU, care furnizează date experimentale despre baterii și cu CTH, care contribuie cu algoritmi avansați de predicție folosind învățare automată. Activitățile includ simulări complexe, integrarea datelor de operare și dezvoltarea de strategii de încărcare eficiente. Acest obiectiv este realizat în cadrul WP2 și WP4.

În cadrul **obiectivului 3** aflat în desfășurare, UPT coordonează dezvoltarea unui cadru operațional adaptiv pentru vehiculele electrice autonome, în cadrul WP4. Echipa UPT proiectează și testează algoritmi de reglare în timp real, care reglează viteza vehiculelor în funcție de condițiile de trafic și de starea bateriei. Sunt utilizate modele de baterie orientate pe reglarea vitezei,

dezvoltate pe baza datelor furnizate de CQU și sunt aplicate tehnici de învățare automată pentru a anticipa degradarea bateriei și a optimiza traiectoriile. Algoritmii sunt validați în scenarii simulate și contribuie la creșterea eficienței și rezilienței sistemului de transport. Acest obiectiv este realizat în cadrul WP4.

În cadrul **obiectivului 4** aflat în desfășurare, este continuată evaluarea răspunsurilor comportamentale ale utilizatorilor și a accesibilității sistemelor de transport intermodal, în cadrul WP5. UPT dezvoltă modele predictive bazate pe date comportamentale colectate anterior, cu scopul de a înțelege diversitatea utilizatorilor și de a identifica barierele în adoptarea transportului electric. În colaborare cu CTH, ZJU și WSP, sunt analizate accesibilitatea spațio-temporală și reziliența sistemului în fața perturbărilor. Activitățile includ evaluarea echității în mobilitate, simulări de scenarii de criză și formularea de recomandări pentru strategii publice care să încurajeze mobilitatea sustenabilă. Acest obiectiv este realizat în cadrul WP5.

Remarci:

1. În acest raport științific textele și parțial relațiile au fost preluate din lucrările elaborate de echipa de cercetare a UPT.

2. Toate lucrările publicate sau în curs de publicare și care conțin rezultate de cercetare obținute în cadrul acestui proiect au menționat sprijinul UEFISCDI în secțiunea de Acknowledgements, alături de specificarea codului de depunere.

Descrierea științifică și tehnică este concentrată asupra prezentării sintetice a cercetării efectuate în cadrul activității prin care modelul de trafic a fost proiectat conform [C12]. Este propus un model de trafic util în definirea problemei pentru planificarea traiectoriei și conducerea unui autobuz electric autonom prezent într-o intersecție cu vehicule conduse de oameni, în vederea optimizării energiei autobuzului, confortului pasagerilor și urmăririi unei traiectorii. În etapa următoare acest model matematic va fi utilizat pentru reglarea optimală a autovehiculelor.

Conform [1], dezvoltarea sistemelor de transport multimodal, inclusiv transportul public electric conectat și micro-mobilitatea partajată, este necesară pentru a obține servicii de mobilitate viabile, mai eficiente și mai echitabile, cu o mobilitate urbană și o reziliență îmbunătățite. A fost stabilit un parteneriat între instituții academice de renume, autorități publice și parteneri industriali din România, Suedia și China pentru a îmbunătăți în comun sistemele de transport multimodal de nouă generație prin electrificare, conectivitate și partajare.

În sistemele de transport multimodal cu transport public electric integrat și micro-mobilitate partajată, vehiculele electrice din transportul public sunt esențiale pentru a minimiza consumul de energie, a crește confortul pasagerilor și a optimiza viteza operațională. Acest lucru poate fi realizat prin planificarea strategică a infrastructurii, optimizarea tactică a sistemului, proiectarea și gestionarea rețelei, precum și reglarea operațională al vehiculelor/plutoanelor și gestionarea bateriilor, ținând seama de diferitele cerințe ale utilizatorilor și de răspunsurile comportamentale. Exemple ilustrative includ abordarea reglării apropiere ecologică cu posibilitate de depășire la intersecțiile semaforizate pentru vehicule conectate și automatizate [2], strategia flexibilă de conducere ecologică pentru vehicule conectate și automatizate cu planificare eficientă a benzii de circulație și optimizarea vitezei [3] și proiectarea strategiei predictive de conducere eficientă din punct de vedere energetic pentru vehicule electrice conectate între mai multe intersecții semaforizate [4].

Diverse strategii de conducere ecologică și planificarea traiectoriei pentru vehiculele conectate și automatizate au îmbunătățit semnificativ eficiența, siguranța și fluxul traficului. Au

fost dezvoltate diverse abordări pentru a optimiza schimbarea benzii de circulație și reglarea vitezei, reducând în același timp consumul de combustibil și emisiile poluante. Prin urmare, pentru a asigura deplasarea economică în intersecțiile semaforizate pentru vehiculele conectate și automatizate, în literatura de specialitate au fost propuse mai multe abordări de modelare, optimizare și reglare. Analiza literaturii de specialitate privind modelarea, optimizarea și reglarea vehiculelor conectate și automatizate la intersecțiile semaforizate, împreună cu motivația și principalele contribuții ale raportului curent sunt detaliate în [5]. Bazându-se pe abordarea de planificare a traiectoriei introdusă în [6], cu o funcție obiectiv diferită și o mulțime similară de restricții, detaliile din raportul de față propun o abordare de proiectare în două etape, menită să minimizeze consumul de energie, să sporească confortul pasagerilor și să îmbunătățească urmărirea traiectoriei pentru un autobuz electric conectat și automatizat (CAEB) într-un scenariu de traversare a intersecției ce include un grup de vehicule conduse de oameni (HDV).

Scenariul traversării unei intersecții

Scenariul prezentat în cadrul acestui raport științific se referă la o intersecție cu trei benzi cu sincronizare fixă a fazelor semaforului, în care se află un CAEB și mai multe HDV-uri. Obiectivul este de a propune o abordare de proiectare pentru CAEB, care să vizeze un consum redus de energie și un confort ridicat pentru pasageri. Acest scenariu este prezentat în fig. S1 din [5], în care manevrele de depășire sunt permise în contextul [2], [3] și [4].

CAEB este echipat cu un dispozitiv de comunicare Vehicle-to-Infrastructure (V2I) (4G sau LTE-V), astfel încât informațiile despre trafic (lungimea traseului, faza și sincronizarea semaforului și limitele de viteză) pot fi accesate prin comunicarea cu unitățile de pe marginea drumului sau cu cloud-ul [3]. Traseul urban cu trei benzi și semafor cu sincronizare fixă prezentat în fig. S2 (din [5]) este definit ca mulțimea O_r [2]

$$O_r = \{S, D_{C_z}, D_{I_z}, N_l, D_\omega, v_{\max}, v_{\min}\}, \quad (1)$$

în care $S = 300$ m este locația liniei de oprire la intersecție, precum și poziția semaforului, lungimea drumului și poziția destinației, D_{C_z} este lungimea zonei de comunicare, $D_{I_z} < D_{C_z}$ este lungimea zonei de coordonare a schimbării benzii, care este legată de D_{C_z} și de lungimea zonei fără schimbare de bandă în apropierea liniei de oprire a intersecției, N_l este numărul total de benzi în aceeași direcție de deplasare pentru CAEB și HDV, $N_l = 3$ în această problemă. Numerele benzilor de la exteriorul la interiorul drumului sunt $i = 1 \dots N_l$, diferit de [3], dar în același stil ca în [4], D_ω este lățimea benzii, $D_\omega = 3.75$ m în problemă de față, iar $v_{\max}$ și $v_{\min}$ sunt limitele de viteză maximă și minimă ale CAEB. Conform [3], centrul benzii 2 ($i = 2$) este definit ca poziția laterală zero, astfel încât centrele benzilor 1 ($i = 1$) și 3 ($i = 3$) sunt negative și pozitive. Sistemul de coordonate este prezentat și în fig. S2 din [5].

Informațiile privind semaforul sunt definite ca mulțimea O_l [2]

$$O_l = \{S, T_s, I_{in}, T_g, T_r\}, \quad (2)$$

în care T_s este timpul inițial de tranziție al semnalului luminos al semaforului atunci când CAEB se apropie de zona de comunicare, I_{in} este semnalul inițial al semaforului, cu $I_{in} = 1$ și $I_{in} = 0$ indicând semnalele verde și roșu, iar T_g și T_r sunt intervalele de timp ale semnalelor verde și roșu. Se recomandă ca valoarea T_g să atingă o valoare de echilibru care să satisfacă condițiile, (i) și (ii): (i) trebuie să fie suficient de scurtă pentru ca șoferii să poată reacționa în siguranță la schimbările semnalelor și (ii) trebuie să fie suficient de lungă pentru a elimina coada medie în timpul fiecărui ciclu al semaforului. Valoarea T_g poate fi setată și de utilizator pentru a răspunde variațiilor cererii

în diferite perioade de timp, cum ar fi ora de vârf dimineața, ora de vârf seara, ora de vârf în timpul zilei, ora de vârf noaptea și zilele de sărbătoare. Sincronizarea semaforului este definită de timpul inițial de tranziție când CAEB se apropie de zona de comunicare, T_s , semnalul inițial care indică verde sau roșu, I_{in} , și intervalele de timp verde, T_g , și roșu, T_r . Conform [2] și [4], intervalul galben este combinat cu faza roșie pentru a crește siguranța conducerii. Duratele selectate pentru verde și roșu sunt diferite de cele indicate în [7], [8] și [9]. Având în vedere că semnalul verde se schimbă periodic, durata standard a ciclului semnalului $T_l = T_g + T_r$ este determinată conform [4]. Valorile specifice alese pentru aceste intervale problema curentă sunt prezentate și justificate în descrierea scenariului final din secțiunea intitulată *formularea problemei și abordarea proiectării*, iar traseul de deplasare cu o intersecție semaforizată este ilustrat în fig. S3 din [5].

Mulțimea O_s a vehiculelor din jur, și anume HDV-urile, este definită după cum urmează ca o mulțime modificată și extinsă a celei prezentate în [2]:

$$O_s = \{N_{sv}, i, s_{x,ij}, s_{y,ij}, v_{s,ij}, L_{s,ij}\}, \quad (3)$$

în care N_{sv} este numărul de HDV-uri, cu numerele de serie ale vehiculelor specificate ca $j = 1 \dots N_{sv}$, în ordinea apropierii de intersecție, $i = 1 \dots N_l$ este banda de circulație a celui de-al j -lea HDV, $s_{x,ij}$ este poziția longitudinală a celui de-al j -lea HDV pe banda j , $s_{y,ij}$ este poziția laterală a celui de-al j -lea HDV pe banda j , $v_{s,ij}$ este viteza celui de-al j -lea HDV pe banda j , iar $L_{s,ij}$ este lungimea caroseriei celui de-al j -lea HDV pe banda j .

Luând în considerare toate valorile posibile ale numărului acumulat de cicluri C ale semnalului de trafic O_t în orice moment t , astfel cum este definit în (S2) (din [5]) și momentele de start ale semnalelor verzi și roșii pentru ciclul C , definite ca $t_{g,C}$ și $t_{r,C}$ în (S3) și (S4) din [5], precum și cele șase situații posibile care implică t , $t_{g,C}$ și $t_{r,C}$ ilustrate în fig. S5 din [5] și detaliate în (S5) din [5], formula nouă pentru determinarea indicației semaforului P la momentul t este dată de $P(t)$:

$$P(t) = \begin{cases} I_{in} & \text{if } C = 1 \\ 1, & \text{if } C > 1 \text{ and } \begin{cases} t < t_{r,C} < t_{g,C} & (2), \\ t_{r,C} < t_{g,C} \leq t & (3), \\ t_{g,C} \leq t < t_{r,C} & (6), \end{cases} \\ 0, & \text{if } C > 1 \text{ and } \begin{cases} t < t_{g,C} < t_{r,C} & (1), \\ t_{g,C} < t_{r,C} \leq t & (4), \\ t_{r,C} \leq t < t_{g,C} & (5). \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

Modelul vehiculului

În fig. S6 (din [5]) este prezentată schema bloc simplificată a unui vehicul cu un sistem de direcție Ackermann. Deoarece, la fel ca în [10], se presupune că scenariul de condus zilnic se desfășoară cu o marjă rezonabilă față de limita de aderență a pneurilor, nu este luată în considerare alunecarea pneurilor. Se presupune, de asemenea, că direcția este moderată, iar viteza de schimbare a benzii de circulație este redusă, astfel încât vehiculul să respecte restricțiile dinamice și geometrice de mișcare corespunzătoare.

Modelul cinematic al vehiculului cu mișcări laterale și longitudinale cuplate utilizat în [11] este adoptat pentru CAEB și exprimat după cum urmează [1]:

$$\dot{s}_x = v_{CAEB} \cos \gamma, \dot{s}_y = v_{CAEB} \sin \gamma, \dot{\gamma} = v_{CAEB} \tan(\beta_o / L), \quad (5)$$

în care v_{CAEB} este viteza CAEB, γ este unghiul de deviere, β_o este unghiul de virare al roții din față, L este lungimea caroseriei CAEB ($L = 13$ m în această problemă), iar s_x și s_y sunt pozițiile

longitudinale și laterale ale CAEB [2], [3]. Modelul din (5) este prezentat și în [3], dar a doua ecuație diferențială este diferită. Condițiile inițiale trebuie, de asemenea, specificate în (5).

Deoarece reducerea consumului de energie al CAEB-urilor este unul dintre obiectivele acestei probleme, presupunând că un CAEB este acționat de un motor electric centralizat, modelul dinamic al vehiculului este prezentat în (S6). Forța vehiculului generată de motor este definită în (S7). În final, puterea bateriei P_b este calculată conform (S8), iar puterea motorului este calculată conform (S9) din [5]. Parametrii și variabilele rămase ale modelului CAEB au fost preluate din [10], [11], [12] și [13] și sunt detaliate în tabelul S1 din [5].

Modelul cinematic cu mișcări laterale și longitudinale cuplate adoptat pentru CAEB și prezentat în (5) este utilizat și pentru HDV și este exprimat după cum urmează:

$$\dot{s}_{x,ij} = v_{s,ij} \cos \gamma_{s,ij}, \dot{s}_{y,ij} = v_{s,ij} \sin \gamma_{s,ij}, \dot{\gamma}_{s,ij} = v_{s,ij} \tan(\beta_{s,ij} / L_{s,ij}), \quad (6)$$

în care $\gamma_{s,ij}$ este unghiul de deviere al celui de-al j -lea HDV din banda i , $\beta_{s,ij}$ este unghiul de virare a roții din față al celui de-al j -lea HDV din banda i , iar restul variabilelor și parametrilor sunt specificați în (3) și definiți imediat. Condițiile inițiale trebuie, de asemenea, menționate în (6). Prin urmare, având în vedere scenariul de trafic prezentat în fig. S1 și fig. S2, cu vehiculele HDV deplasându-se în linie dreaptă de-a lungul benzilor și plasate vertical în centrul benzilor, $\gamma_{s,ij} = 0$ și $\beta_{s,ij} = 0$, modelul din (6) devine de fapt expresia particulară a primei dintre cele trei ecuații diferențiale din (6), și anume

$$\dot{s}_{x,ij} = v_{s,ij} \quad (7)$$

și trebuie menționată condiția inițială.

Formularea problemei și abordarea proiectării

În continuare sunt prezentate două probleme de optimizare, organizate ca probleme de reglare optimală utilizate în abordarea de proiectare. Abordarea de proiectare propusă este descrisă în ultima subsecțiune intitulată *abordarea optimală a reglării vitezei*.

Problema reglării optimale pentru urmărirea traiectoriei

Banda de circulație a CAEB este afectată de viteza și poziția vehiculelor HDV. În acest context, conform [2] și [3], pentru a proiecta un sistem eficient de reglare a CAEB, astfel încât vehiculul să poată manevra eficient trecerea prin intersecția semaforizată cu un cost minim de conducere, este necesar să se introducă o regulă de schimbare a benzii de circulație care să permită CAEB să schimbe banda de circulație cu banda adiacentă din stânga sau din dreapta sau să păstreze banda actuală dacă ar exista vehicule care circulă mai lent pe banda adiacentă din fața CAEB, care ar fi blocată prin schimbarea benzii de circulație.

Vectorul de stare $\mathbf{x}$ al CAEB este:

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T = [s_x \ s_y \ \gamma \ v_{CAEB}]^T, \quad (8)$$

în care T indică transpusa matricei, iar x_1, x_2, x_3 și x_4 sunt variabilele de stare. Vectorul de comandă $\mathbf{u}$ este exprimat după cum urmează, ca o versiune modificată a vectorului din [3]:

$$\mathbf{u} = [u_1 \ u_2 \ u_3]^T = [T_m \ \beta_\omega \ L_c]^T, \quad (9)$$

în care u_1, u_2 și u_3 sunt intrările de comandă.

Pentru a aborda compromisul dintre consumul de energie și timpul de deplasare [4] și pentru a elimina influența dimensiunilor cantitative pentru ambele, se utilizează o funcție obiectiv

monetară normalizată echivalentă a consumului de energie CAEB și a timpului de deplasare pentru a calcula costul de conducere a CAEB. Prin urmare, este formulată următoarea problemă de reglare optimă pentru urmărirea traiectoriei, pentru a reduce costul conducerii și a asigura siguranța conducerii:

$$\mathbf{u}_{opt}(t) = \arg \min_{\substack{\mathbf{u}(t) \in \mathbf{U} \\ t \in [T_i, T_f]}} J(\mathbf{u}(t), \mathbf{x}(t)) = \arg \min_{\substack{\mathbf{u}(t) \in \mathbf{U} \\ t \in [T_i, T_f]}} \int_{T_i}^{T_f} [\zeta_e P_b(t) + \zeta_r(t) + \mathbf{e}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{e}(t)] dt, \quad (10)$$

în care $\mathbf{U}$ este domeniul fezabil al lui $\mathbf{u}(t)$, $\mathbf{u}_{opt}(t)$ este legea de reglare optimă, T_i este timpul inițial, T_f este timpul final în care CAEB ajunge la destinație, adică la semafor, și este variabil. Parametrul ζ_e și variabila $\zeta_r(t)$ din funcția obiectiv definită în (10) convertesc costurile energetice și de timp în echivalentul lor monetar, pe baza facturii de energie electrică și a considerentelor privind plata pe oră. În funcția obiectiv definită în (10), rolul primului termen este de a spori eficiența energetică a vehiculului prin reducerea consumului de energie al bateriei, iar cel de-al doilea termen este definit ca și costul îmbunătățirii mobilității vehiculului. Problema de optimizare din (10) este supusă mai multor restricții, precum (S10) și (S18) din [5], care includ condiții inițiale și finale, restricții privind starea inițială. Detalii suplimentare privind aceste restricții, cerințele de siguranță și măsurile de siguranță corespunzătoare sunt detaliate în (S11)-(S17) din [5].

Problema reglării optimale pentru planificarea traiectoriei în vederea asigurării unei planificări eficiente a benzii de circulație

În continuare este abordată planificarea traiectoriei adică găsirea intrărilor de referință optime sau a valorilor dorite optime sau a punctelor de referință optime pentru conducerea unui CAEB. Pe parcursul întregii călătorii, există numeroase secvențe fezabile de benzi de circulație. În fig. S7 din [5] este ilustrat un grafic arborescent care reprezintă modul în care CAEB schimbă benzile de circulație în timpul conducerii, cu un cost minim de conducere. Întreaga călătorie este segmentată în N_s segmente de drum în domeniul spațial, unde fiecare segment de drum este definit ca un nod, cu indicele $k = 1 \dots N_s$ și lungimea D_s . Fiecare segment necesită alegerea între schimbarea benzii de circulație sau rămânerea pe aceeași bandă. Se presupune, precum în [2], că operațiunea de schimbare a benzii de circulație a CAEB continuă odată ce a început, până când CAEB intră pe banda de circulație țintă. Conform [3], lungimea D_s a fiecărui segment este calculat utilizând traiectoria schimbării benzii de circulație și viteza medie a fluxului de trafic, dar calculul acesteia va fi prezentat mai jos utilizând o abordare diferită. Conform fig. S6 din [5], D_s este considerat pe axa longitudinală s_x lucrând cu poziții echidistante ale vehiculului de-a lungul segmentelor de drum succesive. Vectorul de stare la segmentele k și $(k+1)$ este prezentat în [5]. Utilizând notațiile $T_c^{[k]}$ pentru timpul de deplasare al segmentului k și $u_3^{[k]} = T_c^{[k]}$ pentru comandă, unde $L_c^{[k]}$ este indicele de schimbare a benzii de circulație al segmentului k , problema optimizării benzii de circulație este definită în continuare combinând funcțiile obiectiv din [2] și [3], dar simplificată. Problema de optimizare care asigură creșterea reducerii schimbării benzii și reducerea energiei este detaliată în (S21) din [5].

Consumul de energie $E_c[k]$ al segmentului k^{th} este calculat ca:

$$E_c^{[k]} = P_b^{[k]} T_c^{[k]} \quad (11)$$

în care, $P_b^{[k]}$ este puterea bateriei pe segmentul k , presupusă a fi constantă pentru toate segmentele, $P_b^{[k]} = P_b$, $k = 1 \dots N_s$. Folosind (11) din (S21) și considerând că variabila $\zeta_r^{[k]}$ este constantă pentru toate segmentele, $\zeta_r^{[k]} = \zeta_r$, $k = 1 \dots N_s$, problema de optimizare, care asigură o reducere a creșterii schimbării benzii și a consumului de energie, este transformată în

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} U_{opt} \\ V_{opt} \\ (\gamma_{rc})_{opt} \end{bmatrix} &= \arg \min_{\substack{u_3^{[k]}, v_{CAEBR}^{[k]} \\ k=1, \dots, N_s \\ \gamma_{rc}}} (\zeta_t + \zeta_e P_b) T_c^{[N_s]} + \sum_{k=1}^{N_s-1} [(\zeta_t + \zeta_e P_b) T_c^{[k]} + \varsigma (u_3^{[k+1]} - u_3^{[k]})^2] \\
&= (\zeta_t + \zeta_e P_b) \arg \min_{\substack{u_3^{[k]}, v_{CAEBR}^{[k]} \\ k=1, \dots, N_s \\ \gamma_{rc}}} T_c^{[N_s]} + \sum_{k=1}^{N_s-1} \{T_c^{[k]} + [\varsigma / (\zeta_t + \zeta_e P_b)] (u_3^{[k+1]} - u_3^{[k]})^2\} \\
&= \arg \min_{\substack{u_3^{[k]}, v_{CAEBR}^{[k]} \\ k=1, \dots, N_s \\ \gamma_{rc}}} T_c^{[N_s]} + \sum_{k=1}^{N_s-1} [T_c^{[k]} + \psi (u_3^{[k+1]} - u_3^{[k]})^2] = \arg \min_{\substack{u_3^{[k]}, v_{CAEBR}^{[k]} \\ k=1, \dots, N_s \\ \gamma_{rc}}} J_{DT}(u_3^{[1]}, \dots, v_{CAEBR}^{[1]}, \dots, u_3^{[N_s]}, \dots, v_{CAEBR}^{[N_s]}) \\
&= \arg \min_{\substack{u_3^{[k]}, v_{CAEBR}^{[k]} \\ k=1, \dots, N_s \\ \gamma_{rc}}} (J_{DT1}(u_3^{[1]}, \dots, v_{CAEBR}^{[1]}, \dots, u_3^{[N_s]}, \dots, v_{CAEBR}^{[N_s]}) + J_{DT2}(u_3^{[1]}, \dots, v_{CAEBR}^{[1]}, \dots, u_3^{[N_s]}, \dots, v_{CAEBR}^{[N_s]})),
\end{aligned} \tag{12}$$

supusă următoarelor restricții, inclusiv condițiile inițiale și finale:

$$\begin{aligned}
u_3^{[k+1]} &\in \begin{cases} \{0,1\}, & \text{if } i^{[k]} = 1, \\ \{-1,0,1\}, & \text{if } i^{[k]} = 2, \\ \{-1,0\}, & \text{if } i^{[k]} = 3, \end{cases} \\
|u_3^{[k+1]} - u_3^{[k]}| &\leq 1, \quad k = 1 \dots N_s - 1, \\
t^{[1]} &= T_i = 0, \\
t^{[k+1]} &= t^{[k]} + T_c^{[k]}, \quad k = 1 \dots N_s - 1, \\
s_{xr}^{[1]} &= 0, \\
s_{xr}^{[k+1]} &= k D_s, \quad k = 1 \dots N_s - 2, \\
s_{xr}^{[N_s]} &= \begin{cases} S - S_{v,s}, & \text{if } P^{[N_s]} = 0 \\ S, & \text{if } P^{[N_s]} = 1 \end{cases}, \\
s_{yr}^{[1]} &= -D_\omega, \\
s_{yr}^{[k+1]} &= s_{yr}^{[k]} + D_\omega \operatorname{sgn}(u_3^{[k]}), \quad k = 1 \dots N_s - 2, \\
s_{yr}^{[N_s]} &\in \{-D_\omega, 0, D_\omega\}, \\
&\begin{cases} d_{v,ij}^{[k]} - d_{s,ij}^{[k]} \geq 0, \\ u_3^{[k]} = 0 \text{ and } \begin{cases} |s_{xr}^{[k]} - s_{s,ij}^{[k]}| \geq H_s + v_{CAEBR}^{[k]} \cdot T_h, & k = 1 \dots N_s, \\ v_{CAEBR}^{[k]} - v_{CAEBR}^{[k-1]} < 0, & k = 2 \dots N_s, \end{cases} \\ d_{v,ij}^{[k]} - d_{s,ij}^{[k]} < 0 \text{ and } \begin{cases} u_3^{[k]} \neq 0 \text{ and } |s_{yr}^{[k]} - s_{v,ij}^{[k]}| \geq H_s, & k = 1 \dots N_s, \\ |s_{xr}^{[k]} - s_{s,ij}^{[k]}| \geq H_s, \end{cases} \end{cases} \quad i = 1 \dots 3, \quad j = 1 \dots N_{sv}, \\
v_{CAEBR}^{\min} \leq v_{CAEBR}^{[k]} \leq v_{CAEBR}^{\max}, \quad 4.5 D_\omega / D_{Cz} < \tan \gamma_{tc} < 1.5 D_\omega / L, \\
u_3^{[1]} = 0, \quad u_3^{[N_s]} = 0.
\end{aligned} \tag{13}$$

Explicațiile pentru ultimele două perechi de restricții din (13) sunt furnizate în contextul (S29) din [5]. Funcția obiectiv globală J_{DT} depinde de variabilele de decizie ale problemei de optimizare, $\varsigma > 0$ este coeficientul normalizat pentru penalizarea creșterilor frecvente ale schimbării benzii de circulație, $\psi > 0$ este ponderea schimbărilor frecvente ale benzii de circulație față de contravaloarea monetară a costului de timp definit în (S74) în [5], U_{opt} este secvența optimă a comenzilor:

$$U_{opt} = \{(u_3^{[k]})_{opt} \mid k=1 \dots N_s\} = \{(L_c^{[k]})_{opt} \mid k=1 \dots N_s\}, \quad (14)$$

$(u_3^{[k]})_{opt} = (T_c^{[k]})_{opt}$ este comanda optimală a segmentului k , V_{opt} este secvența optimă a vitezelor CAEB:

$$V_{opt} = \{(v_{CAEB}^{[k]})_{opt} \mid k=1 \dots N_s\}, \quad (15)$$

$(v_{CAEB}^{[k]})_{opt}$ este viteza optimă a CAEB de-a lungul segmentului k , iar $(\gamma_{rc})_{opt}$ este valoarea optimă a unghiului de deviere dorit γ_{rc} a CAEB în centrul segmentului de drum, care este utilizată în [5] pentru a deriva lungimea segmentului și, ulterior, pentru determinarea timpului de deplasare pentru schimbarea benzii între segmente. Valoarea $(\gamma_{rc})_{opt}$ este constantă pe toate segmentele de drum, $k=1 \dots N_s$.

Parametrul de ponderare $\zeta_e > 0$ (presupus a fi constant pe un segment dat) și variabila $\zeta_r^{[k]} > 0$ (presupusă a fi constantă pe un segment dat) sunt descrise în (12) și (S21) din [5]. Cele două componente ale funcției obiectiv în timp discret J_{DT} , și anume J_{DT1} și J_{DT2} , sunt detaliate în (S75) în [5].

Formularea matematică și derivarea restricțiilor din (13) sunt detaliate în (S23)-(S57), (S62)-(S68), (S70)-(S73) din [5].

Odată ce problema de optimizare din (12) este rezolvată ținând cont de restricțiile din (13), traiectoria de conducere optimală a CAEB este definită în felul următor:

$$T_{s_{xr,opt}} = \{(s_{xr}^{[k+1]})_{opt} \mid k=1 \dots N_s - 2\} \cup \{s_{xr}^{[N_s]}\} = \begin{cases} \{k \mid D_s \mid k=1 \dots N_s - 2\} \cup \{S - S_{v,s}\}, & \text{if } P^{[N_s]} = 0, \\ \{k \mid D_s \mid k=1 \dots N_s - 2\} \cup \{S\}, & \text{if } P^{[N_s]} = 1, \end{cases} \quad (16)$$

$$T_{s_{yr,opt}} = \{(s_{yr}^{[k+1]})_{opt} \mid k=1 \dots N_s - 2\} \cup \{s_{yr}^{[N_s]}\} = \{-D_\omega\} \cup \{(s_{yr}^{[k+1]})_{opt} \mid k=2 \dots N_s - 2\} \cup \{-D_\omega, 0, D_\omega\}, \quad (17)$$

cu mulțimea V_{opt} , definită în (15), în care $T_{s_{xr,opt}}$ și $T_{s_{yr,opt}}$ sunt traiectoria longitudinală optimă și traiectoria laterală optimă a CAEB, iar $(s_{xr}[k])_{opt}$ și $(s_{yr}[k])_{opt}$ sunt poziția longitudinală optimă și poziția laterală optimă a vitezei CAEB de-a lungul segmentului k .

Expresia inițială a lui D_s propusă și explicată în [5] depinde numai de γ_{rc} , conform (S49) din [5]. Când CAEB este condus la viteză redusă pentru a asigura confortul, valoarea lui γ_{rc} este mică, iar valoarea lui D_s este mare. Pe de altă parte, atunci când CAEB este acționat „sportiv”, valoarea parametrului γ_{rc} este mare, ceea ce duce la o valoare scăzută a D_s . După calcularea D_s , numărul de segmente de drum N_s este determinat conform cu (S51) din [5], cu D_{c_i} din (1).

În manevra de menținere a benzii de circulație, conform [3], este aplicat un profil trigonometric al vitezei pentru a conecta în mod lin viteza CAEB între două segmente consecutive de drum. În continuare este prezentat succint un profil de viteză original, dedus din [5] ca o versiune simplificată a profilelor luate în considerare în [3] și [14], pentru a asigura un număr redus de parametri și o manipulare matematică elegantă, inspirată de funcțiile de apartenență trigonometrice specifice mulțimilor fuzzy utilizate în [15]-[17]:

$$v_{CAEB}(t) = v_{CAEB}^{[k]} + \frac{v_{CAEB}^{[k+1]} - v_{CAEB}^{[k]}}{2} [1 + \cos \frac{\pi(t - t^{[k]} - T_c^{[k]})}{T_c^{[k]}}], \quad t \in [t^{[k]}, t^{[k]} + T_c^{[k]} = t^{[k+1]}]. \quad (18)$$

Folosind notațiile din (S58) din [5], formularea matematică și derivarea din (S59)-(S61) și (S69) din [5], expresia timpului de deplasare $T_c[k]$ al segmentului k în timpul schimbării benzii și menținerii benzii este

$$T_c^{[k]} = \begin{cases} \frac{2D_s}{v_{CAEBr}^{[k+1]} + v_{CAEBr}^{[k]}}, & \text{if } k = 1 \dots N_s - 1 \text{ and } u_3^{[k]} = 0, \\ \frac{D_s}{v_{CAEBr}^{[k]}}, & \text{if } k = N_s \text{ and } u_3^{[k]} = 0, \\ \frac{f}{v_{CAEBr}^{[k]}}, & \text{if } k = 1 \dots N_s \text{ and } u_3^{[k]} \neq 0, \end{cases} \quad (19)$$

În final, timpul de start setat $T_{s,opt}$ și timpul final setat $T_{f,opt}$ pentru toate segmentele sunt derivate din timpul de parcurs al fiecărui segment de drum, după cum urmează:

$$T_{s,opt} = \{t^{[1]}, t^{[2]}, \dots, t^{[N_s]}\} = \{T_i = 0, T_c^{[1]}, \sum_{k=1}^2 T_c^{[k]}, \dots, \sum_{k=1}^{N_s-1} T_c^{[k]}\}, \quad (20)$$

$$T_{f,opt} = \{t^{[1]} + T_c^{[1]}, t^{[2]} + T_c^{[2]}, \dots, T_f = t^{[N_s]} + T_c^{[N_s]}\} = \{T_c^{[1]}, \sum_{k=1}^2 T_c^{[k]}, \dots, T_f = \sum_{k=1}^{N_s} T_c^{[k]}\}.$$

Parametrii și variabilele rămase ale modelului CAEB sunt preluate din [2], [3] și [18] și sunt detaliate în tabelul S2 din [5]. Pentru a rezuma rezultatele prezentate, sunt stabiliți mai mulți parametri ai CAEB. Acești parametri sunt descriși în [5].

Abordare optimă a reglării vitezei

Concluzionând, problemele de optimizare definite și descrise anterior, abordarea optimă a reglării vitezei pentru CAEB constau în două etape, I și II, care sunt prezentate în continuare după sintetizarea rezultatelor prezentate anterior.

Etapa I. Aceasta este etapa de planificare a traiectoriei optimale. Este rezolvată problema de optimizare definită în (12), supusă restricțiilor din (13), condiției finale din (S76) și condiției inițiale din (S77) din [5], rezultând secvența optimală a indicilor de schimbare a benzii U_{opt} din (13) și secvența optimă a vitezelor CAEB V_{opt} din (14), fiecare constând din N_s elemente. Condițiile inițiale menționate mai sus pentru problema de optimizare din (12) determină regimul dinamic în care este evaluată funcția obiectiv J_{DT} definită în (S75).

Traectoria longitudinală optimală $T_{sxr,opt}$ și traectoria laterală optimală $T_{syr,opt}$ sunt calculate conform (20).

Etapa II. Aceasta este etapa de conducere optimală. Cele trei intrări de referință ale conducerii sunt calculate în timp continuu pentru a permite reglarea în timp continuu. Presupunând o variație liniară a poziției longitudinale dorite a CAEB, s_{xr} , pe segmentul de drum k , valoarea s_{xr} în timp continuu t este calculată ca $s_{xr}(t)$:

$$s_{xr}(t) = \begin{cases} s_{xr}^{[k]} + (s_{xr}^{[k+1]} - s_{xr}^{[k]})(t - t^{[k]}) / T_c^{[k]} = (k-1)D_s + (t - t^{[k]})D_s / T_c^{[k]}, & k = 1 \dots N_s - 1, \\ s_{xr}^{[k]}, & k = N_s, \end{cases} \quad (21)$$

$$t \in [t^{[k]}, t^{[k]} + T_c^{[k]} = t^{[k+1]}).$$

Presupunând o variație trigonometrică a poziției laterale dorite a CAEB, s_{yr} , pe segmentul de drum k , similară cu profilul trigonometric al vitezei dat în (18) pentru a conecta în mod lin poziția laterală CAEB între două segmente consecutive de drum, valoarea s_{yr} în timp continuu t se calculează ca $s_{yr}(t)$:

$$s_{yr}(t) = \begin{cases} s_{yr}^{[k]} + \frac{s_{yr}^{[k+1]} - s_{yr}^{[k]}}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi(t - t^{[k]} - T_c^{[k]})}{T_c^{[k]}} \right], & k = 1 \dots N_s - 1, \quad t \in [t^{[k]}, t^{[k]} + T_c^{[k]} = t^{[k+1]}), \\ s_{yr}^{[k]}, & k = N_s, \end{cases} \quad (22)$$

Utilizând profilul trigonometric original al vitezei din (18) în manevra de menținere a benzii de circulație și menținând viteza constantă în manevra de schimbare a benzii de circulație, expresia intrării de referință v_{CAEBr} sau punctul de referință pentru viteza CAEB sau viteza dorită a CAEB la momentul t de timp continuu pe segmentul de drum k este calculată ca $v_{CAEBr}(t)$:

$$v_{CAEBr}(t) = \begin{cases} v_{CAEBr}^{[k]} + \frac{v_{CAEBr}^{[k+1]} - v_{CAEBr}^{[k]}}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi(t - t^{[k]} - T_c^{[k]})}{T_c^{[k]}} \right], & k = 1 \dots N_s - 1, \\ v_{CAEBr}^{[k]}, & k = N_s, \end{cases} \quad (23)$$

$$t \in [t^{[k]}, t^{[k]} + T_c^{[k]} = t^{[k+1]}).$$

Este rezolvată problema de conducere optimală definită în (10), cu $\mathbf{u}$ în (S78) în [5] și supusă restricțiilor:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) \text{ conform (S19),} \\ v_{CAEBmin} &\leq x_4(t) \leq v_{CAEBmax}, \\ a_{min} &\leq \frac{u_1(t) i_g i_0 \eta_l^{\text{sgn}(u_1(t))} / r_w - (mgf \cos \theta + mg \sin \theta + 0.5 C_D A \rho x_4^2(t))}{m \delta} \leq a_{max}, \\ T_{min} &\leq u_1(t) \leq T_{max}, \\ \left\{ \begin{array}{l} d_{v,ij}(t) - d_{s,ij}(t) \geq 0 \\ d_{v,ij}(t) - d_{s,ij}(t) < 0 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} u_3(t) = 0 \text{ and } \left\{ \begin{array}{l} |s_x(t) - s_{x,ij}(t)| \geq H_s + v_{CAEB}(t) \cdot T_h \\ [u_1(t) i_g i_0 \eta_l^{\text{sgn}(u_1(t))} / r_w - (mgf \cos \theta + mg \sin \theta + 0.5 C_D A \rho x_4^2(t))] / (m \delta) < 0 \end{array} \right. \\ u_3(t) \neq 0 \text{ and } |s_y(t) - s_{y,ij}(t)| \geq H_s \\ |s_x(t) - s_{x,ij}(t)| \geq H_s \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad i = 1 \dots 3, j = 1 \dots N_{sv}, \\ \left\{ \begin{array}{l} v_{CAEB}(T_f) = 0 \text{ and } s_x(T_f) = S - S_{v,s} \text{ and } s_y(T_f) \in \{-D_\omega, 0, D_\omega\}, \text{ if } P(T_f) = 0, \\ v_{CAEB}(T_f) \neq 0 \text{ and } s_x(T_f) = S \text{ and } s_y(T_f) \in \{-D_\omega, 0, D_\omega\}, \text{ if } P(T_f) = 1, \end{array} \right. \\ x_1(T_i) = 0, x_2(T_i) = -D_\omega, x_3(T_i) = 0, x_4(T_i) = v_s, \\ x_1(T_f) = \begin{cases} S - S_{v,s}, & \text{if } P(T_f) = 0, \\ S, & \text{if } P(T_f) = 1, \end{cases} \quad x_2(T_f) \in \{-D_\omega, 0, D_\omega\}, x_3(T_f) = 0, \\ s_{xr}(t) \text{ conform (21), } s_{yr}(t) \text{ conform (22), } v_{CAEBr}(t) \text{ conform (23)} \end{aligned} \quad (24)$$

obținute din (S18) prin eliminarea restricției impuse indicelui de schimbare a benzii și adăugarea ultimelor trei restricții, care modelează intrările de tip referință. Regulatorul obținut prin rezolvarea problemei de optimizare din (10) supusă la restricțiile din (24) asigură un compromis între costul energetic și precizia de urmărire. Pot fi luate în considerare anumite structuri de reglare cu parametrizare corespunzătoare, transformând problema de optimizare (10) într-o problemă de optimizare parametrică.

Cele două probleme de optimizare din etapele I și II nu sunt rezolvate în această fază, adică nu sunt efectuate planificarea traiectoriei optimale și reglarea optimală. Altfel spus, în rezultatele publicate este luat în considerare comportamentul procesului cu intrări de comandă aleatoare în planificarea traiectoriei corespunzătoare conducerii în buclă deschisă.

Bibliografie aferentă capitolului 2

- [1] Electric Multimodal Transport Systems for Enhancing Urban Accessibility and Connectivity (e-MATS), ERANET Urban Europe project; 2023 [Online]. <https://jpi-urbaneurope.eu/project/e-mats/>.
- [2] H.-X. DONG, W.-C. ZHUANG, G.-Y. WU, Z.-J. LI, G.-D. YIN and Z.-Y. SONG, Overtaking-enabled eco-approach control at signalized intersections for connected and automated vehicles, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 25(5), 2024, pp. 4527–4539.
- [3] H.-X. DONG, Q. WANG, W.-C. ZHUANG, G.-D. YIN, K. GAO, Z.-J. LI and Z.-Y. SONG, Flexible eco-cruising strategy for connected and automated vehicles with efficient driving lane planning and speed optimization, *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 10(1), 2024, pp. 1530–1540.
- [4] H.-X. DONG, W.-C. ZHUANG, B.-L. CHEN, Y.-B. LU, S.-P. LIU, L.-W. XU, D.-W. PI and G.-D. YIN, Predictive energy-efficient driving strategy design of connected electric vehicle among multiple signalized intersections, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 137, 2022, paper 103595.
- [5] R.-E. PRECUP, C.-A. BOJAN-DRAGOS, K. GAO and S. CUI, Supplementary Material of the Paper: Problem Setting for Trajectory Planning and Cruise Control of a Connected Autonomous Electric Bus in Intersection Scenarios with Human-Driven Vehicles to Optimize Energy, Comfort and Tracking, *Romanian Journal of Information Science and Technology*, 2025. Accessed: Jul. 27, 2025. [Online]. Available: <http://www.aut.upt.ro/~rprecup/2025RomjistSupplementaryMaterial.pdf>.
- [6] R.-E. PRECUP, C.-A. BOJAN-DRAGOS, K. GAO and S. CUI, Modeling results of trajectory planning in an intersection crossing scenario with a connected autonomous electric bus and multiple humandriven vehicles, *Proceedings of the 2025 KES International Conference on Smart Transportation Systems*, Solin, Croatia, 2025, pp. 1–13.
- [7] Y.-L. LEI, J.-L. HU, Y. FU, S.-H. SUN, X.-Z. LI, W. CHEN, L.-G. HOU and Y. ZHANG, Control strategy of automated manual transmission based on active synchronisation of driving motor in electric bus, *Advances in Mechanical Engineering* 11(4), 2019, pp. 1–17.
- [8] Z.-M. GAO, Z.-H. LIN, T. J. LACLAIR, C.-Z. LIU, J.-M. LI, A. K. BIRKY and J. WARD, Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service, *Energy* 122, 2017, pp. 588–600.
- [9] S. SKARLIS, T. MOLOS, M. SKARLIS, A. KARVOUNTZIS-KONTAKIOTIS, A. O. BERNATCHEZ and C. PRONOVOST, Towards electrification of urban buses using model based analysis, *SAE Technical Paper*, 2018.
- [10] F. BIRAL, M. DA LIO and E. BERTOLAZZI, Combining safety margins and user preferences into a driving criterion for optimal control-based computation of reference maneuvers for an ADAS of the next generation, *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Las Vegas, NV, USA, 2005, pp. 36–41.
- [11] C. WANG, Z.-P. WANG, L. ZHANG, H.-L. YU and D.-P. CAO, Post-impact motion planning and tracking control for autonomous vehicles, *Chinese Journal of Mechanical Engineering* 35, 2022, paper 54.
- [12] L. GUZZELLA, A. SCIARRETTA, *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013.

- [13] Y. Zhang, J. Wang, H. Liu H, Y. Zhang, K. Li, Segmented trajectory planning strategy for active collision avoidance systems, Journal of Advanced Transportation 1(1), 2022, paper 100002.
- [14] M. BARTH, S. MANDAVA, K. BORIBOONSOMSIN and H. XIA, Dynamic eco-driving for arterial corridors, Proceedings of the IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, Vienna, Austria, 2011, pp. 182–188.
- [15] R.-E. PRECUP, T.-A. TEBAN, A. ALBU, A.-B. BORLEA, I.-A. ZAMFIRACHE and E. M. PETRIU, Evolving fuzzy models for prosthetic hand myoelectric-based control, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 69(7), 2020, pp. 4625–4636.
- [16] E.-L. HEDREA, R.-E. PRECUP, E. M. PETRIU, C.-A. BOJAN-DRAGOS and C. HEDREA, Tensor product-based model transformation approach to cart position modeling and control in pendulum-cart systems, Asian Journal of Control 23(3), 2021, pp. 1238–1248.
- [17] R.-E. PRECUP, A. T. NGUYEN and S. BLAZIC, A survey on fuzzy control for mechatronics applications, International Journal of Systems Science 55(4), 2024, pp. 771–813.
- [18] J.-H. HAN, A. SCIARRETTA, L.-L. OJEDA, G. DE NUNZIO and L. THIBAUT, Safe and ecodriving control for connected and automated electric vehicles using analytical state-constrained optimal solution, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles 3(2), 2018, pp. 163–172.

3. Un sumar al progresului (livrabile realizate, indicatori de rezultat, diseminarea rezultatelor, justificare diferențe, dacă e cazul)

Etapa a 2-a din cadrul acestui proiect a fost reprezentată de dezvoltarea și validarea intermediară a soluțiilor propuse, în cadrul mai multor pachete de lucru (WP). Această etapă a presupus trecerea de la modelare conceptuală și colectare de date (realizate în etapa 1 din primul an al proiectului) la implementarea, testarea și integrarea modelelor în sisteme funcționale. **Rezultatele** obținute sunt:

- Modelul de evaluare cantitativă a impactului infrastructurii de încărcare asupra rețelei electrice urbane, realizat în cadrul WP2. Acest model este compatibil cu sistemul de transport intermodal.
- Modelul de baterie orientat pe reglarea vitezei, dezvoltat pentru estimarea degradării și a stării termice în regim operațional, în cadrul WP4. Modelul optimal conține structura rutelor de transport care include facilități de încărcare, distribuirea cererilor, gestionarea orarului de operare și rețelele de transport existente, de asemenea conține comportamentul transferului intermodal utilizând datele colectate referitoare la comportamentul conducătorilor auto.
- Metoda de evaluare a accesibilității spațio-temporale și a rezilienței în transportul multimodal, elaborată în cadrul WP5.
- Rapoarte și activități de diseminare și comunicare a progresului intermediar, realizate în cadrul WP6.

Activitățile desfășurate în anul 2025 în cadrul acestui proiect sunt enumerate în continuare:

- **Activitatea 2.1** din cadrul acestui proiect a fost modelarea sistemului energetic urban, prin configurarea modelului energetic și adaptarea variabilelor de intrare-ieșire la celelalte componente ale sistemului de transport intermodal. În această activitate UPT a fost partener în cadrul WP2.

- **Activitatea 2.2** din cadrul acestui proiect a presupus dezvoltarea modelului de baterie orientat pe reglarea vitezei. Activitatea a presupus dezvoltarea unui model optimal pentru structura rutelor de transport care include facilități de încărcare, distribuirea cererilor, gestionarea orarului traficului și rețelele de transport existente. Această activitate a fost coordonată de către UPT în WP4.

- **Activitatea 2.3** din cadrul acestui proiect a fost evaluarea accesibilității și rezilienței în transportul multimodal. În această activitate UPT a fost partener în WP5.

- **Activitatea 2.4** din cadrul acestui a fost comunicarea și diseminarea rezultatelor obținute în această etapă a proiectului prin urmare managementul și diseminarea rezultatelor intermediare. Această activitate a fost coordonată de către UPT în WP6.

Similar ca și în primul an, managementul proiectului a fost orientat către atingerea obiectivelor stabilite și îmbunătățirea comunicării între partenerii implicați. UPT a avut un rol central în coordonarea activităților, facilitând colaborarea eficientă și asigurându-se că activitățile desfășurate sunt în strânsă concordanță cu obiectivele proiectului. Activitățile desfășurate în 2025 de către UPT au fost realizate cu sprijinul partenerilor internaționali Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), The Hong Kong Polytechnic University Shenzhen Research Institute (PolyU-SZRI), Zhejiang University (ZJU), Chalmers University of Technology (CTH), Hangzhou Comprehensive Transportation Center (HZCTC), Chongqing University (CQU), FellowBot AB și WSP Sverige AB, fiecare contribuind cu expertiza lor specifică. De asemenea UPT a pregătit terenul pentru obiectivele următoare prin publicarea modelului matematic de trafic în [C12] și [C22] și diverselor tehnici de reglare [C1]-[C5], [C7], [C8], [C10], [C11], [C13]-[C15], [C18]-[C21], [C23], [C24] care să fie validate pe modelul de trafic.

În cadrul **activității 2.1**, UPT participă în cadrul WP2 la rafinarea configurației sistemului energetic, prin integrarea cererii de încărcare generată de autobuzele electrice în rețeaua electrică urbană. Activitatea presupune colaborarea cu VTI, PolyU-SZRI, ZJU și HZCTC pentru dezvoltarea unui model de evaluare cantitativă a impactului asupra rețelei electrice. Acest model este configurat pentru a fi compatibil cu modelele de infrastructură și rețea din WP1 și WP3. Rezultatul acestei activități este livrabilul D2.2 din propunerea de proiect pentru cel de-al doilea an sau a doua etapă. Activitatea a presupus modelarea sistemului energetic urban, prin configurarea modelului energetic și adaptarea variabilelor de intrare-ieșire la celelalte componente ale sistemului de transport intermodal. În această activitate, UPT a fost partener în cadrul WP2 și a colaborat cu VTI, PolyU-SZRI, ZJU și HZCTC pentru dezvoltarea livrabilului D2.2, ce reprezintă arhitectura energetică integrată și sustenabilă a rețelei urbane. Activitatea a presupus producerea lucrărilor [C1]-[C6] cu metode robuste de reglare și optimizare energetică.

În cadrul **activității 2.2**, în cadrul WP4, coordonat de UPT, se desfășoară activitatea de dezvoltare a unui model de baterie care permite estimarea degradării și a stării termice în regim operațional. UPT integrează date experimentale și electrochimice, colaborând cu CQU pentru furnizarea datelor despre baterii și cu CTH pentru algoritmi de predicție. Această activitate contribuie la optimizarea funcționării vehiculelor electrice și la reducerea costurilor de operare. Rezultatul este livrabilul D4.2 din propunerea de proiect pentru cel de-al doilea an sau a doua etapă. Modelul de trafic propus în [C12] și [C22] a presupus dezvoltarea modelului de baterie orientat pe reglarea vitezei în cadrul activității 2.2. coordonată de UPT în cadrul WP4. Aceasta a inclus optimizarea structurii rutelor de transport, integrarea facilităților de încărcare și distribuirea cererii. Activitatea a presupus producerea lucrărilor [C7]-[C11] cu conceptele avansate de reglare

și învățare automată și oferă în continuare suport teoretic pentru integrarea modelului de baterie în strategiile de management energetic.

În cadrul **activității 2.3** din cadrul WP5, UPT contribuie la dezvoltarea unei metode de evaluare a accesibilității spațio-temporale și a rezilienței sistemului de transport multimodal. Activitatea presupune analiza datelor comportamentale colectate anterior, modelarea spațio-temporală și colaborarea cu CTH, ZJU și WSP pentru integrarea diversității utilizatorilor în strategiile de mobilitate. Rezultatul este livrabilul D5.2 din propunerea de proiect pentru cel de-al doilea an sau a doua etapă. Activitatea de evaluare a accesibilității și rezilienței în transportul multimodal a presupus producerea lucrărilor [C13]-[C19].

În cadrul **activității 2.4** în cadrul WP6, UPT continuă activitățile de coordonare generală, organizarea întâlnirilor de progres, actualizarea platformei de colaborare și diseminarea rezultatelor intermediare. Activitatea include comunicarea cu partenerii internaționali, participarea la conferințe și promovarea rezultatelor în mediul academic și industrial. În cadrul acestor activități au fost prezentate contribuțiile din [C20] și [C21] care vor putea fi ulterior propuse pentru reglarea modelului de trafic din [C12], aceste teme propuse evidențiază competențele echipei din UPT în reglarea adaptivă și reglarea de tip model-free. Activitatea de diseminare a inclus, de asemenea, promovarea volumelor științifice [C22] și [C23] care demonstrează extinderea expertizei echipei în direcții interdisciplinare, pregătind terenul pentru activitățile viitoare ale proiectului.

În etapa 2 sau în anul al doilea al proiectului e-MATS, UPT a avut un rol activ atât ca partener, cât și ca lider de pachet de lucru (WP), desfășurând activități esențiale în colaborare cu mai partenerii internaționali.

UPT a coordonat WP4 pentru pregătirea modelului de trafic. În cadrul acestui WP, UPT a avut responsabilitatea principală pentru dezvoltarea unui model de trafic în conformitate cu obiectivele și activitățile din acest proiect și ulterior sa fie folosit în ultima etapă a proiectului.

Contribuțiile partenerilor în anul al doilea au fost: VTI a condus WP2 și a furnizat expertiză în modelarea sistemelor energetice și în integrarea acestora cu modelele de infrastructură și rețea. PolyU-SZRI a contribuit la planificarea infrastructurii și la integrarea rețelei de transport cu rețeaua electrică. ZJU a oferit suport în proiectarea rețelei de transport public și în analiza comportamentului utilizatorilor. CTH a furnizat expertiză în modelarea comportamentului utilizatorilor și în dezvoltarea de algoritmi de învățare automată. CQU a pus la dispoziție date experimentale de înaltă rezoluție privind degradarea bateriilor. WSP Sverige AB a sprijinit colectarea și analiza datelor comportamentale. HZCTC a oferit date reale despre cererea de transport, infrastructura de încărcare și rețeaua energetică din Hangzhou. Enjoyor Ltd. Co. a furnizat date operaționale și de baterie pentru peste 10000 de autobuze electrice, precum și vehicule de test pentru validarea modelelor.

Pentru a treia etapa UPT va avea sarcina ca în WP4 să finalizeze și valideze cadrul de conducere adaptivă a vitezei pentru vehiculele electrice, integrând modelele dezvoltate cu sistemele ICT. În WP2, va sprijini încheierea activităților de analiză energetică și integrarea rezultatelor în modelele finale. În WP5 împreună cu partenerii, va contribui la elaborarea unui set de instrumente pentru promovarea mobilității sustenabile și echitabile. În WP6, va continua activitățile de management, raportare finală și diseminare a rezultatelor. Contribuțiile așteptate de la parteneri în etapa a treia sunt următoarele: CQU vor continua furnizarea de date despre baterii pentru validarea modelelor de reglare, CTH va oferi asistență în testarea algoritmilor de predicție și în evaluarea comportamentului utilizatorilor, HZCTC și Enjoyor vor oferi sprijin logistic și

tehnic pentru testări în teren și validarea modelelor în scenarii reale, iar WSP și ZJU vor aduce contribuții la dezvoltarea instrumentelor pentru strategii de mobilitate sustenabilă și echitabilă.

Universitatea Politehnica Timișoara a dovedit și continuă să dovedească abilități solide de coordonare și flexibilitate, asigurând progresul constant al proiectului conform planificării. Colaborarea cu partenerii internaționali joacă un rol crucial în depășirea provocărilor tehnice și culturale, facilitând dezvoltarea și perfecționarea continuă a modelelor și metodelor aplicate. Prin aceste demersuri, proiectul aduce o contribuție valoroasă la extinderea cunoștințelor în domeniul mobilității durabile și al infrastructurii urbane reziliente.

Rezultatele principale obținute de UPT în cadrul proiectului în această etapă, inclusiv **diseminarea rezultatelor**, depășesc rezultatele prevăzute. Acestea sunt:

- Raport de cercetare.
- 24 de lucrări publicate: [C1]-[C24], cu informații bibliografice și scientometrice specificate în secțiunea bibliografie (capitolul 5) a(al) acestui raport.
- Detalii privind lucrările publicate: 14 lucrări [C1]-[C14] publicate în reviste indexate în Clarivate Analytics Web of Science (cu una din denumirile anterioare ISI Web of Knowledge) cu factor de impact, 3 lucrări [C15]-[C17] publicate în volum de conferință indexată în Clarivate Analytics Web of Science (cu unele din denumirile anterioare ISI Web of Knowledge sau ISI Proceedings), 5 lucrări [C18]-[C22] publicate în volume de conferință indexate în baze de date internaționale (IEEE Xplore, INSPEC, Scopus, Springer Link DBLP), o carte [C23] publicată în CRC Press, Taylor & Francis și un capitol de carte [C24] publicat în Springer.
- Rezultatele proiectului au fost promovate prin patru prelegeri plenare invitate susținute de prof.dr.ing. Radu-Emil Precup la conferințe și seminarii internaționale și specificate în secțiunea bibliografie (capitolul 5) al acestui raport.
- **Factorul de impact cumulat al lucrărilor publicate și acceptate pentru a fi publicate conform 2024 Journal Citation Reports (JCR) publicat de Clarivate Analytics în 2025 este 106.**
- Revistele cu factor de impact ridicat în care au fost publicate sau au fost acceptate pentru a fi publicate lucrările sunt: IEEE Transactions on Fuzzy Systems (IEEE), IEEE Transactions on Cybernetics (IEEE), IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (IEEE), Neural Networks (Elsevier), Journal of Intelligent and Connected Vehicles (Tsinghua University Press and IEEE), Information Sciences (Elsevier), Transportation Research Part D: Transport and Environment (Elsevier), Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering (University of Niš), Romanian Journal of Information Science and Technology (Editura Academiei Române), Proceedings of the Romanian Academy, Series A: Mathematics, Physics, Technical Sciences, Information Science (Editura Academiei Române).
- Cartea de carte cu vizibilitate ridicată a fost publicat în editura CRC Press, Taylor & Francis.
- Capitolul de carte cu vizibilitate ridicată a fost publicat în editura Springer.
- Conferințele cu vizibilitate ridicată în volumele cărora au fost publicate lucrările sunt 2025 23rd European Control Conference ECC 2025, 2025 IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE 2025, Joint IFAC Conferences: SSSC - TDS - COSY 2025, IEEE 19th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2025, 2025 29th International Conference on System Theory, Control and Computing ICSTCC 2025.

4. Un rezumat executiv al activităților realizate în perioada de implementare (max. 1 pag.). Acesta poate fi publicat de către Autoritatea Contractantă în pagina web a competiției.

Echipa de cercetare care a desfășurat activități de cercetare în cadrul proiectului “Sisteme de Transport Intermodale pentru Îmbunătățirea Conectivității și Accesibilității Urbane”, contract de finanțare pentru execuție proiecte nr. 9 / 2024, codul de depunere ERANET-ENUAC-e-MATS, este cea nominalizată în cererea de finanțare: prof.dr.ing. Radu-Emil Precup (director de proiect), conf.dr.ing. Claudia-Adina Bojan-Dragoș, ș.l.dr.ing. Adriana Albu-Hărșian, ș.l.dr.ing. Alexandra-Iulia Szedlak-Stînean, s.l.dr.ing. Raul-Cristian Roman, as.dr.ing. Elena-Lorena Hedrea, conf.dr.ing. Anamaria Feier, drd.inf. Miruna Maria Damian, drd.ing. Monica Csurös, drd.ing. Alexandru-Marian Chiru, ec. Adina-Elena Ivoniciu, ing. Ioana Brazdău, ing. Agnes Stepanian, mat. Nicolina Adamescu, ing. Claudia Micea, ec. Casandra Cesărean Plesnecute, ing. Loredana Coroban.

Universitatea Politehnica Timișoara (UPT) colaborează în cadrul acestui proiect cu Chalmers University of Technology (CTH), Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Zhejiang University (ZJU), The Hong Kong Polytechnic University Shenzhen Research Institute (PolyU-SZRI), Chongqing University (CQU), WSP Sverige AB, FellowBot AB, Hangzhou Comprehensive Transportation Center (HZCTC, cooperation partner) și Enjoyor Ltd Co. (cooperation partner). UPT coordonează partenerii din Europa, în strânsă colaborare (coordonare) cu CTH. Coordonarea pentru partenerii din China este asigurată de ZJU.

Activitatea 2.1 din cadrul acestui proiect a presupus modelarea sistemului energetic urban sau model de trafic. Această activitate a fost realizată cu succes, iar UPT a fost partener în cadrul WP2, colaborând eficient cu ceilalți parteneri. Activitatea 2.2 a vizat dezvoltarea modelului de baterie orientat pe reglarea vitezei din modelul de trafic. Activitatea a fost începută în 2024, finalizată în 2025 și coordonată de către UPT în cadrul WP4. Activitatea 2.3 a presupus evaluarea accesibilității și rezilienței în transportul multimodal. UPT a fost partener în WP5 și a colaborat foarte bine cu partenerii. Activitatea 2.4 a fost dedicată managementului și diseminării rezultatelor intermediare, fiind coordonată de către UPT în cadrul WP6.

Rezultatele principale obținute de UPT în cadrul proiectului în această etapă sunt conform așteptărilor. Rezultatele au fost diseminate prin publicarea a 14 lucrări în reviste din domeniu cu factor de impact, 8 lucrări în volum de conferințe indexate în baze de date internaționale, o carte și un capitol de carte.

Factorul de impact cumulat al lucrărilor publicate și acceptate pentru a fi publicate conform 2024 Journal Citation Reports (JCR) publicat de Clarivate Analytics în 2025 este 106.

Rezultatele proiectului au fost promovate prin patru prelegeri plenare invitate susținute de prof.dr.ing. Radu-Emil Precup la conferințe și seminarii internaționale.

Adresa paginii web a proiectului este: <https://www.aut.upt.ro/~rprecup/e-MATS.html>. Adresa paginii de web cu informații și diseminare la JPI Urban Europe (organizația care a organizat competiția) este: <https://jpi-urbaneurope.eu/project/e-mats/>.

5. Bibliografie proprie (UPT)

- [C1] Y. Xia, K. Xiao, R.-E. Precup, I. J. Rudas and R. K. Agarwal, Power-Considered Fault-Tolerant Control for Nonlinear Systems with Non-Fragile Prescribed Performance, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, DOI: 10.1109/TFUZZ.2025.3619761, pp. 1-11, 2025, impact factor (IF) = 11.9, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 11.9, Q1 quartile, Article Influence Score (AIS) = 2.448.
- [C2] Y. Xia, Z. Lendek, R.-E. Precup (corresponding author), R. K. Agarwal and I. J. Rudas, Suction Cup-Type Prescribed Performance Fault-Tolerant Fuzzy Control for Nonlinear Systems Considering Actuator Power, *IEEE Transactions on Cybernetics*, DOI: 10.1109/TCYB.2025.3609402, pp. 1-10, 2025, impact factor (IF) = 10.5, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 10.5.
- [C3] X. Lin, Y. Xia, Z. Lendek, R.-E. Precup, I. J. Rudas and R. K. Agarwal, Type-2 Fuzzy Single Hidden Layer Recurrent Neural Adaptive Terminal Super-Twisting Control of Robot Joint, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 33, no. 10, pp. 3637-3650, 2025, impact factor (IF) = 11.9, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 11.9, Q1 quartile, Article Influence Score (AIS) = 2.448.
- [C4] Y. Xia, K. Xiao, J. Cao, H.-K. Lam, R.-E. Precup, L. Rutkowski and R. K. Agarwal, Customized Non-Monotonic Prescribed Performance Control for Stochastic MEMS Gyroscopes With Insufficient Input Capability, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, DOI: 10.1109/TCSI.2025.3570642, pp. 1-13, 2025, impact factor (IF) = 5.2, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 5.2.
- [C5] X.-C. Hu, Y. Xia, Z. Lendek, J. Cao and R.-E. Precup, A novel dynamic prescribed performance fuzzy-neural backstepping control for PMSM under step load, *Neural Networks (Elsevier)*, vol. 190, paper 107627, 2025, impact factor (IF) = 6.3, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 6.3.
- [C6] B.-Z. Yao, Z.-H. Qi, Z.-Q. Liu, M.-J. Zhu, S. Cui, R.-E. Precup and R.-C. Roman, Evaluating the sustainability of electric buses during operation via field data, *Journal of Intelligent and Connected Vehicles (Tsinghua University Press and IEEE)*, vol. 8, no. 3, paper 9210061, pp. 1-17, 2025, impact factor (IF) = 7.8, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 7.8.
- [C7] I. A. Zamfirache, R.-E. Precup (corresponding author) and E. M. Petriu, Safe reinforcement learning-based control using deep deterministic policy gradient algorithm and slime mould algorithm with experimental tower crane system validation, *Information Sciences (Elsevier)*, vol. 692, paper 121640, 2025, impact factor (IF) = 6.8, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 6.8.
- [C8] Y. Xia, J. He, H.-K. Lam, L. Rutkowski and R.-E. Precup, Non-Fragile Fuzzy Control of Input-Saturated Systems with Global Prescribed Performance via an Error-Triggered Mechanism, *Information Sciences (Elsevier)*, vol. 711, paper 122111, 2025, impact factor (IF) = 6.8, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 6.8.
- [C9] L.-Y. Hu, Y. Liao, K. Gao, S. Jin and R.-E. Precup, Integration of e-scooter sharing with public transit on employment accessibility and equity, *Transportation Research Part D: Transport and Environment (Elsevier)*, vol. 140, paper 104604, 2025, impact factor (IF) = 7.7, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 7.7.
- [C10] Y. Xia, K. Xiao, J. Cao, R.-E. Precup (corresponding author), Y. Aria, H.-K. Lam and L. Rutkowski, Stochastic Neural Network Control for Stochastic Nonlinear Systems With Quadratic Local Asymmetric Prescribed Performance, *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 55, no. 2, pp.

867-879, 2025, impact factor (IF) = 10.5, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 10.5.

[C11] R.-C. Roman, R.-E. Precup (corresponding author) and E. M. Petriu, Active Disturbance Rejection Control and Model-Free Control Tuned via Fictitious Reference Iterative Tuning, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering (University of Niš)*, vol. 23, no. 2, pp. 183-196, 2025, impact factor (IF) = 11.8, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 11.8, Q2 quartile, Article Influence Score (AIS) = 0.651.

[C12] R.-E. Precup, C.-A. Bojan-Dragoș, K. Gao and S. Cui, Problem Setting for Trajectory Planning and Cruise Control of a Connected Autonomous Electric Bus in Intersection Scenarios with Human-Driven Vehicles to Optimize Energy, Comfort and Tracking, *Romanian Journal of Information Science and Technology (Romanian Academy, Section for Information Science and Technology)*, vol. 28, no. 3, pp. 299-312, 2025, impact factor (IF) = 3.9, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 3.9, Q2 quartile, Article Influence Score (AIS) = 0.463.

[C13] R.-C. Roman, R.-E. Precup (corresponding author) and E. M. Petriu, Higher-Order Model-Free Control Tuned by Fictitious Reference Iterative Tuning for 3D Cranes, *Romanian Journal of Information Science and Technology (Romanian Academy, Section for Information Science and Technology)*, vol. 28, no. 1, pp. 89-102, 2025, impact factor (IF) = 3.9, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 3.9, Q2 quartile, Article Influence Score (AIS) = 0.463.

[C14] A.-I. Szedlak-Stînean, R.-E. Precup (corresponding author) and Z.-M. Ari, Optimization-driven control design for the nonlinear two-wheeled unstable transporter system, *Proceedings of the Romanian Academy, Series A: Mathematics, Physics, Technical Sciences, Information Science (Editura Academiei Romane, Bucharest)*, vol. 6, no. 3, pp. 323-330, 2025, impact factor (IF) = 1, IF according to 2024 Journal Citation Reports (JCR) released by Clarivate Analytics in 2025 = 1, Q4 quartile, Article Influence Score (AIS) = 0.097.

[C15] E.-L. Hedrea, R.-E. Precup, G.-R. Vasile and C. Hedrea, Closed-loop Controllers for Angular Speed and Angular Position Control of Lego Robots, *Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2025*, Budapest, Hungary, and Timisoara, Romania, pp. 125-130, 2025, indexed in Clarivate Analytics Web of Science.

[C16] D.-O. Negîrla, R.-E. Precup, R.-C. Roman and P.-O. Negîrla, Thermal Image Calibration Method for Temperature Measurement Using Sensor Fusion, *Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2025*, Budapest, Hungary, and Timisoara, Romania, pp. 131-137, 2025, indexed in Clarivate Analytics Web of Science.

[C17] A.-I. Szedlak-Stînean, R.-E. Precup and K.-G. Filipescu, Nonlinear Controllers Dedicated to Modular Servo System Laboratory Equipment, *Proceedings of IEEE 19th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics SACI 2025*, Budapest, Hungary, and Timisoara, Romania, pp. 117-123, 2025, indexed in Clarivate Analytics Web of Science.

[C18] R.-C. Roman, R.-E. Precup, K. Stebel and R. Madonski, Active Disturbance Rejection Control Tuned by Fictitious Reference Iterative Tuning for Tower Crane Systems, *Proceedings of 2025 23rd European Control Conference ECC 2025*, Thessaloniki, Greece, pp. 1735-1742, 2025, indexed in IEEE Xplore.

[C19] R.-E. Precup, C. Pozna, R.-C. Roman and M.-M. Damian, Iterative Feedback Tuning of Anti-Windup PI Fuzzy Control of Tower Crane System Payload Position, *Proceedings of 2025*

IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE 2025, Reims, France, pp. 1-8, 2025, indexed in IEEE Xplore.

[C20] R.-C. Roman, R.-E. Precup, E.-L. Hedrea and E. M. Petriu, Model-Free Adaptive Control for Three-Dimensional Crane Systems, Proceedings of Joint IFAC Conferences: SSSC - TDS - COSY 2025, Gif-sur-Yvette, France, 2025, IFAC-PapersOnLine, vol. 59, no. 11, pp. 150-155, 2025, indexed in sciencedirect.

[C21] R.-C. Roman, R.-E. Precup, E. M. Petriu and A.-M. Chiru, Fictitious Reference Iterative Tuning of Active Disturbance Rejection Control Combined with Fuzzy Logic for Crane Systems, Proceedings of 2025 29th International Conference on System Theory, Control and Computing ICSTCC 2025, Cluj-Napoca, Romania, pp. 429-435, 2025, to be indexed in IEEE Xplore.

[C22] R.-E. Precup, C.-A. Bojan-Dragoș, K. Gao and S. Cui, Modeling results of trajectory planning in an intersection crossing scenario with a connected autonomous electric bus and multiple human-driven vehicles, Proceedings of the 2025 KES International Conference on Smart Transportation Systems, Solin, Croatia, pp. 1–13, 2025, to be indexed in Springer Link

[C23] R.-E. Precup, R.-C. Roman, E.-L. Hedrea, A.-I. Szedlak-Stînean and I. A. Zamfirache, Classical and Modern Optimization Techniques Applied to Control and Modeling, 1st Ed., CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA, Abingdon, UK, 354 pp., 2025.

[C24] R.-E. Precup, I. A. Zamfirache, A.-M. Minda and A. Albu, Intelligent Paradigms for Control and Data Mining in Healthcare Applications, Chapter 4 in Digital Transformation in Healthcare Systems for Patient Care, A. Jain, C. P. Lim and L. C. Jain, Eds., Intelligent Systems Reference Library, vol. 279, Springer, Cham, pp. 79-115, 2025, indexed in Springer Link.

Prelegeri plenare invitate susținute la conferințe și seminarii internaționale

[1] R.-E. Precup, C.-A. Bojan-Dragoș, K. Gao and S. Cui, Two-degree-of-freedom Fuzzy Controllers for Servo Systems in Transportation Applications, Conference on Soft Computing and Intelligent Systems with Applications, Gyor, Hungary, 2025 (intelligent-systems-conference.sze.hu).

[2] R.-E. Precup, Metaheuristic algorithms in fuzzy control and model building, and learning-based control of servo systems in medical applications, 13th IEEE International Conference on e-Health and Bioengineering EHB 2025, Iasi, Romania, 2025 ([Plenary speakers EHB 2025](https://Plenary%20speakers%20EHB2025), www.ehbconference.ro).

[3] R.-E. Precup, C.-A. Bojan-Dragoș, K. Gao and S. Cui, Problem Setting for Trajectory Planning and Cruise Control of Connected Autonomous Electric Buses in the Framework of the e-MATS Project, Winter Academy for the eight Sino-European projects funded by the Joint Programming Initiative Urban Europe (JPI Urban Europe) and the National Natural Science Foundation of China (NSFC) in the Sino-European call of the ERA-Net Urban Accessibility and Connectivity (ENUAC) (EC grant 875022), Groningen, the Netherlands, 2025.

[4] R.-E. Precup, Evolving fuzzy models and applications of the process control group of the Politehnica University of Timisoara, Artificial Intelligence Seminar, Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts National Institute of the Republic of Serbia, Novi Sad, Serbia, 2025 (www.mi.sanu.ac.rs).

Director Proiect,
Prof.dr.ing. Radu-Emil Precup

