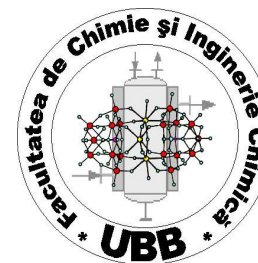




UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI
BABEȘ-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY
TRADITIO ET EXCELLENTIA

Tradiție și Excelență prin
Cultură - Știință - Inovație din 1581



Contract nr. 18TE/08.01.2025

Etapă nr. I/2025

Titlu proiect: "Soluții durabile pentru reducerea impactului ambiental a stațiilor de epurare a apei uzate utilizând modelare integrată hibridă și control de proces" (REWAT)

Director proiect: Conf. Dr. Ing. Elisabeta-Cristina TIMIȘ

Raport REWAT privind baza de date pentru Stația de Epurare a Apelor Uzate Cluj-Napoca (SEAU) și Râul Someșul Mic

Versiune decembrie 2025

Activitate parte a

WP 2. Inovare privind SEAU (servește O1). Responsabil: Drd. Mihály

WP 3. Inovare privind modelarea râului (servește O2). Responsabil: Drd. Borota & Dr. Timiș

Alți membri și voluntari implicați în grade diferite:

- Dr. Norbert Botond MIHALY
- Masterand Ing. Thomas VERES-DANCIUT
- Masterand Ing. Student Amalia Ioana PRODAN
- Student Tudor Mihai CHICIUDEAN

WP 2. Inovare privind SEAU (servește O1). Responsabil: Drd. Mihály

Task 2.1. Dezvoltarea de noi modele AI pentru SEAU Cluj-Napoca. Au fost studiate multiple tehnici AI pentru a descrie procesele liniei de apă ale SEAU. Au fost dezvoltate modele matematice care pot servi pentru predicția parametrilor de calitate a apei, dar și drept senzori software (în anumite cazuri). Task 2.2. Dezvoltarea algoritmilor de control. Algoritmii de control au fost explorați utilizând modelele AI dezvoltate în Task 2.1. Algoritmii vizează controlul optimizat în timp real al debitelor de aer și de recirculare. Task 2.3. Investigarea îndepărtării AINS. Datele din campania de monitorizare (WP 1) au facilitat selectarea AINS țintă. Un model AI este în curs de dezvoltare pentru AINS.

Modelele de Inteligență Artificială (AI) dezvoltate vizează predicția concentrației de indicatorilor cheie pentru calitatea apei epurate, care au impact și asupra râurilor (ex., nutrienții, AINS), dar și indicatori de performanță, care pot indica impactul mai larg asupra mediului înconjurător. Aceste concentrații sunt cruciale pentru strategia de control a SEAU. Analiza performanței de predicție a modelelor comparativ cu măsurătorile a relevat un comportament excelent pentru parametrii modelați în urmărirea dinamicii procesului. Un exemplu ilustrativ se oferă pentru ortofosfați (Figura 1), pentru care se observă o distribuție simetrică a rezultatelor modelului de-a lungul liniei țintă (Figura 2).

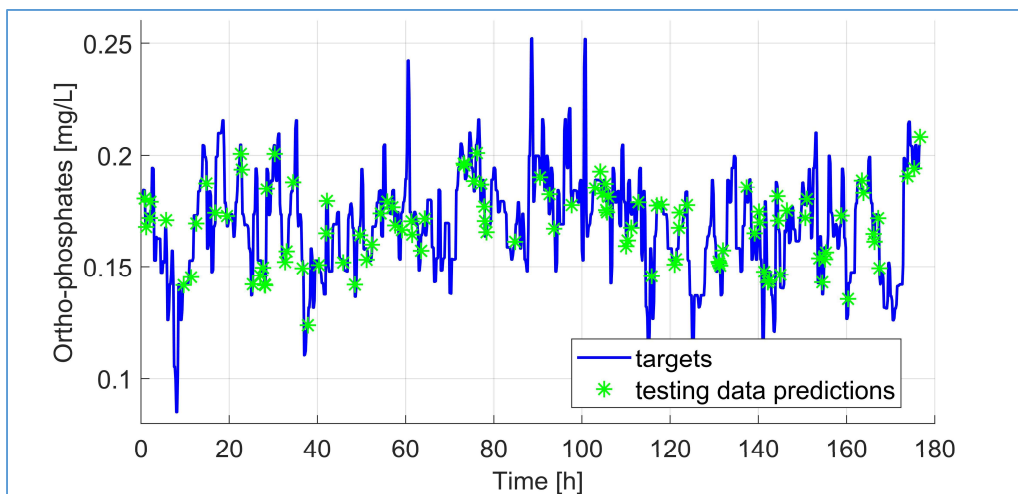
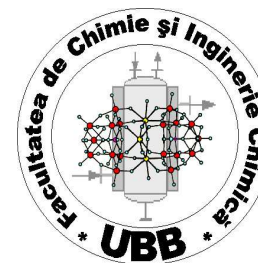


Figura 1 Dinamica ortofosfaților în efluentul SEAU pentru eșantionul de testare pe date independente (targets = valorile măsurate; testing data predictions = valorile prezise de model), (Chiciudean et al., 2025).

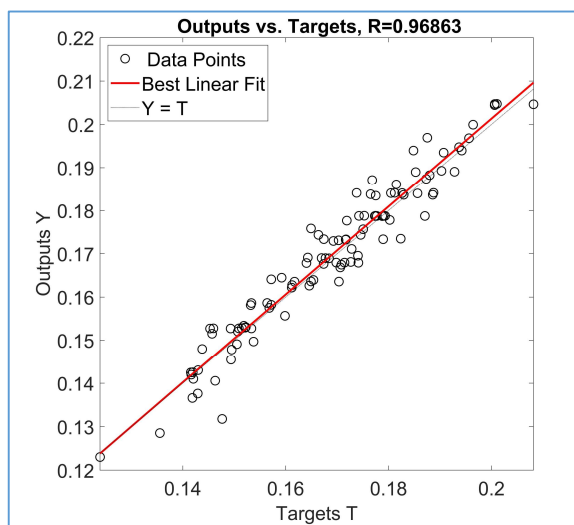
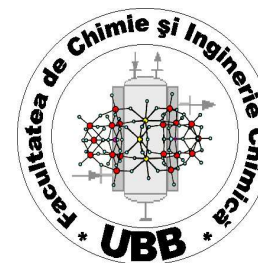


Figura 2 Graficul de regresie pentru ortofosfați în efluentul SEAU pentru eșantionul de testare pe date independente (Targets = valorile măsurate; Outputs = valorile prezise de model), (Chiciudean et al., 2025).

În cadrul **demersului de evaluare a performanței SEAU** în cazul unor schimbări ale debitelor de influent, recirculare și de nămol excedentar au fost evaluați indicii de performanță pentru energia de pompare, calitatea efluentului și emisiile de gaze cu efect de seră ale SEAU în diferite scenarii de operare. Energia de pompare este cel mai mult afectată de modificările



debitului de nămol de retur. Calitatea efluentului și emisiile de gaze cu efect de seră sunt cel mai mult afectate de modificările debitului de influent.

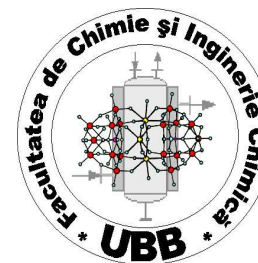
Studiile de sensibilitate realizate vizează influența mai multor variabile de operare, cum ar fi debitul de influent, debitul de nămol de retur, debitul de recirculare internă și debitul de nămol excendentar, asupra indicilor de performanță ai SEAU.

Tabel 1 Indicatori de performanță (exprimați în diferență procentuală) în cazul creșterii cu 10% a debitelor de operare față de debitele măsurate în scenariul referință la SEAU (Vereș-Dănciuș et al., 2025).

| | Pumping Energy | Effluent quality | GHG Emissions |
|--------------------------------------|----------------|------------------|---------------|
| Increased Influent Flow Rate | 0.00 | 3.97 | 2.43 |
| Increased Return Sludge Flow Rate | 2.68 | -0.23 | 0.13 |
| Increased Internal Recycle Flow Rate | 0.16 | -0.48 | 0.01 |
| Increased Sludge Waste Flow Rate | 0.01 | -0.29 | 0.00 |

În ceea ce privește **abordarea nouă de modelare a SEAU valorificând metode statistice**, aceasta este bazată pe date măsurate (data driven) și pe tehnici de optimizare. Au fost integrate metodologiile principal component analysis (PCA) cu data driven modelling (DDM) și hyperparameter optimization (HO) pentru DDM, rezultând metodologia PCA-HO-DDM. Aceasta a fost aplicată pe utilizând DDM bazat pe nonlinear autoregressive networks with exogenous inputs (NARX) sau Bayesian optimization (BO) și genetic algorithm (GA) pentru HO. Astfel, noua abordare de modelare (ex., PCA-GA-NARX, PCA-BO-GPR) a fost aplicată și testată pentru SEAU Cluj-Napoca. Datele operaționale istorice și măsurătorile de influent de la SEAU au fost utilizate pentru a furniza modele de predicție pentru indicatorii cheie de performanță ai efluentului, incluzând și solidele totale în suspensie, azotul total și concentrația de ortofosfați. Ulterior cel mai performant model a fost utilizat pentru a identifica potențiale strategii de operare orientate spre îmbunătățirea eficienței energetice și reducerea încărcării efluentului. De asemenea, a fost implementată și o analiză de sensibilitate a procesului SEAU, luând în considerare caracteristicile de intrare legate de operarea SEAU, și anume: debitul de aer pentru secțiunea oxică și debitul de recirculare externă.

Metodologia integrată PCA-HO-DDM propusă a condus la îmbunătățirea abordărilor clasice atunci când a fost aplicată unui set de date neliniar extins, comparativ cu rezultatele din literatură. Modelul CA-BO-GPR a depășit performanța celorlalte metode clasice, atingând $R^2 = 0,95$. Modelul propus PCA-GA-NARX a fost identificat ca fiind cea mai bună abordare pentru toate aplicațiile, cu valori de performanță de $R^2 = 0,99$. Acesta a fost utilizat în continuare pentru o mai bună înțelegere a procesului de tratare și pentru a identifica strategii de operare pentru un scenariu care ar putea reduce atât consumul de energie, cât și încărcarea efluentului. Acest lucru ar putea fi realizat printr-o reducere a debitului de recirculare externă, totuși, ar trebui efectuate investigații suplimentare asupra efectelor pe termen lung ale unor astfel de acțiuni. Instrumentul



dezvoltat poate oferi inginerilor, operatorilor și factorilor de decizie perspective puternice, bazate pe date, pentru o gestionare mai informată, eficientă și sustenabilă a SEAU.

WP 3. Inovare privind modelarea râului (servește O2). Responsabil: Drd. Borota & Dr. Timiș

Task 3.1. Dezvoltarea ADModel-Med și conectarea cu alte module ADModel. Noul modul ADModel-Med a fost dezvoltat și este capabil de modelare detaliată a transportului și transformărilor AINS de-a lungul râurilor. Acesta a fost conectat cu alte module ADModel, iar funcționalitatea a fost testată. Task 3.2. Investigarea propagării poluanților de-a lungul Râului Someșul Mic. ADModel extins cu modulul Med a fost configurat între RM1 și RM2, care primește efluentul SEAU. A fost efectuată o evaluare a surselor de poluare din Râul Someșul Mic, iar fiecare sursă a fost reprezentată ca intrare în model. Efluentul SEAU este inclus ca serii de timp de înaltă rezoluție, constând din parametrii cheie modelați în Task 2.1 și 2.3.

Transformările AINS în râuri au fost aplicate pe un model matematic de transport de tip advection-dispersiv, care oferă o reprezentare detaliată a fenomenelor din râu pentru a spori eficiența predicției și înțelegerea comportamentului AINS în raport cu factorii de control. Dezvoltarea modelului a fost realizată respectând metodologia prezentată în Figura 3.

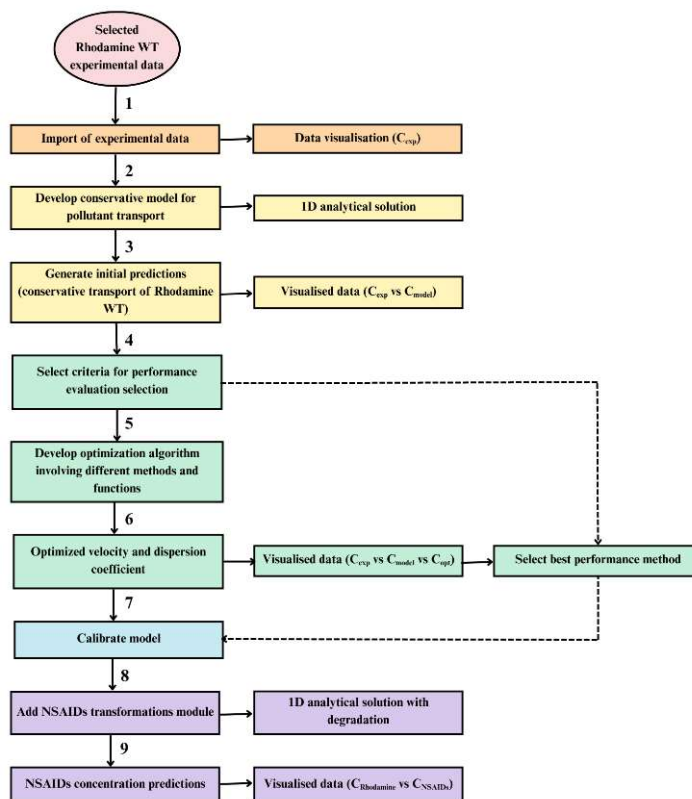
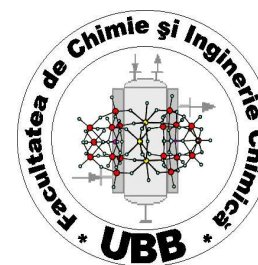


Figura 3 Metodologia de dezvoltare a modelului pentru transportul și transformarea AINS în râuri, care va sta la baza ADModel-Med.



Acest model de transformări pentru AINS stă la baza ADModel-Med aplicat pe Râul Someșul Mic. Constantele vitezei de degradare AINS în râuri nu sunt direct disponibile din măsurători *in situ*. Prin urmare, valorile trebuie calibrate cu ajutorul măsurătorilor de concentrație pentru fiecare caz în parte. În algoritmul de calibrare se utilizează ca punct de plecare o estimare inițială a constantelor de transformare evaluate pe baza rezultatelor existente în literatura științifică. A fost realizată o analiză detaliată a studiilor experimentale și observaționale existente și au fost relevate valori ale constantelor care reflectă condițiile tipice din râurile temperate cu influență urbană. Au fost observate diferențe între cele trei AINS, precum se relevă în Figura 4.

| Aspect | Diclofenac | Ketoprofen | Ibuprofen |
|---|---|---|--|
| Mechanisms | Advection, low sorption, microbial transform. | Advection, sorption, chemical reactions, sediment interaction | Advection, sorption, chemical reactions |
| Persistence | High | Medium-High | Medium |
| Biodegradability | Low, ~23% removal | Moderate | High (aerobic), up to 99% removal |
| Degradation rate constant range (min⁻¹) | 2 x 10 ⁻⁵ to 1 x 10 ⁻⁴ | 5 x 10 ⁻⁵ to 6 x 10 ⁻⁴ | 2 x 10 ⁻⁴ to 3 x 10 ⁻³ |

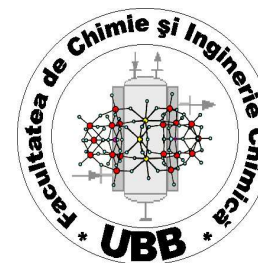
Figura 4 Detalii referitoare la transformările AINS studiate în râurile urbane din zone temperate.

Constantele de degradare ale AINS au fost derivate din valorile timpului de înjumătățire (prezentat în cazul studiilor existente) utilizând relația standard pentru cinetica de ordinul întâi, pentru a obține un format compatibil cu modelul de transport al AINS. Aceste valori au fost adaptate pentru a se alinia particularităților climatice ale râului, ipotezelor de modelare, incluzând regimul de curgere, temperatura și comportamentul specific al compușilor. În demersul de determinare a valorilor inițiale pentru constantele de degradare, pentru a ține cont de variabilitatea observată în literatură și pentru a evita supraestimarea unei singure condiții experimentale, modelul a utilizat media aritmetică a trei constante de degradare cele mai reprezentative pentru fiecare compus. Această abordare de mediere a fost menită să aproximeze o rată generală reprezentativă de descompunere în condiții de mediu mixte, similare celor așteptate în râu. Deși acest mod de lucru introduce o simplificare, permite o comparație mai echilibrată și mai stabilă între medicamente, în special având în vedere lipsa datelor de degradare *in situ* pentru situl studiat. Acest aspect nu constituie o limitare pentru aplicarea pe Râul Someșul Mic pentru că respectivele valori inițiale reprezintă doar punctele de plecare în algoritmul de optimizare pentru calibrarea pe râu a transformărilor incluse în ADModel-Med. Pentru a asigura o comparație relevantă cu simulările trasorului conservator (Rhodamin WT), valorile masei descărcate în râu pentru AINS au fost menținute egale cu cele ale Rodamin WT. Această abordare permite o evaluare semnificativă a impactului degradării asupra transportului



UNIVERSITATEA BABES-BOLYAI
BABES-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABES-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABES-BOLYAI UNIVERSITY
TRADITIO ET EXCELLENTIA

Tradiție și Excelență prin
Cultură - Știință - Inovație din 1581



de substanțe dizolvate, menținând în același timp consistentă masa inițială de intrare pe parcursul simulărilor.

Comportamentul celor trei AINS este consistent vis-a-vis de un spectru larg de debite, de la debite foarte joase, până la debite foarte mari. Acesta este ilustrat pentru o deversare punctiformă instantanee. Experimentul 10 (56,3 L/s) vizează debit scăzut, reflectând condițiile de vreme uscată și transportul în condiții de debit de bază. Experimentul 22 (258 L/s) vizează debit mediu, tipic pentru condiții stabile cu aport moderat. Experimentul 24 (535,4 L/s) vizează debit ridicat, corespunzător scurgerilor semnificative în urma precipitațiilor. Experimentul 25 (2931 L/s) vizează condiții extreme de debit ridicat cauzate de evenimente intense de furtună și dinamica de curs de apă cu energie mare.

Rezultatele simulării cu evidențiază un comportament specific fiecărui compus: ibuprofenul s-a degradat rapid în condiții aerobe, ketoprofenul a arătat o persistență intermediară, iar diclofenacul a rămas slab biodegradabil. Această abordare oferă perspective asupra modului în care hidrodinamica și degradarea (prin multiple mecanisme) afectează împreună soarta poluanților și demonstrează importanța modelării specifice fiecărui compus pentru evaluarea riscului de mediu.

Activitatea continuă în anul 2026 conform calendarului de implementare.

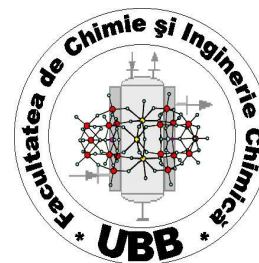
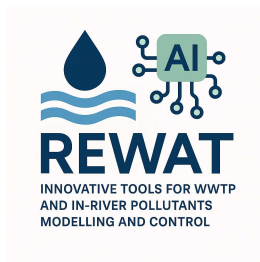
Referințe. Publicații rezultate din proiect sau în legătură cu proiectul

1. Ciciudean, T.M., Mihaly, N.B., Cebotaru, N., Brehar, M.A., Cauacean, R., Timis, E.C., 2025. Artificial neural network modelling for the prediction of WWTP effluent ortho-phosphates concentration. Symposium of Chemical Engineering and Materials Book of Abstracts, SICHEM 2025, 6-7 November, Bucharest, ISSN 2537-2254, [Open PDF](#)
2. Mihaly, N.B., Brehar, Cristea V.M., Timis, E.C., 2025. Wastewater Treatment Plant Operation Optimization Towards Energy Efficiency and Reduced Effluent Loading Based on Artificial Neural Network Models, The 20th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), 5 - 10 October 2025 in Dubrovnik, Croatia, paper SDEWES2025-0208. <https://www.dubrovnik2025.sdewes.org/programme> [Open PDF](#)
3. Moldovan, C.C., Cristea, V.M., Timis, E.C., 2025. Mathematical modelling of NSAIDs transport and degradation in an urban river using an advection–dispersion framework. The International Conference on Business, Economics, and Social Sciences (ICBESS 2025), 17-19 November 2025, Çorum, Türkiye, [Open PDF](#)
4. Prodan, A.I., Timis, E.C., 2025a. The comparative performance of control strategies for the water flow rate applied to the Somesul Mic River, Romania. The International Conference on Science, Engineering and Innovation 2025, 27-28 November 2025, Vientiane, Laos, [Open PDF](#)
5. Prodan, A.I., Timis, E.C., Cristea, V.M., 2025b. The automatic control of flow rate in a river reach manipulating the upstream river reservoir discharge, International Conference Students for Students XXIst Edition, Cluj-Napoca, 9-13 April 2025, p. 36-37, [Open PDF](#)



UNIVERSITATEA BABES-BOLYAI
BABES-BOLYAI TUDOMÁNYEGYETEM
BABES-BOLYAI UNIVERSITÄT
BABES-BOLYAI UNIVERSITY
TRADITIO ET EXCELLENTIA

**Tradiție și Excelență prin
Cultură - Știință - Inovație din 1581**



6. Vereș-Dănciuț, T., Cristea, V.M., Miclaus, A.L., Timis, E.C., 2025. Assessment of WWTP performance for changes in influent, recycle and waste flow rates. Symposium of Chemical Engineering and Materials Book of Abstracts, SICHEM 2025, 6-7 November, Bucharest, ISSN 2537-2254, [Open PDF](#)

Director Proiect,
Conf. Dr. Ing. Elisabeta Cristina Timis