

SISTEM INOVATIV DE EPURARE DESCENTRALIZATĂ A APELOR UZATE

INNOVATIVE SYSTEM FOR DECENTRALIZED WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT. At EU level, the percentage of population connected to central water supply systems ranges from 53.5% to 98.8%, depending on the country, and about 20 million inhabitants (mostly from rural or remote areas) are without proper sanitation systems. The innovative decentralized wastewater treatment system developed within the INNOQUA project aimed to integrate individual low-cost, sustainable and biologically-based water sanitation technologies capable of performing a whole water treatment cycle, with different configurations adapted to local contexts and markets with potential for industrial scale-up. These technologies resemble natural cleaning processes and are based on the treatment capacity of earthworms, zooplankton, and alternatively microalgae and sunlight exposure. The paper presents a short review of the INNOQUA technologies capabilities and the results of the INNOQUA system installed in Romania as demo-site serving the treatment of wastewater generated by a touristic/office building in Ilisesti, Suceava.

Costel BUMBAC¹
Elena Elisabeta MANEA
Olga TIRON

KEYWORDS: wastewater treatment, earthworms, lumbrifiltration, natural based solutions, sanitation.

1. INTRODUCERE

Procentul populației UE conectate la sistemele centrale de alimentare cu apă variază de la 55,6% la 99,3%, în funcție de țară [2], în timp ce procentul populației conectate la stațiile de epurare a apelor uzate (stații de epurare) variază de la 40% la 90% [3]. În Europa de Est și Sud-Est, multe sisteme de epurare sunt încă inadecvate și în întreaga Europă în ansamblu nu se fac suficiente eforturi pentru a reutiliza apa. Sistemele de epurare descentralizate și ecologice pentru locuințe, complexe rezidențiale mici și mijlocii sau sate mici oferă o oportunitate excelentă de a reduce presiunea asupra rețelelor de ape uzate centralizate îmbătrânite, sprijinind în același timp creșterea durabilă a populației prin reducerea consumului de apă și energie.

Dezvoltarea durabilă a unor sisteme de epurare pentru populațiile urbane în creștere rapidă de astăzi nu înseamnă automat epurarea centralizată a apelor uzate. Soluțiile bazate pe procese biologice naturale pot oferi un serviciu de epurare robust și eficient din punct de vedere al costurilor, permițând totodată, în anumite condiții și să se reutilizeze apa în condiții sigure. Sistemul INNOQUA este modular prin design permițând adăugarea unor module diferite reprezentând tehnologii complementare în conformitate cu cerințele de epurare și perspectivele de reutilizare ale efluentului epurat încercând astfel să se asigure atingerea limitelor de deversare în diferite țări, ceea ce face sistemul versatil și adaptabil la cerințele locale atât a mediilor rurale, cât și a celor urbane.

¹ National Research and Development Institute for Industrial Ecology - ECOIND, 71-73 Drumul Podul Dambovitei Str., 060652, Bucharest, Romania, costel.bumbac@incdecoind.ro

Lumbrifiltrare	Daphniafiltrare	Epurare Bio Solară	Dezinfecție cu UV
			
<p>Epurare primară și secundară</p> <p>Sistem aerob cu microorganism și râme</p> <p>Îndepărtează CBO₅, suspensii și amoniu</p>	<p>Epurare terțiară</p> <p>Daphniile consumă suspensiile fine, inclusiv bacterii</p> <p>Biofilmul are rol în îndepărtarea avansată a nutrienților</p>	<p>Epurare terțiară</p> <p>Biofilmul mixt microalge - bacterii are rol în îndepărtarea avansată a nutrienților</p>	<p>Dezinfecție</p> <p>Configurația optimizată a lămpii UV omoară patogenii din efluentul epurat</p>

Fig. 1. Tehnologiile componente ale sistemului modular INNOQUA

Tehnologiile sistemului modular INNOQUA (fig. 1.)

Lumbrifiltrarea, cunoscută și sub numele de vermifiltrare se bazează pe capacitatea microorganismelor de epurare într-un biofiltru de tip percolator pentru epurarea apelor uzate și pe capacitatea de epurare și de a regula cantitatea de biomasă din stratul activ a râmelor (*Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Lumbricus terrestris* etc). Modulul de tip lumbrifiltru este responsabil, în principal pentru epurarea primară și secundară, respectiv îndepărtarea materiei totale în suspensie (MTS) și a încărcării organice, fiind observate totodată și nitrificarea și denitrificarea parțială.

Lumbrifiltrarea are loc într-un bioreactor cilindric umplut cu straturi succesive de materiale cu funcții diferite; de jos în sus: pietre de râu (în două game de dimensiuni: 15-40 mm) ca suport de drenaj, chipsuri de lemn/coajă de cocos sau chiar talaj de lemn ca strat activ pentru biofilm microbial. Reactorul este prevăzut cu un sistem de aerare ce permite ventilația naturală a stratului activ. Influentul este introdus la partea superioară a stratului activ prin pulverizare/stropire pe și percolează prin stratul activ de aproximativ 1m înălțime [4]. Bacteriile îndepărtează substanțele nutritive dizolvate, în timp ce râmele

oferă serviciul de consum al suspensiilor reglând totodată și concentrația de biomasă din sistem astfel evitându-se necesitatea spalărilor inverse sau colmatarea biofiltrului.

Metoda lumbrifiltrării a fost susținută mai întâi de profesorul José Toha de la Universitatea din Santiago De Chile și a fost cercetată și dezvoltată în continuare printr-un parteneriat format între departamentul francez din Hérault și Chile. În 1997, programul de cooperare dintre INRA franco-chilian, Universitatea din Montpellier și Universitatea din Chile a fost înființat pentru a dezvolta un experiment pilot într-o situație reală în Franța în Combaillaux (1998-2001) [5]. În Chile, peste douăzeci de stații de tratare a apelor uzate funcționează cu lumbrifiltrare cu așa-numitul Sistema Tohá® și au prezentat rezultate foarte bune în tratarea apelor uzate (% reducere: încărcare organică CBO₅: 95%; total suspensii solide: 95%; azot total: 60%; fosfor total: 70%) [6]. În China, s-a constatat că filtrele lumbrifice sunt în general bune pentru epurarea apelor uzate rezultate din fermele de porcine, a apelor uzate municipale și menajere [7].

Sisteme naturale de finisare a efluenților epurați au fost folosite de ani de zile pentru a îmbunătăți calitatea apelor uzate înainte de descărcare sau reuti-

lizare. Sistemul INNOQUA propune 2 alternative de finisare a efluenților epurați prin lumbrifiltrare, respectiv daphniafiltrare sau epurare bio-solară:

Daphniafiltrarea reprezintă o tehnologie utilizată ca etapă de finisare (sau tratament terțiar) bazată pe activitatea puricilor de baltă (*Daphnia sp.*) pentru a îndepărta în continuare particulele fine solide în suspensie (inclusiv bacterii) în timp ce biofilmul de pe defletoarele interioare este responsabil pentru îndepărtarea nutrienților într-o anumită măsură; Daphniile sunt sensibile la numeroase caracteristici ale apelor uzate, inclusiv concentrații relativ ridicate de amoniu, nitriți și metale grele - ceea ce înseamnă că orice sistem care utilizează aceste organisme trebuie să urmeze tratarea inițială primară și /sau secundară a apelor uzate. În cadrul sistemului INNOQUA, filtrul Daphnia este întotdeauna amplasat în aval de un Lumbrifilter în timp ce efluentul tratat este fie evacuat, fie direcționat - în cazul în care se intenționează reutilizarea apei, către o unitate de dezinfecție UV.

INNOQUA Daphniafilter își propune să cupleze capacitățile de transformare a nutrienților și îndepărtarea biofilmelor microalgale/bacteriene cu capacitățile de filtrare ale daphniilor. Deși nu este de așteptat să ofere nivelul de dezinfecție necesar reutilizării directe a apei, reducerile turbidității rezultate din îndepărtarea solidelor suspendate vor îmbunătăți eficacitatea oricărei etape finale de dezinfecție cu ultraviolete (UV) [8,9,10].

Filtrul Daphnia este configurat ca un rezervor inculat cu specii locale de Cladocera (de obicei *Daphnia magna*) care sunt libere să se deplaseze în sus și în jos în coloana de apă. Mecanismele interioare de scurgere și defletoare (nu sunt prezentate) asigură faptul că dafnidele rămân în reactor, în timp ce suprafața suplimentară este prevăzută pentru stabilirea biofilmului microalgal/bacterian (fig. 1).

Epurarea bio-solară (BioSolar Purification: BSP) reprezintă o tehnologie de epurare bazată pe activitatea simbiotică dintre microalge și bacterii. Aceasta se desfășoară într-un fotobioreactor în cascadă cu strat subțire și este responsabil pentru îndepărtarea avansată a nutrienților prin activitatea biofilmului de microalge-bacterii. Procesele biologice care au loc pe

platformă se bazează pe o relație simbiotică indusă între microalge și bacterii - bacteriile oxidează încărcarea organică cu ajutorul oxigenului produs prin fotosinteză de către microalge, în timp ce microalgele consumă dioxidul de carbon produs de bacterii și produc oxigen necesar bacteriilor în procesele oxidative.

Modul de dezinfecție cu lumină UV bazat pe o sursă UV LED într-un reactor cu manta de cuarț - conceput pentru aplicații specifice de dezinfecție.

2. DESCRIERE PILOT DEMONSTRATIV

Pe baza datelor de cercetare colectate în faza de prototipare a sistemelor INNOQUA instalate în Irlanda și Spania, în cadrul fazei demonstrative, în urmă cu aproximativ 2 ani, au fost instalate 11 demo situri în 10 țări (Franța, Irlanda, Spania, România, Scoția, Turcia, Ecuador, Peru, India și Tanzania) pentru a demonstra în condiții reale de mediu și operaționale viabilitatea pe termen lung a unei soluții de epurare modulare și durabile la nivel local [4]. Instalațiile au fost construite cu materiale locale pe baza specificațiilor furnizorilor de tehnologie.

În România, sistemul INNOQUA este instalat la ILIȘEȘTI, un sat situat la aproximativ 16 km de Suceava. Configurația INNOQUA instalată în România este formată din o fosă septică bicamerală cu rol de predecantare/bazin tampon, un lumbrifilter și un daphniafilter, toate monitorizate de o unitate de monitorizare on-line (fig. 2).

Demo-site-ul din România și-a propus să demonstreze eficiența pe termen lung a sistemului pentru epurarea apelor uzate în condiții reale cu temperaturi extreme (-25 până la +25°C) cu o medie anuală de 7,9°C. În astfel de condiții, un sistem de epurare a apelor uzate ar fi fost de obicei instalat subteran. Pentru a păstra totuși posibilitățile de ajustări tehnice, și de vizitare/diseminare, sistemul Innoqua a fost instalat într-o cameră tehnică izolată supraterană, situată lângă o clădire industrială (fig. 3).

Sistemul INNOQUA a deserved inițial epurarea apelor uzate generate de o pensiune cu 10 camere de oaspeți, un restaurant (maxim 80-100 locuri), o sală de conferințe (maxim 40 locuri) și birouri. După 4 luni de funcționare, pensiunea a fost transformată într-o



Fig. 2. Instalația sistemului INNOQUA - demo-site România, Iliești, Suceava



Fig. 3. Pensiunea deservită de sistemul INNOQUA și camera tehnică pentru demo-site România, Iliești, Suceava

clădire de birouri cu 30 de angajați. Apele uzate epurate sunt deversate în râul din apropiere. Astfel, sursa apelor uzate a fost de la toalete, dușuri, apa gri din bucătăria restaurantului. Principalii indicatori de calitate ai influentului sunt prezentați în tabelul 1. Fiind exploatată în condiții reale de mediu, calitatea apelor uzate influente a variat în intervale foarte largi pen-

tru majoritatea parametrilor de calitate, mediile de concentrații situându-se mult peste limitele maxime uzuale de deversare în rețeaua de canalizare, NTPA 002, HG 352/2005.

Mai mult, în timpul transformării clădirii din reședință turistică în clădire de birouri, cantități mari de descărcări neautorizate de vopsea lavabilă/var și

Tabel 1. Calitatea influentului

Concentrație (mg/L)	MTS	CCOCr	CBO ₅	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N	Total P
medie	355	922	421	40,5	0,68	103	9
min	77	449	125	19	<0.01	53	3,54
max	1045	1540	681	98	1,6	207	13,5

alte substanțe chimice specifice construcției/renovării au fost evacuate în sistemul de canalizare. Aceste descărcări au afectat temporar și într-o anumită măsură performanțele de epurare ale lumbrifilterului. În schimb modulul de finisare prin Dafniafiltrare a fost afectat ireversibil.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Sistemul a fost monitorizat pentru a evalua indicatorii cheie de performanță pe o perioadă de 15 luni, pentru a înțelege performanțele tehnologiei pe termen lung, modelele de variabilitate sezonieră și cerințele de operare și întreținere. În total, au fost efectuate 37 campanii de prelevare (minim 2 pe lună). Modulul de dafniafiltrare nu a ajuns niciodată în condiții de operare optime întrucât populația de dafnii din interiorul reactorului a suferit multiple declinuri ireversibile datorită fie anumitor constituenți ai apelor uzate influente fie a unor variații ale tem-

peraturii peste limita lor de tolerabilitate. Din acest punct de vedere, am considerat nefezabilă utilizarea Dafniafiltrului în condițiile specifice din România.

În tabelul 2 sunt prezentate eficiențele de îndepărtare medii corespunzătoare modulului de Lumbrifiltrare.

Eficiența globală prezentată este corespunzătoare modulului de lumbrifiltrare. Prin urmare, sistemul a funcționat cu rate de îndepărtare medii de 64,1% pentru MTS, 77,2% pentru CBO₅, 70,9% CCOCr. În schimb, au fost observate rate mai modeste de îndepărtare a azotului amoniacal 66,0%, 35,8% pentru P, și 55,4% TN.

După aproximativ 1 an de funcționare o dată cu reducerea încărcării hidraulice specifice (de la 0,6 la 0,3 m³/m²/zi), performanțele de epurare s-au îmbunătățit considerabil. Lumbrifilterul s-a dovedit fiabil ca soluție pentru epurarea descentralizată a apelor uzate.

Tabel 2. Eficiențe de îndepărtare a principalilor constituenți din apele uzate

	Eficiența de îndepărtare (%)							
	MTS	CBO ₅	CCOCr	NH ₄ -N	Ptot	PO ₄ -P	NTU	Ntot
Medie (%)	64,05	77,17	70,91	65,95	35,83	25,41	73,43	55,38
Deviație standard (σ)	±20,5	±15,17	±13,86	±18,47	±15,9	±15,59	±14,92	±20,38
Median	69,32	83,42	73,1	70,22	32,94	23,07	78,33	61,94

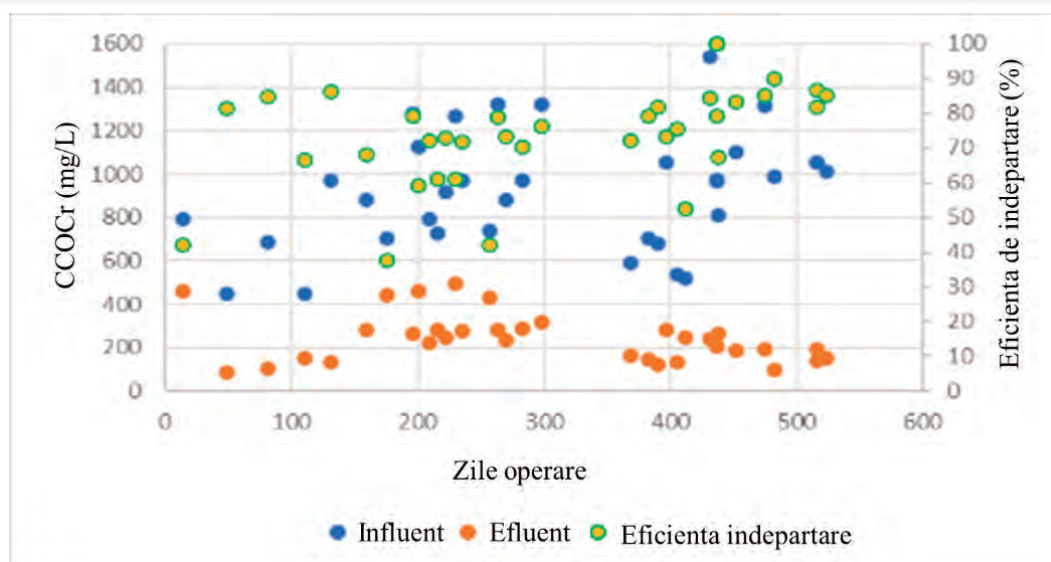


Fig. 4. Evoluția concentrațiilor de CCOCr și eficiența de îndepărtare a acestuia

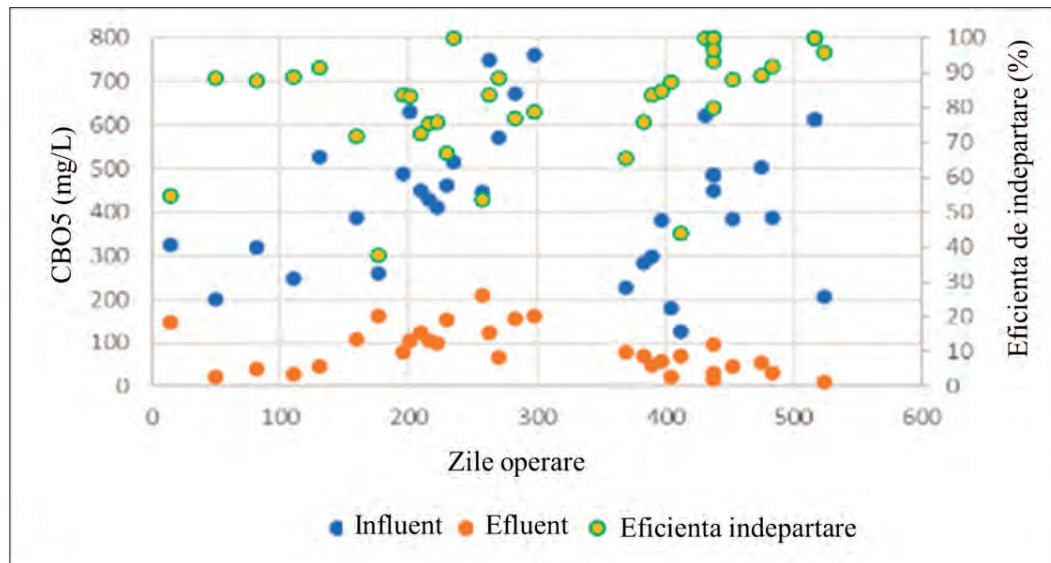


Fig. 5. Evoluția concentrațiilor încărcării organice CBO_5 și eficiența de îndepărtare a acesteia

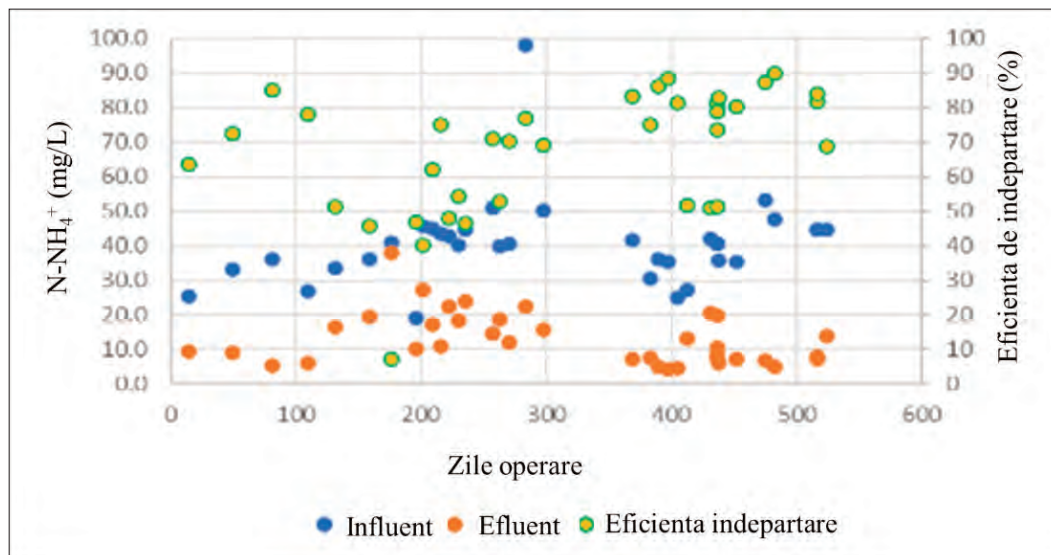


Fig. 6. Evoluția concentrațiilor de azot amoniacal și eficiența de îndepărtare a acestuia

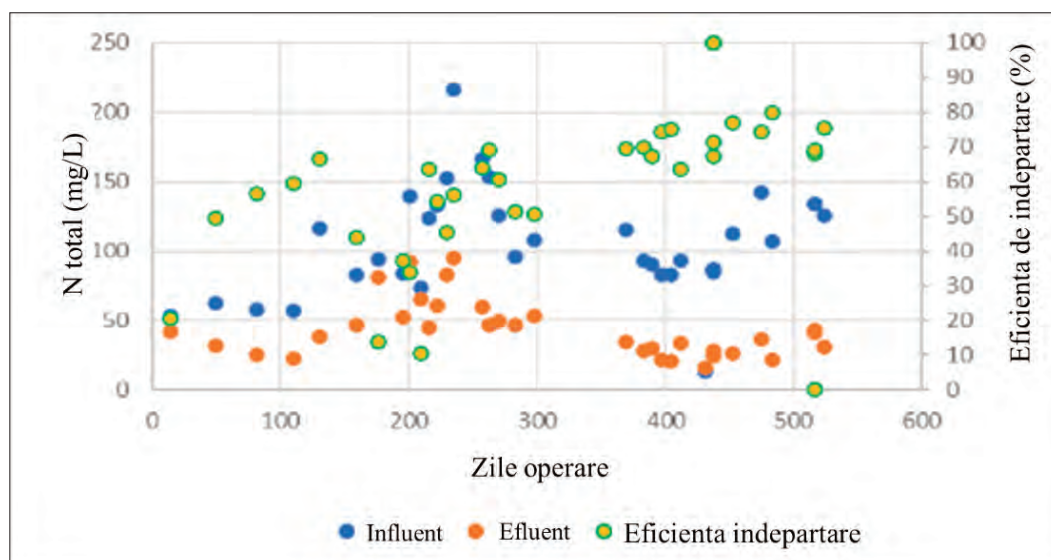


Fig. 7. Evoluția concentrațiilor de azot total și eficiența de îndepărtare a acestuia

Exemplu configurație INNOQUA completă - demo-site India

Sistemul instalat în India evaluează comparativ performanțele lumbrifiltrului (LF) în combinație cu dafniafiltrarea (DF) sau epurare cu microalge (BSP) ca etape de finisare. În primul rând, apele uzate sunt epurate de Lumbrifilter. Debitul efluent este împărțit ulterior în mod egal către DF și ulterior UV sau către BSP (fig. 8).

Sistemul INNOQUA din India epurează apele uzate colectate de la 9 gospodării dintr-o comunitate săracă din mediul rural de lângă Bangalore. Influentul este foarte încărcat, consumul mediu de apă fiind de aproximativ 30 L per persoana/zi - apa fiind asigurată cu cisterna (neexistând în zonă o sursă continuă de apă curentă). Influentul alimentat în sistemul INNOQUA are următoarele caracteristici: aproximativ 2.200 mg/L MTS, ~ 1.100 mg/L CBO₅, aproximativ 100 mg/L de N-NH₄⁺ și o temperatură cuprinsă între 20 și 38 de grade C. Chiar și în aceste condiții de testare, siste-

mul a funcționat foarte bine, obținând performanțe de epurare de peste 80% pentru majoritatea parametrilor de calitate testați numai după primul modul de lumbrifiltrare. Adăugarea de module suplimentare ca pași de finisare îmbunătățește calitatea efluentului atingând performanțe de epurare pentru principalii indicatori de calitate de cele mai multe ori peste 90%.

4. CONCLUZII

Deoarece au fost unele probleme cu adaptarea dafniilor la condițiile din România, am considerat nefezabilă utilizarea acestora ca etapă de finisare pentru climatul specific din România. Cu toate acestea, în alte țări (Spania, India și Peru) dafniafiltrarea s-a dovedit fezabilă pentru finisarea efluenților epurați prin lumbrifiltrare, contribuind la eficiențele globale de epurare cu randamente suplimentare între 10 și 25%.

Lumbrifiltrarea este o tehnologie robustă care face față unor variații ridicate ale ratelor de încărcare. De asemenea, sistemul nu își pierde activitatea dacă



Fig. 8. Reprezentare schematică a configurației sistemului INNOQUA instalat în India



Fig. 9. Imagine demo-site India

nu este alimentat o perioadă lungă de timp. Am avut ocazia să testăm, din cauza crizei pandemice Sars-Cov-2, posibilitatea recuperării eficienței după 2 luni de nealimentare în mai multe site-uri - performanțele sistemului fiind recuperate imediat ce reactorul a fost din nou alimentat. Totuși, pentru obținerea unor eficiențe de epurare satisfăcătoare este necesară respectarea parametrilor de proiectare, în special în ceea ce privește ratele maxime de încărcare hidraulică și în suspensii.

Acknowledgement: This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 689817.

BIBLIOGRAFIE

- [1] V. Somogyi, V. Pitás, and E. Domokos, "On-site wastewater treatment systems and legal regulations in the European Union and Hungary," *Agriculture*, vol. 1, pp. 57-64, 2009.
- [2] E. Commission, "EUROSTAT [env_wat_pop].".
- [3] E. Commission, "Eurostat : [env_ww_con].".
- [4] Tompkins, D.; Bumbac, C.; Clifford, E.; Dussaussois, J.-B.; Hannon, L.; Salvadó, V.; Schellenberg, T. EU Horizon 2020 Research for A Sustainable Future: INNOQUA-A Nature-Based Sanitation Solution. *Water* 2019, 11, 2461. <https://doi.org/10.3390/w11122461>.
- [5] R. K. Sinha, G. Bharambe, and U. Chaudhari, "Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: A low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization," *Environmentalist*, vol. 28, no. 4, pp. 409-420, 2008.
- [6] R. K. Sinha, "Vermiculture Technology: Reviving the Dreams of Sir Charles Darwin for Scientific Use of Earthworms in Sustainable Development Programs," *Technol. Invest.*, vol. 01, no. 03, pp. 155-172, 2010.
- [7] C. Pau, T. Serra, J. Colomer, X. Casamitjana, L. Sala, and R. Kampf, "Filtering capacity of *Daphnia magna* on sludge particles of treated wastewater," *Water Res.*, vol. 47, pp. 181-186, 2013.
- [8] R. Kampf and R. van den Boomen, "Waterharmonicas in The Netherlands (1996-2012) natural constructed wetlands between well-treated waste water and usable surface water," 2013.
- [9] P. Busquin, "Research and Development (R&D) in European Industry - How can we reach our goal if we ignore women, who represent half our talent pool?," 2003.
- [10] D. Floutard, "RECYCLAQUA - A new sewage treatment process: the vermifiltration," *EU Demonstr. Tech. Environ. Integr. Proj.*

INSTRUCȚIUNI DE REDACTARE A ARTICOLELOR ROMAQUA

I. ARTICOLUL TREBUIE SĂ CONȚINĂ:

- TITLU - cât mai succint exprimat;
- AUTORII - Prenume NUME, Funcția / Titlu academic, Instituția, Foto autor(i)
- REZUMAT - în limba engleză;
- KEYWORDS / CUVINTE CHEIE - între 4 - 7 cuvinte, în limba engleză;
- TEXT ORGANIZAT (în capitole, subcapitole etc), în limba română și/sau engleză, în maxim 10 pagini A4, cu figurile incluse;
- UN CAPITOL DE "CONCLUZII";
- "BIBLIOGRAFIE";

- Redactare în WORD (OFFICE) cu font Times New Roman corp 12;
- **Pentru promovarea în BAZE DE DATE INTERNAȚIONALE, este de dorit ca articolul să fie prezentat și într-o limbă de circulație internațională.**

II. MOD DE RECENZARE

- Articolul propus va fi recenzat de 1-2 membri ai colegiului științific;
- Durata: două săptămâni;
- Rezoluție:
 - acceptat sub forma propusă;
 - acceptat cu modificări sau completări;
 - respins.