

RECEPȚIONAT

Agenția Națională pentru

Cercetare și Dezvoltare

” ” 2025

AVIZAT

Secția AȘM

” ” 2025

RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL

(pentru etapa 2025)

privind implementarea proiectului din cadrul concursului
„Stimularea excelenței cercetărilor științifice 2025-2026”

Proiectul „Cercetarea metodelor de determinare precisă
a poziției nanosateliților pe orbită”
(titlul proiectului)

Cifra proiectului 25.80012.5007.78SE

Prioritatea Strategică V „Tehnologii inovative, energie sustenabilă, digitalizare”

Rector U.T.M.

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

(semnătura)

Președintele

Consiliului științific UTM

dr. hab. Vasile TRONCIU

(numele, prenumele)

(semnătura)

Conducătorul proiectului

Dr. Viorel CĂRBUNE

(numele, prenumele)

(semnătura)

L.Ș.

Chișinău, 2025

CUPRINS:

1. Scopul etapei 2025 conform proiectului depus la concurs.....	3
2. Obiectivele etapei 2025.....	3
3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2025.....	4
4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei 2025.....	4
5. Rezultatele obținute	5
6. Diseminarea rezultatelor la foruri științifice.....	11
7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului 2025.....	12
8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului 2025.....	12
9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului 2025.....	13
10. Dificultăți în realizarea proiectului: financiare, organizatorice, legate de resursele umane...13	
11. Recomandări, propuneri.....	13
12. Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect 2025 în limba română și în limba engleză (Anexa 1).....	14
13. Lista lucrărilor științifice, publicate în anul 2025 (Anexa 2).....	16
14. Executarea devizului de cheltuieli din contractul de finanțare pentru anul 2025 (Anexa 3)...18	
15. Componența echipei conform contractului de finanțare pentru anul 2025 (Anexa 4).....	19

1. Scopul etapei 2025 conform proiectului depus la concurs (obligatoriu).

Etapa I – Studiul și elaborarea conceptului de măsurare precisă a poziționării nanosateliților pe orbită.

Proiectul prezintă cercetări privind metodele de determinare precisă a nanosateliților aflați pe orbită, capabile să dezvolte subsisteme de navigație globală prin satelit (GNSS) accesibile pe bază de componente Commercial Off-The-Shelf (COTS) și să integreze algoritmi de poziționare precisă necesari pentru a facilita operațiunile de apropiere a nanosateliților în zbor în formație și în timpul manevrelor de acostare sau pentru a preveni coliziunile cu diverse obiecte spațiale.

Cercetarea metodelor și algoritmilor de poziționare precisă a sateliților pe orbită, care urmează să fie implementați pe microcontrolere de bord, cu care se va încerca să maximizeze disponibilitatea unei soluții eficiente și precise prin încorporarea unei rețele neuronale "alimentate" de un propagator de orbită. Rețeaua neuronală are misiunea de a estima poziția precisă ori de câte ori corecțiile nu sunt disponibile. Se va analiza posibilitate de instruire a rețelei neuronale în condiții terestre, pentru a minimiza re-instruirea la bordul sateliților. Se va cerceta diverse arhitecturi de microcontrolere eficiente pentru implementarea rețelei neuronale.

Realizarea proiectului va crește vizibilitatea internațională a cercetărilor naționale, va avea o influență pozitivă asupra cooperării și schimburi de experiență cu echipe internaționale pentru o dezvoltare mai rapidă și atragerea atât a investițiilor străine, cât și motivarea tinerilor în activitatea științifică și stimularea interesului pentru STEM.

Promovarea tehnologiilor spațiale și implementarea programului de dezvoltare a nanosateliților, subsistemelor de bord, comunicațiilor cu stațiile terestre pot constitui baza tehnico-științifică multidisciplinară atât pentru cercetători, cât și pentru studenți, masteranzi și doctoranzi.

Scopul proiectului este stimularea activităților de cercetare și dezvoltare a subsistemelor satelitare de navigație globală (GNSS) prin integrarea algoritmilor de poziționare precisă, care urmează să fie implementați pe microcontrolere, cu care se va ținde să maximizeze precizia prin încorporarea rețelelor neuronale susținute de un propagator a poziției pe orbită. Această abordare este în concordanță cu tendințele actuale științifice și de dezvoltare în domeniul tehnologiilor spațiale pe plan național și internațional.

2. Obiectivele etapei 2025 (obligatoriu).

Obiectivul general al propunerii de proiect este aprofundarea cunoașterii tehnologiilor spațiale și lărgirea orizontului de aplicare ale acestora prin obținerea rezultatelor științifice de impact, competitive pe plan național, în scopul creșterii vizibilității internaționale. Pentru a atinge scopul și obiectivul general al proiectului s-au stabilit următoarele obiective concrete:

O1. Studiarea și acumularea datelor statistice de poziționare globală, obținute de diverse constelații de navigație satelitară: GPS, GALILEO, GLONAS, etc privitor la poziționarea nanosateliților pe orbită pentru a facilita operațiunile de proximitate pentru zbor în formație și manevre de acostare sau de prevenire a ciocnirilor.

O2. Proiectarea rețelei neuronale artificiale multinivel, capabilă să rezolve problema majorării preciziei de măsurare a poziției nanosateliților pe orbită la altitudini joase de tipul LEO (Low Earth Orbit).

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor etapei 2025 (obligatoriu)

Pe perioada anului 2025 au fost planificate următoarele acțiuni:

- a) Studierea abordărilor și metodelor de poziționare a nanosateliților pe orbită în operațiunile de proximitate pentru zbor în formație și manevre, de acostare sau/și de prevenire a ciocnirilor.
- b) Studierea și acumularea datelor statistice de poziționare globală, obținute de diverse constelații de navigație satelitară: GPS, GALILEO, GLONAS, ș.a.
- c) Cercetarea metodelor de majorare a preciziei de măsurare a poziției nanosateliților pe orbite tip LEO.
- d) Cercetări de comparație între rezultatele de poziționare a sateliților obținute cu un algoritm de poziționare precisă a punctelor (PPP), care de regulă necesită multă energie (de regulă, folosiți pe sateliți mari) și cele furnizate ca rezultat de o rețea neuronală artificială (RNA) cu consum redus de energie, cum ar fi în cazul nanosateliților.
- e) Elaborarea procedurilor de analiză a datelor provenite din măsurători reale GNSS și a datele care urmează să fie prelucrate cu propagator de orbită (OP), (care estimează poziția și viteza satelitului care orbitează Pământul în orice moment în timp), a datelor obținute cu algoritmi PPP și în final cele obținute cu RNA. Pentru a valida rezultatele va necesita compararea rezultatelor cu un set valid de date, conținând pozițiile și vitezele reale (recepționate de la nanosatelit), care vor fi în calitate date de control.
- f) Cooperarea și schimb de experiență cu echipe internaționale (preponderent cu compania RISE și Institutul Științe Spațiale al ROSA din România), verificarea soluțiilor pe prototipurile acestora.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor etapei 2025

În anul 2025 au fost realizate următoarele acțiuni:

- a) Studierea abordărilor și metodelor de poziționare a nanosateliților pe orbită în operațiunile de proximitate pentru zbor în formație și manevre, de acostare sau/și de prevenire a ciocnirilor.
- b) Studierea și acumularea datelor statistice de poziționare globală, obținute de diverse constelații de navigație satelitară: GPS, GALILEO, GLONAS, ș.a.
- c) Cercetarea metodelor de majorare a preciziei de măsurare a poziției nanosateliților pe orbite tip LEO.
- d) Cercetări de comparație între rezultatele de poziționare a sateliților obținute cu un algoritm de poziționare precisă a punctelor (PPP), care de regulă necesită multă energie (de regulă, folosiți pe sateliți mari) și cele furnizate ca rezultat de o rețea neuronală artificială (RNA) cu consum redus de energie, cum ar fi în cazul nanosateliților.
- e) Elaborarea procedurilor de analiză a datelor provenite din măsurători reale GNSS și a datele care urmează să fie prelucrate cu propagator de orbită (OP), (care estimează poziția și viteza satelitului care orbitează Pământul în orice moment în timp), a datelor obținute cu algoritmi

PPP și în final cele obținute cu RNA. Pentru a valida rezultatele va necesita compararea rezultatelor cu un set valid de date, conținând pozițiile și vitezele reale (recepționate de la nanosatelit), care vor fi în calitate date de control.

- f) Cooperarea și schimb de experiență cu echipe internaționale (preponderent cu compania RISE și Institutul Științe Spațiale al ROSA din România), verificarea soluțiilor pe prototipurile acestora.

5. Rezultatele obținute (descriere narativă 3-5 pagini) (obligatoriu)

Reieșind din faptul că demararea proiectului "Cercetarea metodelor de determinare precisă a poziției nanosateliților pe orbită" a avut loc începând cu 01.08.2025, până pe 30.11.2025, în cadrul *Etapei I – Studiul și elaborarea conceptului de măsurare precisă a poziționării nanosateliților pe orbită*, au fost desfășurate activități de documentare, analiză și sinteză privind tehnologiile actuale de poziționare și particularitățile aplicării acestora în cazul nanosateliților.

Studierea abordărilor și metodelor de poziționare a nanosateliților pe orbită.

În cadrul primei activități a fost realizat un studiu detaliat asupra abordărilor existente în domeniul determinării poziției sateliților în operațiuni de proximitate, relevante pentru zborul în formație, manevre de acostare sau pentru evitarea coliziunilor. Au fost analizate metodele bazate pe navigația prin sateliți GNSS, tehnicile de măsurare relativă între sateliți, precum și soluțiile hibride care integrează date provenite de la senzori optici și senzori inerțiali.

Precizia de determinare a geolocației reprezintă unul dintre cele mai importante aspecte tehnologice ale epocii moderne, având un impact semnificativ în diverse sectoare ale societății și economiei. Indiferent că vorbim despre serviciile de navigație pentru autovehicule, aplicațiile mobile care facilitează găsirea rapidă a unor puncte de interes, sistemele avansate de monitorizare în logistică sau chiar măsurarea exactă a poziției în domeniul agriculturii de precizie, capacitatea de a cunoaște cu exactitate poziția geografică este esențială. O precizie ridicată permite nu doar o îmbunătățire a eficienței și a calității serviciilor oferite, ci și reducerea riscurilor asociate inexactităților, cum ar fi pierderea sau întârzierea bunurilor, accidente sau chiar situațiile de urgență unde fiecare secundă și fiecare metru contează. În plus, în contextul dezvoltării rapide a tehnologiilor digitale și integrării acestora în viața cotidiană, precizia geolocației devine o componentă esențială și în domeniul securității cibernetice și al protecției datelor personale. Multe aplicații și sisteme digitale folosesc datele de localizare pentru autentificare, monitorizare sau personalizare, iar o precizie scăzută poate conduce la vulnerabilități sau la interpretări greșite ale poziției utilizatorilor. De aceea, metodele avansate de geolocație, bazate pe tehnologii precum GPS, GLONASS, Galileo sau sisteme hibride, sunt în continuă perfecționare, pentru a oferi atât un nivel înalt de acuratețe, cât și o reziliență crescută în fața interferențelor sau erorilor tehnologice.

Precizia în determinarea geolocației nu este doar o chestiune de perfecțiune tehnică, ci o necesitate strategică care influențează direct performanța, siguranța și sustenabilitatea serviciilor și proceselor moderne. În cadrul cercetării au fost explorate principalele argumente care susțin importanța acestei precizii, prezentând și exemple concrete din diverse domenii de aplicare, în special pentru poziționarea corectă și precisă a nanosateliților pe orbită la altitudini joase.

În primul rând, sistemele globale de navigație prin satelit, cunoscute generic ca GNSS (Global Navigation Satellite Systems), reprezintă tehnologia fundamentală folosită pentru majoritatea aplicațiilor de geolocație. Cele mai cunoscute dintre aceste sisteme sunt GPS (Statele Unite), Galileo (Uniunea Europeană), GLONASS (Rusia) și BeiDou (China), fiecare furnizând semnale precise provenite de la constelații de sateliți aflați pe orbite înalte. Prin intermediul acestor semnale, un receptor terestru poate determina distanța față de fiecare satelit prin măsurarea timpului de întârziere a semnalului. Modelul matematic de bază implică trilaterarea spațială în care receptorul își calculează poziția tridimensională rezolvând un sistem de ecuații non-liniare. Dacă notăm cu T_i timpul măsurat la receptor pentru semnalul emis de satelitul i , cu t_i timpul efectiv de emisie, iar cu c viteza luminii, distanța – d_i până la fiecare satelit este dată de relația (1):

$$d_i = c \times (T_i - t_i) \quad (1)$$

Ulterior, poziția receptorului (x, y, z) și eroarea de sincronizare a ceasului receptor Δt poate fi determinată rezolvând sistemul (2):

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = (c \times (T_i - t_i + \Delta t))^2, \quad i = 1, \dots, 4 \quad (2)$$

Precizia sistemelor GNSS standard este în general de ordinul a câțiva metri, între 3 și 10 metri în condiții ideale. Cu toate acestea, prin metode de augmentare cum sunt Differential GPS (DGPS) și Real Time Kinematic (RTK), precizia poate ajunge la un nivel centimetric sau. Totuși, aceste sisteme sunt sensibile la blocajele semnalului în zone urbane dense sau sub acoperiri dense și pot fi influențate de efecte atmosferice precum refracția semnalului în ionosferă. **Această analiză a permis identificarea direcției principale de cercetare, cu evidențierea avantajelor și limitărilor metodelor identificate de poziționare a nanosateliților.**

Studierea și acumularea datelor statistice de poziționare globală.

Cea de-a doua activitate a vizat colectarea și analiza datelor statistice privind poziționarea globală furnizată de constelațiile de navigație GPS, GALILEO și GLONASS. Această activitate s-a concentrat pe colectarea, organizarea și analiza statistică a datelor furnizate de principalele sisteme globale de navigație satelitară (GNSS), **Figura 1 a, b**. Au fost analizate caracteristicile fiecărei constelații, incluzând disponibilitatea, densitatea sateliților, calitatea semnalului, stabilitatea ceasurilor și performanțele. Seturile de date au provenit din fluxuri de date reale GNSS, **Figura 2**, colectate în format NMEA, **Figura 3**. Au fost studiate erorile caracteristice asociate semnalelor GNSS, precum și impactul perturbațiilor externe asupra preciziei orbitale. **Analiza a arătat că utilizarea simultană a mai multor constelații de navigație satelitară poate contribui semnificativ la îmbunătățirea acurateței determinării poziției nanosateliților.**

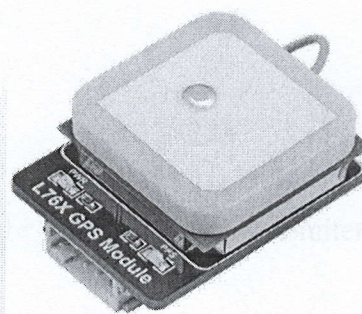


Figura 1 (a) Modul TOPGNSS cu interfață USB (b) Modul GY-GHPS6MV2 cu interfață UART.

```
$GPGGA,092750.000,5321.6802,N,00630.3372,W,1,8,1.03,61.7,M,55.2,M,,*76
$GPGSA,A,3,10,07,05,02,29,04,08,13,,,,,1.72,1.03,1.38*0A
$GPGSV,3,1,11,10,63,137,17,07,61,098,15,05,59,290,20,08,54,157,30*70
$GPGSV,3,2,11,02,39,223,19,13,28,070,17,26,23,252,,04,14,186,14*79
$GPGSV,3,3,11,29,09,301,24,16,09,020,,36,,,*76
$GPRMC,092750.000,A,5321.6802,N,00630.3372,W,0.02,31.66,280511,,A*43
$GPGGA,092751.000,5321.6802,N,00630.3371,W,1,8,1.03,61.7,M,55.3,M,,*75
$GPGSA,A,3,10,07,05,02,29,04,08,13,,,,,1.72,1.03,1.38*0A
$GPGSV,3,1,11,10,63,137,17,07,61,098,15,05,59,290,20,08,54,157,30*70
$GPGSV,3,2,11,02,39,223,16,13,28,070,17,26,23,252,,04,14,186,15*77
$GPGSV,3,3,11,29,09,301,24,16,09,020,,36,,,*76
$GPRMC,092751.000,A,5321.6802,N,00630.3371,W,0.06,31.66,280511,,A*45
```

Figura 2 Exemplu de pachete de date NMEA achiziționate de la module GNSS.

NMEA Format

\$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47

↑ ↑ ↑ ↑
 Talker ID (GN: GNSS, GP: GPS, GL: GLONASS...) Message Type Message Contents Checksum

Different NMEA Message Types contain different types of GNSS information

- RMC: 2D Position, Date/Time, Speed, Heading
- GGA: 3D Position(Lat/Lon), Time, Fix Quality, DOP, DGPS status
- GSA: Active Satellites
- GSV: Satellites in view, Azimuth, Elevation, SNR
- GST: Estimated accuracy

Figura 3 Formatul NMEA (National Marine Electronics Association) - standard pentru transmiterea datelor GPS.

Cercetarea metodelor de majorare a preciziei de măsurare a poziției.

Activitatea a inclus evaluarea metodelor moderne de creștere a preciziei poziției pentru platformele nanosatelite, ținând cont de limitările energetice și hardware ale acestora. Au fost investigate tehnici precum filtrarea avansată (Kalman extins, Unscented Kalman, filtre hibride), combinarea multi-constelație, fuziunea datelor GNSS, utilizarea semnalelor de corecție externă și algoritmi de învățare automată pentru reducerea erorilor sistematice.

Au fost identificate metode capabile să reducă eroarea de poziționare sub limitele standard GNSS, fără a depăși consumul energetic maxim acceptabil pentru nanosateliti. **Analiza a relevat că abordările hibride, în special cele bazate pe învățare automată, au potențial înalt pentru îmbunătățirea preciziei fără creșterea complexității hardware.**

Cercetări de comparație între rezultatele de poziționare (PPP) și (RNA).

La această etapă s-a efectuat o analiza potențialului metodei bazate pe rețele neuronale artificiale (RNA) – orientată spre nanosateliti datorită necesarului energetic scăzut. Pentru realizarea analizei au fost achiziționate seturi consistente de date reale GNSS, **Figura 2**, iar ca referință au fost considerate datele de înaltă precizie, **Figura 4**. Rețeaua neuronală a fost antrenată pe datele achiziționate și validată pe datele de înaltă precizie, **Figura 5**. **La etapa intermediară s-a obținut că, deși PPP oferă în continuare cea mai mare acuratețe absolută, modelele RNA bine calibrate reușesc să obțină erori destul de mici și suficient de apropiate de cerințele specificate pentru a fi utilizate operațional pe nanosateliti fără a crește semnificativ cheltuielile.** Aceste rezultate confirmă fezabilitatea utilizării RNA ca alternativă pentru poziționarea nanosatelitelor în contexte cu resurse limitate.

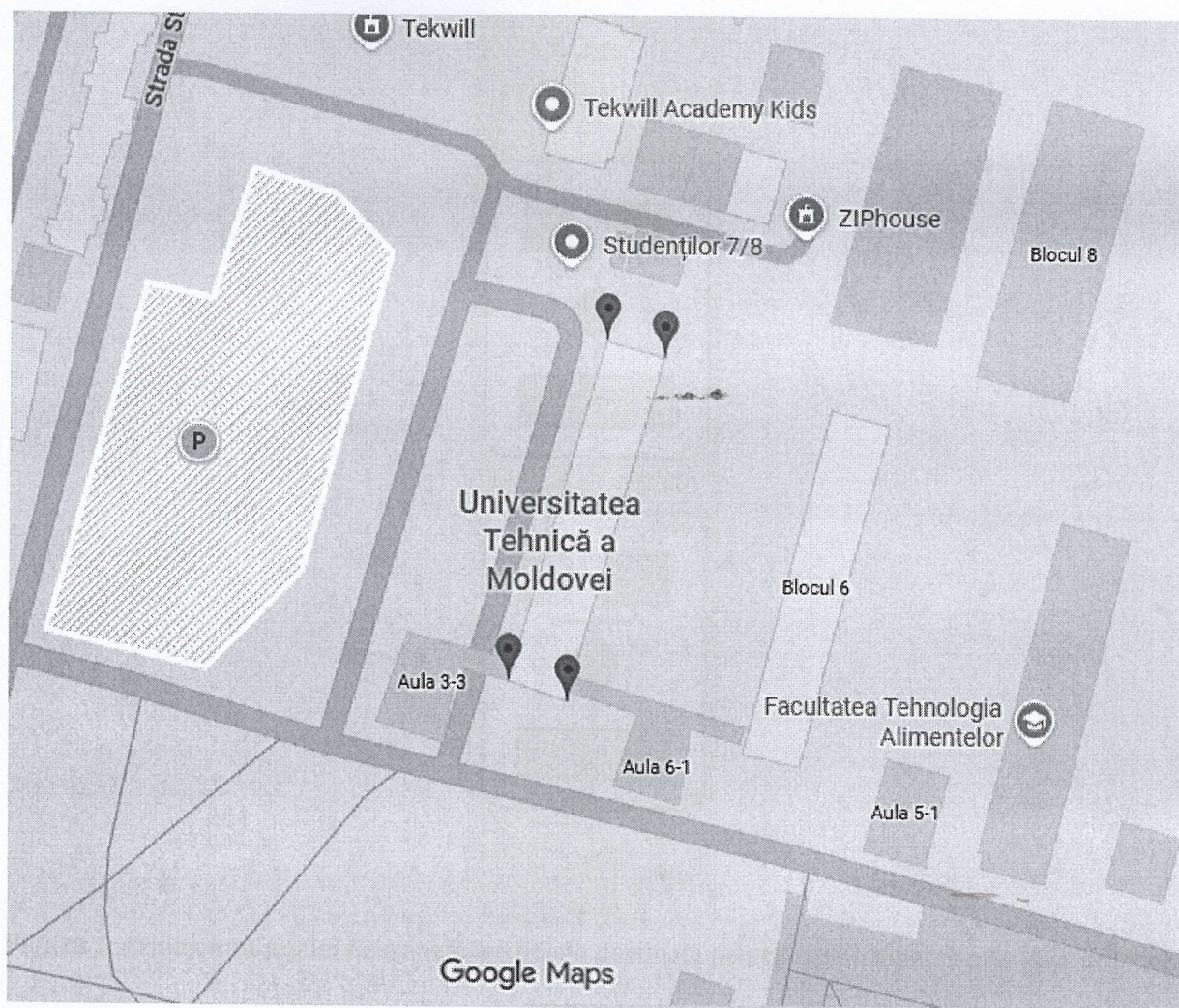


Figura 4 Patru puncte statice considerate ca set de date de înaltă precizie de pe Google Maps.

În această etapă au fost dezvoltate proceduri complete pentru producerea datelor provenite din diferite surse: măsurători GNSS reale, date generate de propagatorul orbital, date procesate prin PPP și rezultate generate de rețeaua geinercială. S-a pus accent pe armonizarea acestor surse, astfel încât comparația să fie corectă și riguroasă fiind orientată:

– la fel de înalt flexul standardizat de analiză, incluzând:

- librăria datelor brute;
- sincronizarea temporală a măsurătorilor;
- librăria algoritmilor;
- transformarea coordonatelor;
- compensarea pozițiilor punctelor statice în sistemele de referință geocentrice;
- calcularea metricilor de performanță (RMSE, MAE, deriva cumulativă etc.).

Pentru validarea rezultatelor a fost pregătit și utilizat un set de date, reprezentând pozițiile reale recepționate de la module GNSS capătate în cadrul Facultății Calculatoare, Informatică și Microelectronică. Figura 4. Compararea acestor valori de control cu rezultatele RNA va permite evaluarea riguroasă a performanței metodelor.

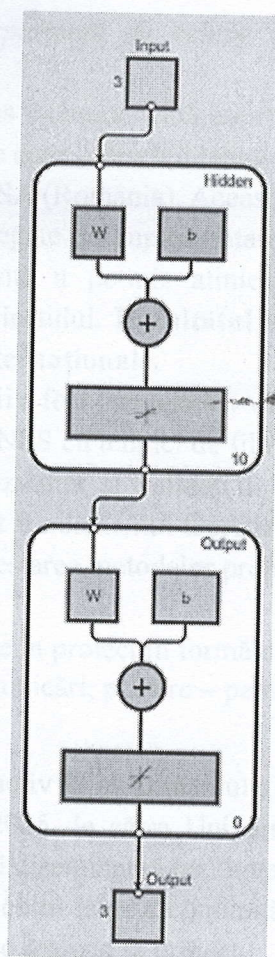


Figura 5 Arhitectura rețelei neuronale artificiale destinată pentru determinarea precisă a poziției.

Elaborarea procedurilor de analiză a datelor.

În această etapă au fost dezvoltate proceduri complete pentru prelucrarea datelor provenite din diferite surse: măsurători GNSS reale, date generate de propagatorul orbital, date procesate prin PPP și rezultate generate de rețeaua neuronală. S-a pus accent pe armonizarea acestor surse, astfel încât comparația să fie corectă și riguros fundamentată.

A fost definit fluxul standardizat de analiză, incluzând:

- filtrarea datelor brute,
- sincronizarea temporală a măsurătorilor,
- filtrarea zgometelor,
- transformarea coordonatelor,
- compararea pozițiilor punctelor statice în sistemele de referință adecvate,
- calcularea metricilor de performanță (RMSE, MAE, deriva cumulativă etc.).

Pentru validarea rezultatelor a fost pregătit și utilizat un set de date, reprezentând pozițiile reale recepționate de la module GNSS amplasate în cadrul Facultății Calculatoare, Informatică și Microelectronică, **Figura 4**. Compararea acestor valori de control cu rezultatele RNA va permite evaluarea riguroasă a performanței metodelor.

Cooperarea și schimb de experiență cu echipe internaționale, verificarea soluțiilor pe prototipurile acestora.

Dezvoltarea proiectului a inclus o componentă esențială de colaborare internațională. Au fost realizate sesiuni de lucru, schimburi de date și discuții tehnice cu echipe din cadrul companiei RISE și al Institutului de Științe Spațiale al ROSA (România). Această cooperare a facilitat validarea soluțiilor, identificarea unor probleme practice legate de implementare și optimizarea parametrilor algoritmici. De asemenea, schimbul de experiență a permis alinierea la bunele practici internaționale și consolidarea direcției științifice a proiectului. **Rezultatul activității constă atât în cooperarea și schimbul de experiență cu echipe internaționale.**

Pe baza acestor date și concluzii a fost formulată o variantă inițială de algoritm de poziționare, construit pe integrarea informațiilor GNSS cu tehnici de filtrare adaptivă. Această variantă reprezintă un rezultat preliminar, care va fi dezvoltat și validat în etapele următoare ale proiectului. Prin activitățile desfășurate, Etapa I a oferit fundamentul teoretic necesar pentru continuarea cercetărilor, deschizând calea către optimizarea și testarea metodelor propuse în etapele ulterioare.

6. Diseminarea rezultatelor obținute în proiect în formă de publicații (obligatoriu) și în formă de prezentări la foruri științifice (comunicări, postere – pentru cazurile când nu au fost publicate în materialele conferințelor)

Echipa de proiect a participat activ la evenimentul „Noaptea Cercetătorilor Europeni 2025”, organizat la data de 26 septembrie 2025 de către Universitatea Tehnică a Moldovei. **Figura 6.** Participarea a avut ca obiectiv principal diseminarea rezultatelor preliminare ale cercetărilor efectuate până în prezent și familiarizarea publicului larg, a comunității academice, precum și a partenerilor industriali cu progresul tehnico-științific realizat în proiect.

În cadrul expoziției, a fost pregătită o prezentare vizuală structurată, care a inclus informații despre obiectivele principale ale proiectului, metodele utilizate pentru creșterea preciziei de poziționare a nanosatelitelor și rezultatele obținute în urma analizei datelor GNSS și a sistemelor bazate pe rețele neuronale artificiale. De asemenea, a fost prezentat un prototip al arhitecturii software utilizate în procesarea datelor orbitale, alături de o demonstrație interactivă care a ilustrat modul de funcționare a algoritmilor de predicție a poziției. Explicațiile au fost adaptate atât pentru publicul specializat, cât și pentru cel nespecializat, ceea ce a facilitat o înțelegere largă a importanței cercetării în domeniul navigației satelitare moderne.

3. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului (obligatoriu)

În cadrul implementării proiectului sunt realizate colaborări sistematice cu diverse agenți, universități și companii:

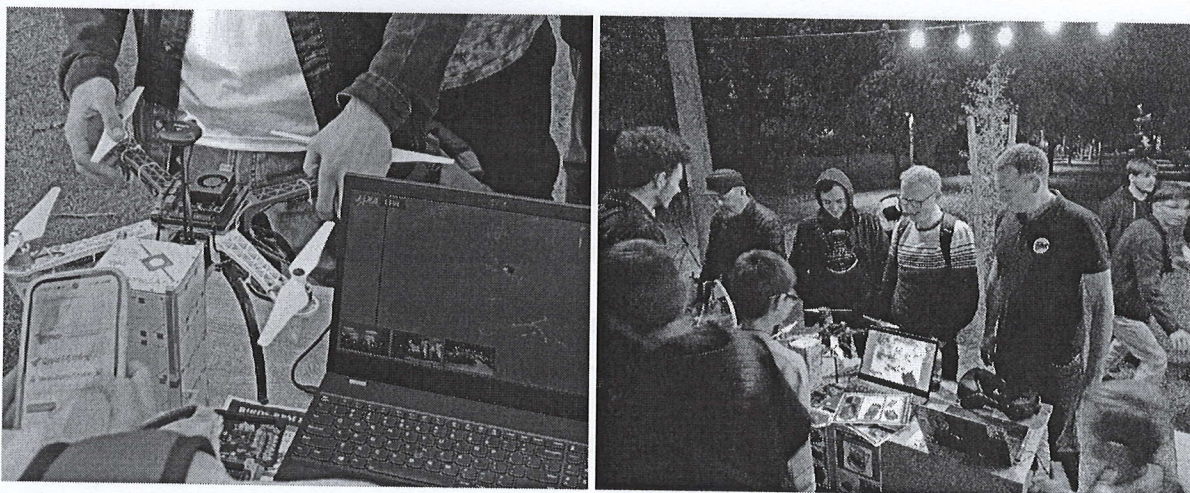


Figura 6 Participarea echipei de proiect la evenimentul „Noaptea Cercetătorilor Europeni 2025”, organizat la data de 26 septembrie 2025 de către Universitatea Tehnică a Moldovei.

Lista publicațiilor din anul 2025 în care se reflectă doar rezultatele obținute în proiect, perfectată conform cerințelor față de lista publicațiilor (a se vedea Anexa 2)

Planul de activitate pentru anul 2025 nu include activități de publicare a rezultatelor.

7. Impactul științific, social și/sau economic al rezultatelor științifice obținute în cadrul proiectului (obligatoriu)

Rezultatele obținute în urma activităților desfășurate în cadrul proiectului au un impact semnificativ atât la nivel științific, cât și social și economic. Tehnologiile spațiale sunt o parte vitală a succesului în furnizarea unei baze de cunoștințe pentru multe alte domenii. Proiectul curent e dedicat profitării de avantajele tehnologiilor de spațiale și la nivel științific va genera cunoștințe noi în domeniul tehnologiilor și ingineriei spațiale, va contribui la aprofundarea cunoașterii tehnologiilor spațiale și la lărgirea orizontului de aplicare ale acestora prin obținerea rezultatelor științifice de impact, competitive pe plan național, în scopul creșterii vizibilității internaționale. Evoluțiile tehnologice din acest domeniul afectează direct industria, producerea, agricultura, silvicultura, ecologia mediului, până la medicină și acoperă o gamă largă de activități de furnizare servicii, explorare, până la dezvoltarea științei.

Un scopul major al acestui proiect este diminuarea lipsei personalului de știință și ingineri din domeniul de cercetare și dezvoltare, precum și contribuția la construirea de parteneriate pe termen lung cu diferite țări, care vor avea un impact major în îmbunătățirea calității studiilor de inginerie bazate pe tehnologii moderne, atragerea tinerilor cercetători în dezvoltarea și consolidarea cercetării științifice în acest domeniu și a integrării Republicii Moldova în comunitatea țărilor, care dezvoltă tehnologii moderne de comunicații și procesare a datelor.

8. Colaborare la nivel național în cadrul implementării proiectului (obligatoriu)

În cadrul implementării proiectului sunt realizate colaborări națională cu diverse agenții, universități și companii:

- ✓ Compania **Cart Engineering** din Republica Moldova specializată în servicii geospațiale și de inginerie topografică: topografie, cadastru, cartografie digitală, scanări cu drone (LIDAR UAV) și sisteme GIS (sisteme geoinformaționale) <https://cartengineering.md/>.

9. Colaborare la nivel internațional în cadrul implementării proiectului (obligatoriu)

În cadrul implementării proiectului sunt realizate colaborări internațională cu diverse agenții, universități și companii:

- ✓ **Agenția Aerospațială din Japonia (JAXA) și University Space Engineering Consortium (UNISEC)** <https://unise.jp/unise-en-home> în cadrul noului program J-CUBE <https://unise.jp/serviceen/j-cube>
- ✓ **Institutul Științe Spațiale (ISS) al Agenției Spațiale din Romania (ROSA)** – colaborare pe probleme de elaborare/testare sisteme satelitare, testarea nanosateliților <https://www2.spacescience.ro/>.
- ✓ **Romanian InSpace Engineering (RISE)** - colaborare pe domenii de proiectele de cercetare/dezvoltare, know-how-ul de prototipare și testare la nivel start-up, dezvoltare software de automatizare. <https://roinspace.com/space-consultancy/>
- ✓ **Centrul Spațial "Mohammed Bin Rashid Space Centre"** – proiectul "TUM's Payload Hosting Initiative - 2024", National Space Technologies Center of the Technical University of Moldova" în cadrul programului "Access to Space for All initiative United Nations for Cooperation Programme on Payload Hosting Initiative, 2024" <https://utm.md/blog/2024/10/18/utm-parteneriat-international-de-succes-cu-unoosa-si-mbrsc-pentru-explorarea-spatiala/>
- ✓ **Institutul de Cercetare și Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov** – cooperare pe probleme de elaborare și testare sisteme satelitare, <https://iesc.unitbv.ro/ro/>

10. Dificultățile în realizarea proiectului de natură financiară, organizatorică, legate de resursele umane etc. (obligatoriu).

Riscul de cercetare/dezvoltare este evaluat ca fiind scăzut atât pentru partea teoretică, cât și pentru cea experimentală pentru toate obiectivele. Riscurile previzibile în realizarea proiectului sunt legate în general de reținerile în procurarea componentelor electronice și materialelor necesare. Referitor la procurări și prestări servicii, aceste riscuri au fost tratate cu succes datorită planificării riguroase a activităților și utilizării partenerilor de încredere. O altă latură - deseori, nu există mărfuri sau servicii, care ar fi furnizate doar de un furnizor și necesită un efort suplimentar pentru sincronizarea acestor procurări. În scopul aplanării acestor riscuri, toate activitățile, inclusiv procurarea mărfurilor și prestarea serviciilor au fost monitorizate în timp real, utilizând platforme computerizate de management al proiectelor.

11. Recomandări, propuneri (opțional).

Conducătorul de proiect dr. Cărbune Viorel/ (numele, prenumele, semnătura)

Data: 06.12.2025

LȘ



Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2025

Cifra proiectului 25.80012.5007.78SE

Denumirea Proiectului Cercetarea metodelor de determinare precisă a poziției nanosateliților pe orbită

În cadrul proiectului a fost realizată o analiză amplă a metodelor moderne de poziționare, cu accent pe cerințele specifice platformelor cu resurse reduse. Au fost examinate tehnicile de poziționare bazate pe GNSS, metodele de măsurare relativă inter-satelit și soluțiile hibride ce integrează senzori optici și inerțiali. Analiza comparativă a evidențiat avantajele și limitările fiecărei abordări, orientând direcția de cercetare spre soluții mixte, eficiente energetic și ușor implementabile pe nanosateliți.

O etapă importantă a vizat colectarea și evaluarea datelor statistice provenite de la principalele constelații GNSS: GPS, GALILEO și GLONASS. Datele reale, colectate în format NMEA, au fost analizate pentru a evidenția diferențele privind disponibilitatea sateliților, stabilitatea semnalului și precizia determinării poziției. Studiul a confirmat că utilizarea multi-constelație conduce la o creștere semnificativă a fiabilității și acurateței poziției.

Proiectul a inclus, de asemenea, cercetarea metodelor de majorare a preciziei, analizând tehnici precum filtrarea Kalman (EKF, UKF), fuziunea avansată a datelor GNSS, utilizarea corecțiilor externe și abordările bazate pe învățare automată. Rezultatele au arătat că soluțiile hibride, în special cele ce integrează modele de tip rețea neuronală, pot reduce considerabil erorile de poziționare fără a depăși limitele energetice ale platformelor nanosatelitare.

Un obiectiv central al proiectului a fost compararea performanțelor poziționării Precise Point Positioning (PPP) cu modelele bazate pe rețele neuronale artificiale (RNA). Rețeaua neuronală a fost antrenată pe seturi extinse de date reale, iar validarea s-a realizat folosind poziții de referință cu acuratețe ridicată. Analiza preliminară a demonstrat că, deși PPP rămâne standardul de referință în ceea ce privește precizia absolută, modelele RNA bine calibrate pot furniza rezultate competitive, adecvate pentru implementare pe nanosateliți cu resurse limitate.

În etapa de procesare, au fost dezvoltate proceduri complete pentru filtrarea, sincronizarea și compararea datelor provenite din surse variate: măsurători GNSS brute, rezultate PPP și estimări generate de RNA. A fost stabilit un flux de analiză standardizat, incluzând evaluarea performanței. Datele colectate experimental la FCIM au servit drept set de validare pentru verificarea riguroasă a metodelor propuse.

Prin concluziile și procedurile elaborate, Etapa I a proiectului oferă o bază teoretică solidă pentru optimizarea și validarea metodelor în etapele următoare, consolidând direcția de cercetare în domeniul poziționării precise a nanosateliților.

Within the project, an extensive analysis of modern positioning methods was carried out, with a focus on the specific requirements of resource-constrained platforms. Positioning techniques based on GNSS, inter-satellite relative measurement methods, and hybrid solutions integrating optical and inertial sensors were examined. The comparative analysis highlighted the advantages and limitations of each approach, guiding the research direction toward mixed solutions that are energy-efficient and easily implementable on nanosatellites.

An important component involved the collection and evaluation of statistical data from the main GNSS constellations: GPS, GALILEO, and GLONASS. Real datasets collected in NMEA format were analyzed to identify differences in satellite availability, signal stability, and positioning accuracy. The study confirmed that multi-constellation usage leads to a significant increase in the reliability and accuracy of positioning.

The project also included research on accuracy-enhancement methods, examining techniques such as Kalman filtering (EKF, UKF), advanced GNSS data fusion, the use of external corrections, and machine-learning-based approaches. The results showed that hybrid solutions—especially those integrating neural-network models—can considerably reduce positioning errors without exceeding the energy limitations of nanosatellite platforms.

A central objective of the project was the comparison of Precise Point Positioning (PPP) performance with models based on artificial neural networks (ANN). The neural network was trained on extensive sets of real data, and validation was performed using high-accuracy reference positions. Preliminary analysis demonstrated that, although PPP remains the reference standard for absolute accuracy, well-calibrated ANN models can provide competitive results suitable for implementation on nanosatellites with limited resources.

In the processing stage, complete procedures were developed for filtering, synchronizing, and comparing data from various sources: raw GNSS measurements, PPP results, and ANN-generated estimates. A standardized analysis workflow was established, including performance evaluation. Experimental data collected at FCIM served as a validation set for rigorous verification of the proposed methods.

Through the conclusions and procedures developed, Stage I of the project provides a solid theoretical foundation for the optimization and validation of methods in the subsequent stages, strengthening the research direction in the field of precise nanosatellite positioning.

Conducătorul de proiect dr. Cărbune Viorel (numele, prenumele, semnătura)

Data: 16.12.2025

LŞ



**Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice și didactice
publicate în anul 2025 în cadrul proiectului**

**Cercetarea metodelor de determinare precisă a poziției nanosateliților pe orbită
(denumirea proiectului)**

1. Monografii (recomandate spre editare de consiliul științific/senatul organizației din domeniile cercetării și inovării)

1.1. monografii internaționale

1.2. monografii naționale

2. Capitle în monografii naționale/internaționale

3. Editor culegere de articole, materiale ale conferințelor naționale/internaționale

4. Articole în reviste științifice

4.1. în reviste din bazele de date Web of Science și SCOPUS (cu indicarea factorului de impact IF)

4.2. în alte reviste din străinătate recunoscute

4.3. în reviste din Registrul National al revistelor de profil, cu indicarea categoriei

4.4. în alte reviste naționale

5. Articole în culegeri științifice naționale/internaționale

5.1. culegeri de lucrări științifice editate peste hotare

5.2 culegeri de lucrări științifice editate în Republica Moldova

6. Articole în materiale ale conferințelor științifice

6.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

6.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

6.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

6.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

7. Teze ale conferințelor științifice

7.1. în lucrările conferințelor științifice internaționale (peste hotare)

7.2. în lucrările conferințelor științifice internaționale (Republica Moldova)

7.3. în lucrările conferințelor științifice naționale cu participare internațională

7.4. în lucrările conferințelor științifice naționale

Notă: vor fi considerate teze și nu articole materialele care au un volum de până la 0,25 c.a.

Executarea devizului de cheltuieli,
conform anexei nr. 2.3 din contractul de finanțare pentru anul 2025

Cifrul proiectului 25.80012.5007.78SE

Cheltuieli, lei				
Denumirea	Cod		Anul de gestiune	
	Eco (k6)	Aprobat	Modificat +/-	Precizat
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710			
Deplasări de serviciu peste hotare	222720			
Servicii medicale	222810			
Servicii de editare	222910			
Servicii de protocol	222920			
Servicii de cercetări științifice contractate (salarizarea membrilor echipei - 80%)	222930	237 894.0		237 894.0
Servicii neatribuite altor aliniate (publicarea articolelor științifice / servicii laborator)	222999			
Servicii neatribuite altor aliniate (salarizarea personalului din afara instituției)	222999			
Servicii neatribuite altor aliniate (salarizarea personalului administrativ - 5%)	222999	14 880.0		14 880.0
Alte cheltuieli în bază de contracte cu persoane fizice	281600			
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii (taxele de participare la forumuri și evenimente științifice)	281900			
Procurarea mașinilor și utilajelor	314110			
Procurarea activelor nemateriale	317110			
Procurarea combustibilului, carburanților și lubrifianților	331110			
Procurarea produselor alimentare	333110			
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110	47 226.0		47 226.0
Procurarea materialelor de uz gospodăresc și rechizite de birou	336110			
Procurarea altor materiale	339110			
TOTAL		300 000,0		300 000,0

Notă: În tabel se prezintă doar categoriile de cheltuieli din contract ce sunt în execuție și modificările aprobate (după caz)

Rector U.T.M.


(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

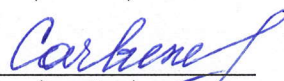
Contabil (economist)


(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

Conducătorul de proiect


(semnătura)

Dr. Viorel CĂRBUNE

(numele, prenumele)



Componența echipei conform contractului de finanțare 2025

Cifra proiectului 25.80012.5007.78SE

Echipa proiectului conform contractului de finanțare (la semnarea contractului) pentru 2025						
Nr	Nume, prenume (conform contractului de finanțare)	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă sau nr. de ore conform contractului	Data angajării	Data eliberării
1.	Cărbune Viorel	1985	Dr.	31.25	01.08.2025	31.12.2025
2.	Cojuhari Irina	1983	Dr.	31.25	01.08.2025	31.12.2025
3.	Rotaru Maria	1997	f-grad	31.00	01.08.2025	31.12.2025

Modificări în componența echipei pe parcursul anului 2025					
Nr	Nume, prenume	Anul nașterii	Titlul științific	Norma de muncă sau nr. de ore conform contractului	Data angajării
1.					
2.					
3.					

Rector U.T.M.

V. F.

(semnătura)

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

Contabil (economist)

Victoria IOVU

(semnătura)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

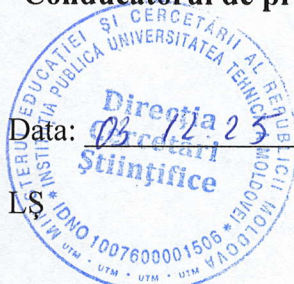
Conducătorul de proiect

Dr. Viorel CĂRBUNE

(semnătura)

Dr. Viorel CĂRBUNE

(numele, prenumele)





EXTRAS
din Procesul Verbal
al ședinței Consiliului Științific UTM
din 02 decembrie 2025

Prezenți: 14 membri ai Consiliului științific al UTM – Vasile Tronciu, *Prorector pentru cercetare, prof. univ., dr. hab.*; Bostan Viorel, *Rector UTM, prof. univ., dr. hab.*; Siminiuc Rodica, *Directoare a ȘD UTM, conf. univ, dr.*; Sturza Rodica, *Membbru cor. AȘM, prof. univ., dr. hab.*; Ghendov-Moșanu Aliona, *conf. univ., dr. hab.*; Caisîn Larisa, *prof. univ., dr. hab.*; Cepoi Liliana, *Director, Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al UTM, conf.univ., dr.*; Gheorghită Maria, *prof. univ., dr.*; Monaico Eduard; *dr., conf. cercet.*; Țurcanu Dinu, *dr., conf. univ.*; Țirșu Mihai; *Director Institutul de Energetică UTM, conf. univ., dr.*; Popovici Mihail, *conf. univ., dr.*; Muntean Viorel, *Doctorand UTM*

S-A DISCUTAT: audierea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2025 al proiectului din cadrul Concursului de proiecte „Stimularea excelenței cercetărilor științifice” pentru anii 2025-2026: **25.80012.5007.78SE „Cercetarea metodelor de determinare precisă a poziției nanosateliților pe orbită”**, Conducător de proiect: **dr. Viorel CĂRBUNE**.

S-A DECIS: aprobarea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2025 al proiectului din cadrul Concursului de proiecte „Stimularea excelenței cercetărilor științifice” pentru anii 2025-2026: **25.80012.5007.78SE „Cercetarea metodelor de determinare precisă a poziției nanosateliților pe orbită”**, Conducător de proiect: **dr. Viorel CĂRBUNE**.



Președinte al CȘ UTM,
Vasile TRONCIU, dr. hab., prof. univ.

Secretar al CȘ UTM,
Liliana CEPOL, dr. hab.