

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ**

RAPORT DE CERCETARE NR. 3
Teste experimentale privind tehnologiile de tratare a apei in
vederea reducerii concentratiilor de amoniu

Conducător de doctorat
Prof.dr.ing. Racoviteanu Gabriel

Student doctorand
MSc.ing. Radu Gheorghe

Ianuarie, 2021

CUPRINS

1	Date generale	5
2	Reducerea amoniului prin filtrare biologica	6
2.1	Instalatia de filtrare biologica.....	7
2.1.1	Obiecte tehnologice instalatie	7
2.1.2	Operare instalatie	9
2.2	Apa bruta si apa bruta preparata	9
2.3	Amorsarea procesului biologic.....	11
3	Teste experimentale	12
3.1	Faze experimentale	12
3.2	Parametrii de calitate, aparatura de laborator si reactivi.....	12
3.3	Mod de lucru teste experimentale.....	13
4	Rezultate teste exprimentale in fazele I si II	15
4.1	Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta	15
4.1.1	Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta in faza I.....	15
4.1.2	Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta in faza II.....	16
4.2	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant	18
4.2.1	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip	18
4.2.1.1	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de concentratia amoniului din apa bruta.....	18
4.2.1.2	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in instalatie	23
4.2.2	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice	25
4.2.2.1	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de concentratia amoniului din apa bruta.....	25
4.2.2.2	Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in instalatie	30
5	Rezultate teste exprimentale in faza III	33
6	Concluzii generale	35
7	Bibliografie	36

Lista de tabele

Tabel 2.1	Parametrii de calitate apa bruta.....	10
Tabel 3.1	Faze experimentale.	12

Tabel 3.2 Metodele de analiza ale indicatorilor analizati.....	12
Tabel 4.1 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic – faza I.....	15
Tabel 4.2 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic – faza II.....	16
Tabel 4.3 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu nisip in faza I – $Q_{AB}=20$ l/h.	18
Tabel 4.4 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip – $Q_{AB}=20$ l/h.	19
Tabel 4.5 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu nisip in faza II – $Q_{AB}=35$ l/h.	21
Tabel 4.6 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip – $Q_{AB}=35$ l/h.	22
Tabel 4.7 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu granule ceramice in faza I – $Q_{AB}=20$ l/h.....	25
Tabel 4.8 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice – $Q_{AB}=20$ l/h.....	26
Tabel 4.9 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu granule ceramice in faza II – $Q_{AB}=35$ l/h.....	28
Tabel 4.10 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice – $Q_{AB}=35$ l/h.....	29

Lista de figuri

Figura 2.1. Medii suport.....	6
Figura 2.2. Schema tehnologica instalatie de filtrare biologica.....	8
Figura 2.3. Amplasament foraj F1.....	10
Figura 4.1. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat si de concentratia amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre.	16
Figura 4.2. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat si de concentratia amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre.	17
Figura 4.3. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.....	19
Figura 4.4. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.....	20
Figura 4.5. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.	21
Figura 4.6. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.	22
Figura 4.7. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.....	23
Figura 4.8. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.	23
Figura 4.9. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii reduse (1.76 si 2.81 mg/l) ale amoniului in apa bruta.	24
Figura 4.10. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii medii (4.68 si 5.15 mg/l) ale amoniului in apa bruta.	24
Figura 4.11. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii mari (10.69 si 11.03 mg/l) ale amoniului in apa bruta.	25
Figura 4.12. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.....	26
Figura 4.13. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.....	27
Figura 4.14. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.	28
Figura 4.15. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.	29
Figura 4.16. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.....	30
Figura 4.17. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.....	30
Figura 4.18. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii reduse ale amoniului in apa bruta.....	31
Figura 4.19. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii medii ale amoniului in apa bruta.	31
Figura 4.20. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii mari ale amoniului in apa bruta.....	32

Figura 5.1. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat – faza III.	33
Figura 5.2. Variatia concentratiei amoniului in biofiltru cu nisip in faza III.	34
Figura 5.3. Variatia concentratiei amoniului in biofiltru cu granule ceramice in faza III.	34

Abrevieri si acronime

NH₄⁺ - Amoniu

NO₂⁻ - Azotit

NO₃⁻ - Azotat

P – Fosfor

Cond. - Conductivitate

OD – Oxigen dizolvat

T – Temperatura

AB – Apa bruta

ABP – Apa bruta preparata

AFN – Apa filtrata pe nisip

AFN SS - Apa filtrata pe nisip in stratul superior

AFN SI - Apa filtrata pe nisip in stratul inferior

AFNCRG – Apa filtrata pe ceramica granulata

AFNCRG SS – Apa filtrata pe ceramica granulata in stratul superior

AFNCRG SI – Apa filtrata pe ceramica granulata in stratul inferior

AFNCAG – Apa filtrata pe carbune activ granular

1 Date generale

Amoniu este un compus anorganic, prezent în apa la $\text{pH} < 9$. Amoniu nu are efecte toxice asupra sănătății consumatorilor, dar prezența lui în apă poate indica o posibilă poluare a apei [1].

În sistemele de alimentare cu apă, prezența amoniului în exces în apă brută este nedorită deoarece poate cauza multe probleme cum ar fi: mirosuri neplăcute, dezvoltarea microbiană în sistemul de distribuție a apei și reducerea eficienței dezinfectiei cu clor deoarece amoniul reacționează cu clorul utilizat în dezinfectia apei ducând la creșterea consumului de clor și la degradarea calității apei prin modificarea gustului și mirosului acesteia [2][3][4][5].

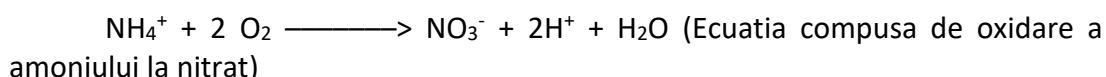
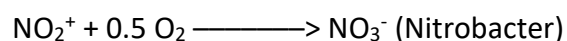
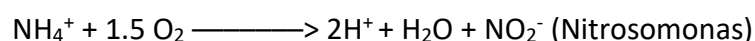
În România limita maximă admisă pentru amoniu în apă potabilă, conform legii 458/2002 este de 0.50 mg/l. Nivelul ghid pentru amoniu, conform Organizației Mondiale a Sănătății (WHO 2011) este de 1.5 mg/l.

De-a lungul timpului au fost dezvoltate mai multe metode de reducere a concentrației de amoniu din apă și anume: metode fizice, chimice, biologice sau o combinație a acestor metode. Acestea includ în principal: schimbatori de ioni și adsorbție, filtrare biologică, stripping cu aer, clorare la breakpoint și osmoza inversă [6].

Nitrificare reprezintă procesul biologic de oxidare a amoniului la azotat cu formă intermediară azotit. Nitrificarea este realizată de specii de bacterii numite *Nitrosomonas* și *Nitrobacter* [7]. Cele două specii de bacterii sunt deosebite una față de cealaltă prin abilitatea de a oxida numai anumiți compuși ai azotului. *Nitrosomonas* oxidează amoniul la azotit și *Nitrobacter* oxidează azotitul la azotat. Ambele specii de bacterii sunt clasificate ca organisme autotrofe (nu au nevoie de sursă de carbon organic, folosesc dioxidul de carbon pentru sinteză) [8] [9].

Bacteriile nitrificatoare sunt prezente pretutindeni în sol, în bazinele acvatice, dulci și marine, în sistemele de epurare a apelor uzate, în depozitele de deseuri.

Ecuațiile stoechiometrice ale nitrificării pentru *Nitrosomonas* și *Nitrobacter* sunt [8]:



Procesul de nitrificare este influențat de anumiți factori inhibitori cum ar fi temperatura, concentrația oxigenului dizolvat, pH-ul și concentrația de inhibitori [8][9].

Procesele biologice utilizate în reducerea amoniului din apă destinată consumului uman, sunt în principal procese cu biomasă atașată. Biofiltrele sunt caracterizate de prezența microorganismelor care aderă la mediul suport sub formă unei pelicule fixate (biofilm) [10].

Indiferent de mediul suport folosit, toate biofiltrele urmăresc același principiu și anume: degradarea biologică a poluanților de către microorganismele fixate pe suprafața mediului suport.

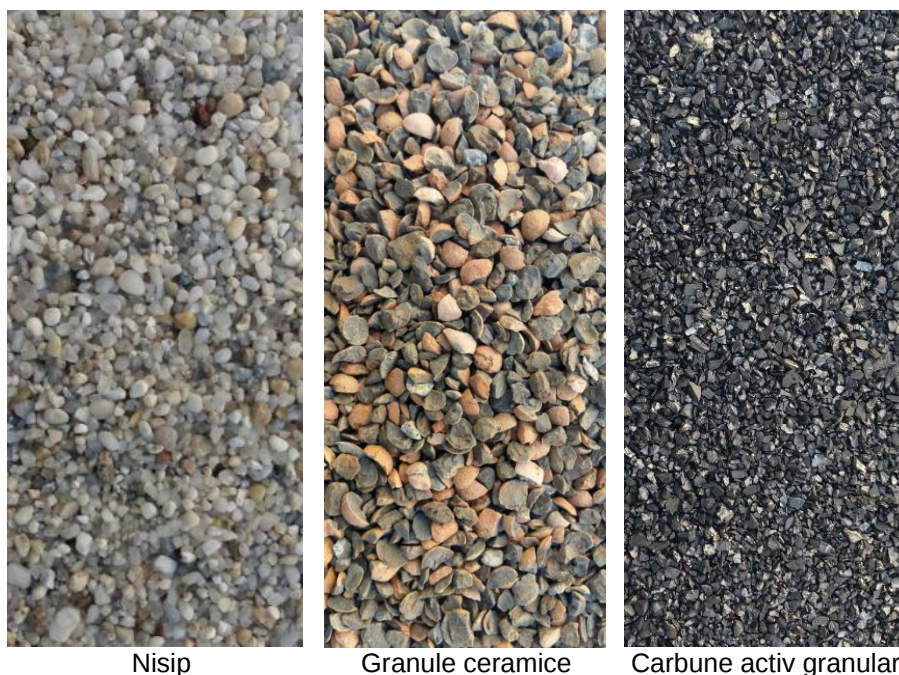
2 Reducerea amoniului prin filtrare biologica

In cadrul testelor experimentale s-a propus reducerea concentratiei de amoniu din apa utilizand procesele biologice cu biomasa atasata.

Testele experimentale au fost realizate la nivel de studiu de laborator pe o instalatie de biofiltre cu pat fix si flux ascendent, ce face parte din Complexul de Laboratoare Colentina si au urmarit determinarea eficientei biofiltrelor in reducerea amoniului din apa bruta in functie de mediul suport din biofiltru.

In procesul de biofiltrare din cadrul testelor realizate au fost analizate trei tipuri de medii suport, utilizate pentru atasarea biomasei (microorganismelor): nisip, granule ceramice, carbune activ granular.

In figura urmatoare sunt prezentate mediile suport utilizate.



Nisip

Granule ceramice

Carbune activ granular

Figura 2.1. Medii suport.

Testele s-au desfasurat in trei faze:

- Faza I – in instalatie a fost introdusa apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit de 20 l/h pe fiecare biofiltru;
- Faza II - in instalatie a fost introdusa apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit de 35 l/h pe fiecare biofiltru.
- Faza III - in instalatie a fost introdusa apa bruta cu o concentratie a amoniului de aproximativ 5 mg/l si cu un debit de 20 l/h pe fiecare biofiltru.

Bacteriile nitrificatoare *Nitrosomonas* si *Nitrobacter* nu au nevoie de sursa externa de carbon organic pentru sinteza celulara, de aceea testele s-au realizat fara sursa externa de carbon organic.

Avand in vedere rezultatele obtinute in primele doua faze (rezultate prezentate in capitolele urmatoare), in faza III s-a incercat o crestere a eficientei reducerii amoniului prin adaugare de acid fosforic.

2.1 Instalatia de filtrare biologica

2.1.1 Obiecte tehnologice instalatie

Instalatia pilot de biofiltre pe care au fost realizate testele experimentale are in componenta urmatoarele obiecte tehnologice:

- 2 rezervoare:
 - rezervor apa bruta $V= 200$ l;
 - rezervor apa filtrata biologic $V= 200$ l;
- pompa de apa bruta;
- conducte apa bruta;
- debitmetru apa bruta;
- distribuitor apa bruta;
- 3 biofiltre realizate din coloane de PVC cu diametrul interior de 100 mm.
- Acestea au in interior pe o inaltime de 1 m, mediile suport sustinute de drenaj (fiecare biofiltru avand o placa cu o singura crepina si un singur tip de mediu suport):
 - biofiltrul 1 – nisip ($H=1$ m);
 - biofiltrul 2 – carbune activ granular ($H=1$ m);
 - biofiltrul 3 – granule ceramice ($H=1$ m);
- compresor pentru asigurarea oxigenului dizolvat;
- debitmetru aer;
- distribuitor aer;
- conducte aer;
- conducte apa filtrata;
- conducte apa de spalare

In figura urmatoare este prezentata schema tehnologica a instalatiei de filtrare biologica (biofiltre) utilizate.

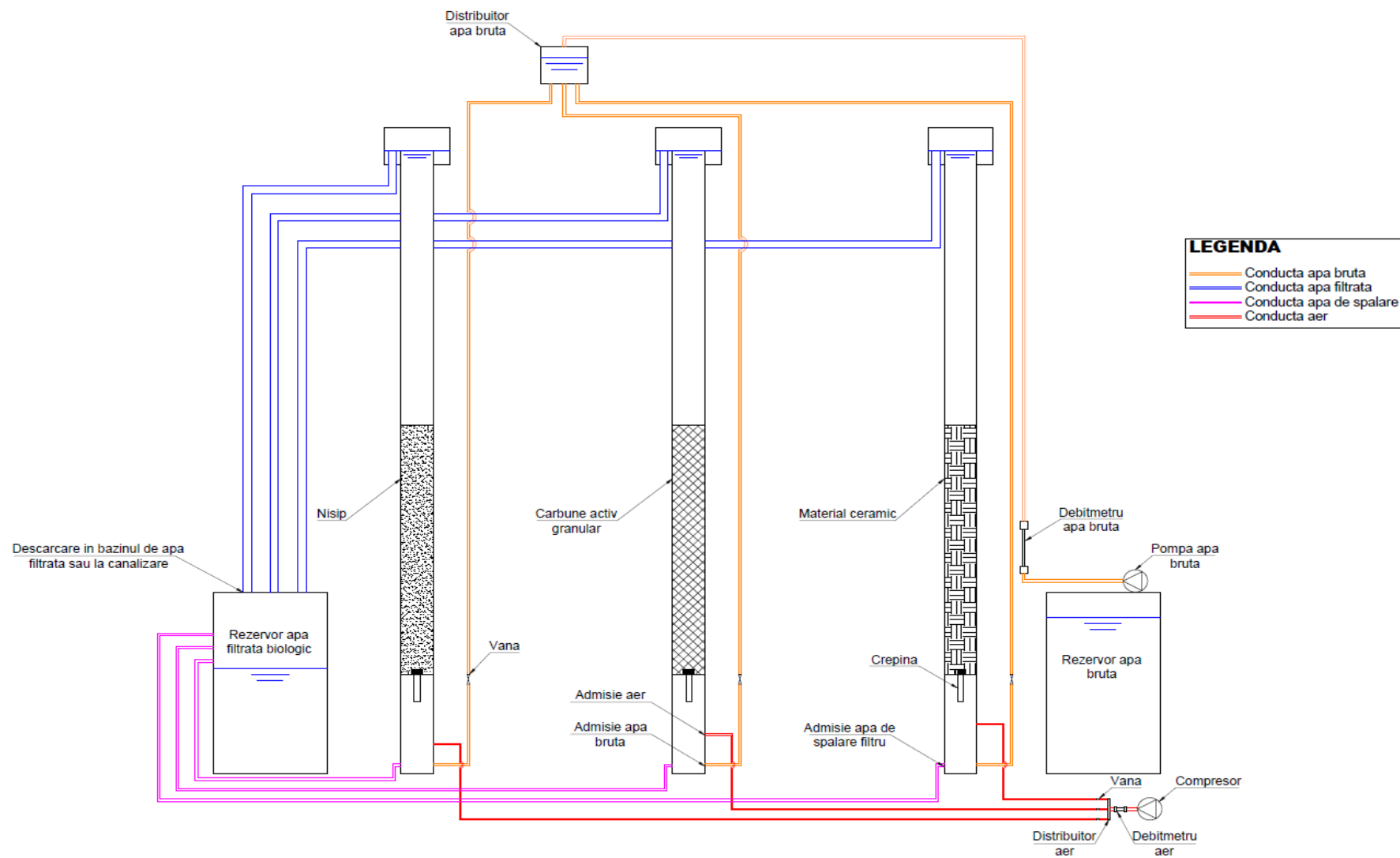


Figura 2.2. Schema tehnologica instalatie de filtrare biologica.

2.1.2 Operare instalatie

Instalatia de filtrare biologica poate fi utilizata cu circuit deschis, in care se pompeaza apa direct din foraj sau cu circuit inchis, in care dupa fiecare ciclu de filtrare, in apa filtrata biologic se adauga clorura de amoniu si este utilizata ca apa bruta.

In cadrul testelor experimentale s-a lucrat cu variatia concentratiei amoniului din apa bruta, iar circuitul utilizat a fost un circuit inchis.

Mod de operare instalatie de filtrare biologica cu circuit inchis:

- Apa bruta este pompata in distribuitor, iar de la distribuitor curge gravitational pana la punctul de admisie de la partea inferioara a fiecarui filtru. De la admisia in filtru, apa curge ascendent prin fiecare filtru (datorita diferentei de presiune dintre nivelul apei in distribuitor si nivelul apei in filtru), pana la punctul de colectare a apei filtrate biologic. Apa filtrata este colectata pe la partea superioara a filtrelor si apoi este transportata gravitational pana la rezervorul de apa filtrata biologic (in perioada de amorsarea a procesului biologic, apa filtrata biologic era transportata tot in rezervorul de apa bruta). In acelasi timp, cu ajutorul unui compresor, se introduce aer in fiecare filtru pe la partea inferioara.
- La finalul fiecarui ciclu de filtrare biologica (dupa ce se goleste rezervorul de apa bruta), aspiratia pompei se muta in rezervorul de apa filtrata. In apa filtrata se adauga clorura de amoniu, dupa care este utilizata ca apa bruta pentru urmatorul ciclu de filtrare.
- Spalarea filtrelor se realizeaza atunci cand debitul de apa filtrata ajunge la maxim 10 l/h (pe un filtru), datorita cresterii pierderii de sarcina generata de acumularea in stratul filtrant de biomasa desprinsa de pe mediul suport. Spalarea filtrelor se face prin pomparea apei de spalare (apa filtrata biologic) pe la partea inferioara a filtrelor, iar colectarea apei de la spalarea filtrelor se realizeaza pe la partea superioara a filtrelor si apoi este transportata gravitational si deversata in canalizare.

2.2 Apa bruta si apa bruta preparata

Apa bruta utilizata in testele experimentale, provine de la un foraj din zona municipiului Bucuresti (forajul F1), in lunca majora a raului Dambovita.

In figura urmatoare este prezentat amplasamentul forajului F1.

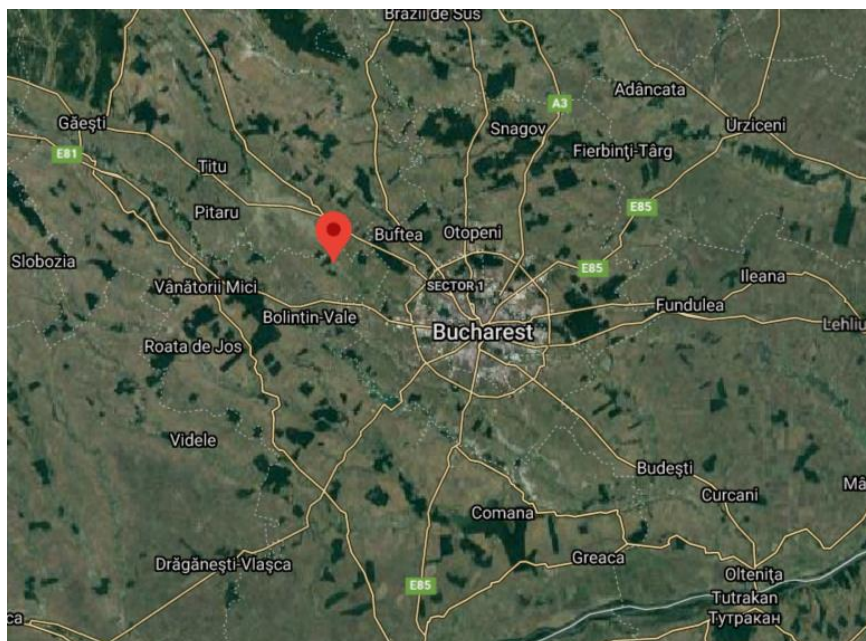


Figura 2.3. Amplasament foraj F1.

Apa bruta captata de la forajul F1 din apropierea Municipiului Bucuresti a fost transportata la Complexul de Laboratoare Colentina, unde se afla instalatia de biofiltre utilizata.

Volumul de apa bruta al unui transport a fost de 150 l. Atat transportul cat si alimentarea cu apa bruta a instalatiei de biofiltre s-a realizat 3-4 ori pe saptamana (o data pe zi) in perioada amorsare a procesului biologic si zilnic in perioada realizarii testelor experimentale.

Apa utilizata a avut un rol esential in amorsarea procesului biologic si in mentinerea stabilitatii acestuia pana la finalul testelor experimentale deoarece a fost o apa bruta (netratata) cu potential de dezvoltare bacteriologic.

In tabelul urmat sunt prezentati parametrii de calitate ai apei brute utilizate.

Tabel 2.1 Parametrii de calitate apa bruta.

Nr. Crt.	Parametru de calitate	Valori minime	Valori medii	Valori maxime
1	Amoniu [mg/l]	0.17	0.63	1.12
2	Azotati [mg/l]	91.80	146.40	230.10
3	Azotiti [mg/l]	0.040	0.285	0.575
4	Fosfor [mg/l]	0.029	0.032	0.036
5	Fier [mg/l]	0.020	0.025	0.030
6	Alcalinitatea [mval/l]	2.65	3.54	4.500
7	pH	6.71	7.78	8.24
8	Conductivitate [μ S/cm]	845.00	1089.38	1327.00

Fierul a fost determinat numai in 4 teste si a variat intre 0.02 si 0.03 mg/l. Avand in vedere concentratia redusa a fierului in apa bruta, acesta nu a mai fost determinat si in restul testelor experimentale.

Pentru a avea concentratii cat mai exacte ale oxigenul dizolvat in apa, acesta a fost determinat in momentul prelevării fiecărei probe de apa.

Concentratia amoniului din apa bruta de la forajul F1 a variat in perioada testelor intre 0.17-1.12 mg/l. Pentru a creste concentratia amoniului din apa bruta, pana la concentratia amoniului

necesara realizarii testului, s-a preparat apa bruta sintetica prin adaugarea de clorura de amoniu in apa prelevata din foraj.

2.3 Amorsarea procesului biologic

Avand in vedere ca filtrarea biologica presupune reducerea contaminantilor din apa bruta cu ajutorul bacteriilor, pentru realizarea testelor experimentale a fost nevoie de o perioada de amorsare a procesului biologic, respectiv o perioada de dezvoltare a bacteriilor necesare pentru a reduce amoniul din apa (Nitrosomonas si Nitrobacter).

In perioada de amorsare a procesului biologic, apa bruta utilizata in procesul de filtrare biologica a fost inlocuita de 3-4 ori pe saptamana, cu apa proaspata de la forajul F1. Avand in vedere concentratia redusa a amoniului din apa bruta (0.17-1.12 mg/l) si in acesta perioada a fost adaugata clorura de amoniu in apa bruta.

Amorsarea procesului biologic a inceput in luna octombrie anul 2019, dar s-a realizat cu dificultate deoarece a fost afectata de aparitia virusului SARS-COV-2, respectiv a starii de urgenta. Starea de urgenta a generat intreruperea transportului de apa bruta necesara pentru alimentarea instalatiei in vederea amorsarii procesului si mai departe a dus la degradarea biomasei deja formate.

Acest lucru a dus la prelungirea procesului de amorsare a procesului biologic până la inceputul lunii august 2020.

3 Teste experimentale

3.1 Faze experimentale

Au fost propuse si realizate trei faze de testare, primele 2 faze avand cate 3 teste fiecare, iar faza III avand 2 teste.

Testele realizate in fazele I si II, au avut ca scop evaluarea eficientei procesului biologic pe fiecare mediu filtrant, in functie de concentratia amoniului in apa bruta si in functie de viteza de filtrare.

Testele realizate in faza III au avut ca scop cresterea eficientei procesului biologic in reducerea concentratiei de amoniu din apa bruta prin evaluarea influentei surselor externe de nutrienti in cazul adaugarii acestora in apa.

In tabelul urmator sunt prezentate testele propuse in cele 3 faze.

Tabel 3.1 Faze experimentale.

Faza	Q _{AB} [l/h]	Q _{AB/filtru} [l/h]	C _{amoniu} [mg/l]	Observatii
I	60	20	≈2	Fara acid fosforic
	60	20	≈5	
	60	20	≈10	
II	105	35	≈2	
	105	35	≈5	
	105	35	≈10	
III	60	20	≈5	Fara acid fosforic
	60	20	≈5	Cu adaugare de acid fosforic

Denumirile utilizate pentru concentratiile amoniului in cadrul acestui raport de cercetare sunt:

- concentratii reduse: 0.5-4 mg/l;
- concentratii medii: 4-8 mg/l;
- concentratii mari/ridicate: 8-12 mg/l.

3.2 Parametrii de calitate, aparatura de laborator si reactivi

Pentru determinarea parametrilor analizati din apa bruta si apa filtrata biologic, s-a utilizat urmatoarea aparatura de laborator:

- Spectrofotometru HACH – DR3900;
- Multimetru digital de laborator cu doua canale HACH - HQ440D;
- Termostat cu caldura uscata cu 2 blocuri HACH – LT200;
- PH-metru Marvel WTW – pH526.

In tabelul urmator sunt prezentate metodele de analiza pentru indicatorii analizati.

Tabel 3.2 Metodele de analiza ale indicatorilor analizati.

Nr. Crt.	Parametru de calitate analizat	Metoda utilizata	Echipamente de lab
1	Amoniu	HACH – USEPA ^a Nessler Method ^b	Spectrofotometru HACH – DR3900
2	Azotati	HACH - Cadmium Reduction Method	

Nr. Crt.	Parametru de calitate analizat	Metoda utilizata	Echipamente de lab
3	Azotiti	HACH - USEPA Diazotization Method ^c	
4	Fosfor	HACH - LCK349 Fosfor total / Fosfat orto	Spectrofotometru HACH – DR3900; Termostat cu caldura uscata cu 2 blocuri – LT200;
5	pH	SR EN ISO 10523:2012	Multimetru digital de laborator cu doua canale - HQ440D; PH-metru Marvel WTW – pH526
6	Conductivitate	SR EN 27888:1997	Multimetru digital de laborator cu doua canale - HQ440D
7	Oxigen dizolvat	SR EN 25813:2000/C91:2009	
8	Temperatura	-	
9	Fier	HACH – USEPA ^d FerroVer Method ^e	Spectrofotometru HACH – DR3900
10	Alcalinitate	SR EN ISO 9963-1:2002	-
11	CCO-Mn	SR EN ISO 8467/2001	-

^a - USEPA acceptat pentru analiza apelor uzate (este necesara distilarea), Metoda 350.2;

^b - adaptat de la metode standard pentru analiza apei si a apei uzate, 4500-NH₃ B si C, Editia 15;

^c - USEPA aprobat pentru analiza apelor uzate, Registrul Federal, 44 (85), 25505 (1 mai 1979);

^d - USEPA aprobat pentru raportarea analizei apelor uzate, Registrul Federal, 27 iunie 1980; 45 (126: 43459);

^e - adaptat de la metode standard pentru analiza apei si a apei uzate.

Pentru determinarea concentratiei oxigenului dizolvat s-a utilizat un senzor de oxigen Intellical LDO101 de teren, luminiscent/optic.

Senzorul de oxigen si reactivii chimici utilizati pentru determinarea parametrilor de calitate amoniu, azotati, azotiti si fosfor fac parte dintr-o finantare primita de la HACH LANGE S.R.L.

3.3 Mod de lucru teste experimentale

Testele experimentale au fost realizate in perioadele de sfarsit de saptamana. In saptamana corespondenta a fiecarui test, in instalatie a fost introdusa apa bruta cu un debit si cu o concentratie a amoniului, aproximativ egale cu cele din testul de la sfarsitul saptamanii.

Pentru realizarea testelor experimentale, de la pornirea instalatiei, prelevarea probelor de apa si determinarea parametrilor de calitate ai apei, au fost urmati mai multi pasi:

- Inainte de inceperea fiecarui ciclu de filtrare se stabilesc debitul de apa bruta introdus in instalatia de biofiltre si concentratia amoniului in apa bruta;
- Din rezervorul de apa bruta se preleveaza o proba de apa pentru care se determina concentratia amoniului;
- In functie de concentratia amoniului in apa din rezervor si in functie de concentratia dorita ce trebuie introdusa in instalatie, se calculeaza doza necesara de clorura de amoniu ce trebuie adaugata in apa;
- Pentru apa bruta preparata cu clorura de amoniu, se vor determina parametrii de calitate ai apei stabiliti la inceperea testelor experimentale: amoniul, fosforul, azotatii, azotitii, pH-ul, conductivitatea si oxigenul dizolvat;
- Se porneste instalatia;

- In a doua jumatate a ciclului de filtrare se preleveaza probe de apa din biofiltrele cu nisip si ceramica din stratele inferior si mijlociu;
- La finalul ciclului de filtrare se preleveaza probe de apa filtrata biologic din fiecare biofiltru.
- Pentru probele de apa prelevate din stratele filtrante si de la iesirea din biofiltre se determina parametrii de calitate stabiliti la inceperea testelor experimentale;
- Se pregateste instalatia pentru urmatorul ciclu de filtrare prin pomparea apei din rezervorul de apa filtrata biologic in rezervorul de apa bruta.
- Dupa pregatirea instalatiei pentru urmatorul ciclu de filtrare, se urmaresc pasii mai sus mentionati.

Se mentioneaza ca modul de lucru de mai sus este valabil numai pentru zilele in care au fost realizate testele experimentale.

Pe toata durata realizarii testelor experimentale, alimentarea cu apa a biofiltrelor a fost oprita maxim 1 h/zi, pentru a prepara apa bruta sintetica, in rest instalatia a functionat continuu, prin recirculare.

4 Rezultate teste experimentale in fazele I si II

4.1 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta

Principalul scop al testelor experimentale a fost determinarea eficientei procesului de nitrificare pe cele trei medii suport utilizate: nisip, granule ceramice si carbune activ granular.

Performantele biofiltrelor au fost monitorizate prin masuratori ale factorilor care influenteaza procesul biologic, cum ar fi temperatura, pH-ul si oxigenul dizolvat.

Procesul de nitrificare are loc la temperaturi cuprinse intre 4 si 45°C, cu o temperatura optima de 35°C pentru Nitrosomonas si o temperatura optima de 35-42°C pentru Nitrobacter.

Pentru o functionare optima a procesului de nitrificare se recomanda ca nivelul minim al concentratiei de oxigen dizolvat sa fie de 2 mg/l.

Pentru functionarea procesului de nitrificare se recomanda ca pH-ul sa fie mentinut in intervalul 6.5-8, cu un pH optim de 7.2.

4.1.1 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta in faza I

In prima faza, in fiecare biofiltru a fost introdusa apa bruta cu un debit de 20 l/h si cu 3 concentratii diferite ale amoniului. Variatia concentratiei din apa bruta s-a realizat prin adaugarea de clorura de amoniu in apa bruta.

In tabelul urmator sunt prezentate rezultatele testelor experimentale obtinute pentru apa filtrata biologic pe cele trei biofiltre in faza I.

Tabel 4.1 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic – faza I.

Nr. crt.	Proba de apa	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Eficienta [%]	P [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	PH	Cond. [μS/cm]	OD [mg/l]	T [°C]
C_{1-NH₄⁺} = 1.76 mg/l										
1	ABP	1.76	-	0.032	91.8	0.08	6.71	945	7.31	23.3
2	AFN	0.38	78%	0.029	95.3	0.049	7.68	933	5.11	24.3
3	AFCRG	0.24	86%	0.028	96.1	0.05	7.51	871	5.12	24.1
4	AFCAG	0.59	66%	0.028	95.1	0.044	7.56	965	4.81	24.3
C_{2-NH₄⁺} = 4.68 mg/l										
5	ABP	4.68	-	0.032	163.3	0.204	7.82	1004	6.88	22.8
6	AFN	0.69	85%	0.028	173.9	0.41	7.21	936	4.74	23.4
7	AFCRG	0.51	89%	0.026	175.0	0.522	7.46	937	4.74	23.3
8	AFCAG	0.95	80%	0.027	174.3	0.486	7.27	1004	4.64	23.2
C_{3-NH₄⁺} = 10.69 mg/l										
9	ABP	10.69	-	0.03	230.1	0.575	8.24	1232	7.00	22.1
10	AFN	3.79	65%	0.022	251.5	0.581	8.25	1158	5.14	22.4
11	AFCRG	0.56	95%	0.024	262.7	0.586	8.06	1168	4.95	22.5
12	AFCAG	2.9	73%	0.025	255.1	0.583	8.06	1186	4.70	22.4

Dupa cum se poate observa in tabelul anterior, performantele biofiltrelor nu au fost afectate de temperatura, pH si oxigen dizolvat, deoarece diferentele privind rezultatele obtinute pentru acesti parametri sunt relativ reduse.

Se mai poate observa ca, concentratia fosforului in apa bruta preparata este foarte redusa si scade foarte putin, sub 0.01 mg/l, in urma filtrarii biologice.

Conductivitatea apei nu este afectata de procesul biologic, ramane aproximativ constanta, avand o usoara scadere in apa filtrata biologic.

In figura urmatoare sunt prezentate eficientele obtinute pe fiecare biofiltru in vederea reducerii amoniului din apa, in functie de mediul suport al biofiltrelor si in functie de concentratia amoniului din apa introdusa in biofiltre.

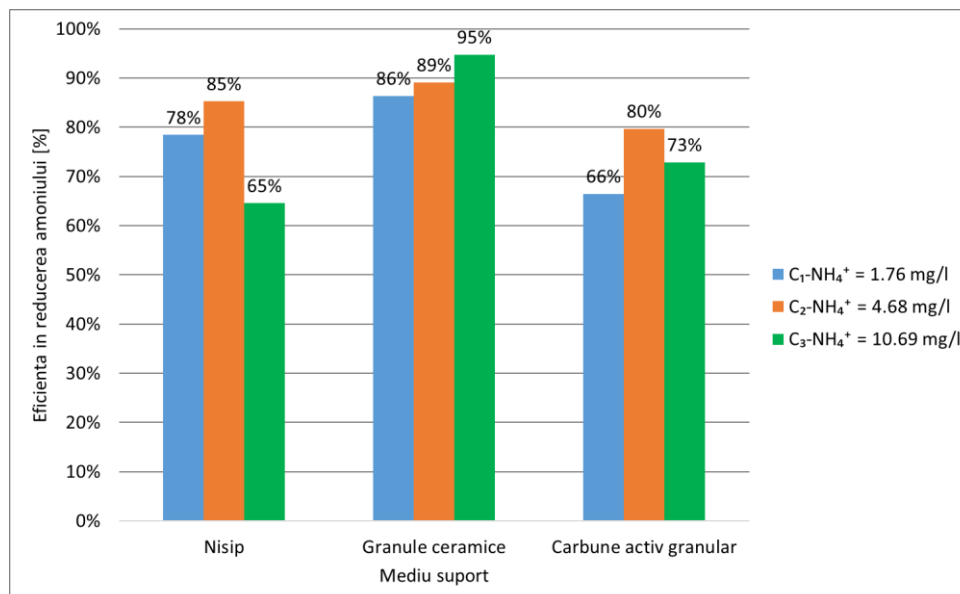


Figura 4.1. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat si de concentratia amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, in faza I, indiferent de concentratiile amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre, cele mai mari eficiente obtinute in reducerea amoniului au fost obtinute pentru biofiltrul ce are ca mediu suport granule ceramice. Pentru acest biofiltru, se observa ca pe masura ce concentratia amoniului din apa bruta este mai mare, creste eficienta biofiltrului in reducerea amoniului.

Biofiltrul ce utilizeaza ca mediu suport nisip, are eficienta mai mari in reducerea amoniului la concentratii mici (1.76 mg/l) si medii (4.68 mg/l) fata de biofiltrul cu carbune activ granular, iar la concentratii mari (10.69 mg/l), biofiltrul cu carbune activ granular este mai eficient fata de biofiltrul cu nisip.

Atat pentru biofiltrul cu nisip, cat si pentru biofiltrul cu carbune activ granular, cea mai buna eficienta este obtinuta la concentratii medii ale amoniului in apa bruta.

Conform graficelor de mai sus si conform tabelului anterior, in faza I procesul biologic de nitrificare a functionat, rezultand scaderea concentratiei amoniului si cresterea concentratiei azotatilor in apa.

4.1.2 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu din apa bruta in faza II

In a doua faza, in fiecare biofiltru a fost introdusa apa bruta cu un debit de 35 l/h si cu 3 concentratii diferite ale amoniului. Variatia concentratiei din apa bruta s-a realizat prin adaugarea de clorura de amoniu in apa bruta.

In tabelul urmatoare sunt prezentate rezultatele testelor experimentale obtinute pentru apa filtrata biologic pe cele trei biofiltre in faza II.

Tabel 4.2 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic – faza II.

Nr. crt.	Proba de apa	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Eficienta [%]	P [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	PH	Cond. [μS/cm]	OD [mg/l]	T [°C]
C₁-NH₄⁺=2.81 mg/l										
1	ABP	2.81		0.035	145.2	0.04	7.76	1321	7.70	22.1
2	AFN	1.39	51%	0.027	149.3	0.18	7.95	1196	5.45	22.1
3	AFCRG	0.62	78%	0.029	150.7	0.08	8.09	1137	5.35	22.2
4	AFCAG	0.77	73%	0.028	149.9	0.038	8.04	1139	5.40	22.1
C₂-NH₄⁺=5.15 mg/l										
5	ABP	5.15		0.032	99.6	0.261	8.08	890	7.23	23.7
6	AFN	3.41	34%	0.028	104.4	0.374	8.11	845	4.83	23.5
7	AFCRG	1.83	64%	0.026	108.2	0.555	8.15	815	5.00	23.7
8	AFCAG	1.87	64%	0.027	109.0	0.144	8.19	879	4.56	23.9
C₃-NH₄⁺=11.03 mg/l										
9	ABP	11.03		0.029	148.4	0.551	8.11	845	7.16	24.6
10	AFN	6.59	40%	0.027	161.5	0.58	8.05	851	4.86	24.7
11	AFCRG	1.94	82%	0.027	176.7	0.586	7.7	858	4.76	24.6
12	AFCAG	4.97	55%	0.03	167.2	0.582	7.98	861	4.58	24.9

Dupa cum se poate observa in tabelul anterior, performantele biofiltrelor nu au fost afectate de temperatura, pH si oxigen dizolvat, deoarece diferentele privind rezultatele obtinute pentru acesti parametri sunt relativ reduse.

Se mai poate observa ca, concentratia fosforului in apa bruta preparata este foarte redusa si scade foarte putin, sub 0.01 mg/l, in urma filtrarii biologice.

Conductivitatea apei nu este afectata de procesul biologic, ramane aproximativ constanta, avand o usoara scadere in apa filtrata biologic.

In figura urmatoare sunt prezentate eficientele obtinute pe fiecare biofiltru in vederea reducerii amoniului din apa, in functie de mediul suport al biofiltrelor si in functie de concentratia amoniului din apa introdusa in biofiltre.

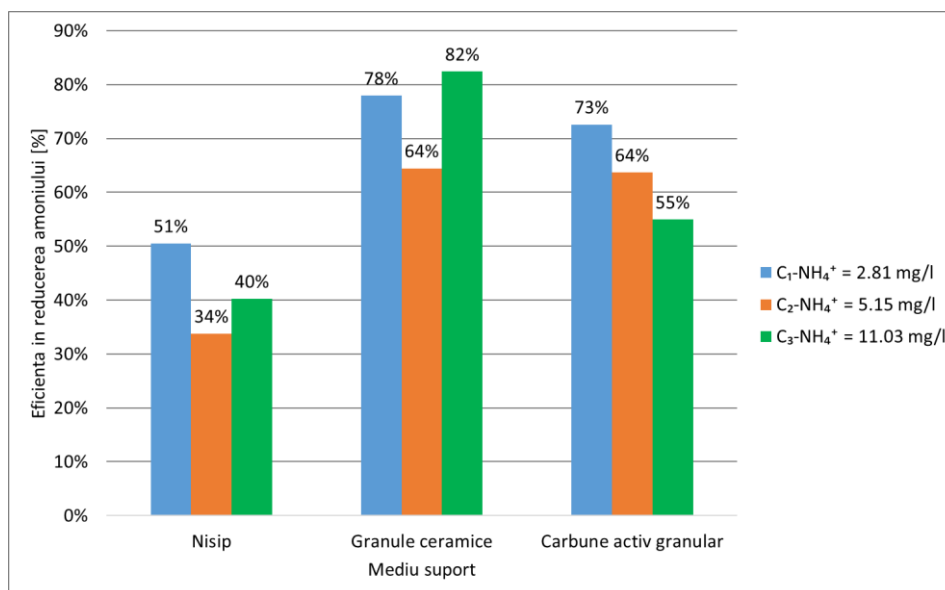


Figura 4.2. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat si de concentratia amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, in faza II, indiferent de concentratiile amoniului din apa bruta introdusa in biofiltre, cele mai mari eficiente in reducerea amoniului au fost obtinute pentru biofiltrul ce are ca mediu suport granule ceramice, urmat de biofiltrul cu carbune si biofiltrul cu nisip. Pentru acest biofiltru cu granule ceramice, se observa ca in cazul concentratiilor mari (11.03 mg/l) ale amoniului a fost obtinuta eficienta ca mai buna in reducerea amoniului din apa, urmata de eficienta pentru concentratii mici (2.81 mg/l) si eficienta pentru concentratii medii (5.15 mg/l).

Biofiltrul ce utilizeaza ca mediu suport nisip, are cele mai mici eficiente in reducerea amoniului fata de biofiltrele cu granule de ceramica si carbune activ granular si se observa ca pe masura ce concentratia creste, eficienta acestui biofiltru scade.

In cazul biofiltrului ce are ca mediu suport carbune activ granular, se observa ca pe masura ce concentratia amoniului din apa bruta este mai mare, scade eficienta biofiltrului in reducerea amoniului.

Conform graficelor de mai sus si conform tabelului anterior, in faza II procesul biologic de nitrificare a functionat, rezultand scaderea concentratiei amoniului si cresterea concentratiei azotatilor in apa.

Comparand eficientele obtinute in faza I cu cele obtinute in faza II, se observa o scaderea a eficientei reducerii amoniului in apa in faza II, cand in instalatie se introduce apa bruta cu un debit mai mare. Biofiltrul cel mai afectat de cresterea debitului in vederea reducerii amoniului este reprezentat de biofiltrul cu nisip.

4.2 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant

Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de concentratia amoniului din apa bruta si de debitul de apa bruta introdus in instalatie s-a determinat pentru filtrele biologice ce au ca mediu suport, nisip si granule ceramice.

4.2.1 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip

4.2.1.1 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de concentratia amoniului din apa bruta

Pentru a determina variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, au fost prelevate probe de apa din 4 puncte, intrare in filtru, strat inferior (H=0.3 m), strat superior (H=0.7 m) si de la iesirea din stratul filtrant (H=1 m). Pentru probele de apa au fost determinati parametrii de calitate ai apei analizati in aceste teste experimentale.

In tabelul urmator sunt prezentate rezultatele testelor experimentale pentru biofiltrul cu nisip, pentru faza I.

Tabel 4.3 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu nisip in faza I – $Q_{AB}=20$ l/h.

Nr. crt.	Proba de apa	NH_4^+ [mg/l]	P [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2^- [mg/l]	PH	Cond. [μ S/cm]	OD [mg/l]	T [°C]
$C_{1-NH_4^+}=1.76$									
1	ABP	1.76	0.032	91.8	0.08	6.71	945	7.31	23.3
2	AFN	0.38	0.029	95.3	0.049	7.68	933	5.11	24.3
3	AFN SS	0.57	-	95.2	0.065	7.34	935	5.04	23.7
4	AFN SI	0.82	-	94.2	0.07	6.95	940	4.85	23.7
$C_{2-NH_4^+}=4.68$									

Nr. crt.	Proba de apa	NH ₄ ⁺ [mg/l]	P [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	PH	Cond. [μS/cm]	OD [mg/l]	T [°C]
5	ABP	4.68	0.036	163.3	0.204	7.82	1004	6.88	22.8
6	AFN	0.69	0.028	173.9	0.41	7.21	936	4.74	23.4
7	AFN SS	1.3	-	172.8	0.375	7.35	945	4.85	22.9
8	AFN SI	2.87	-	167.5	0.312	7.56	975	4.89	22.7
C_{3-NH₄⁺}=10.69									
9	ABP	10.69	0.03	230.1	0.575	8.24	1232	7.00	22.1
10	AFN	3.79	0.022	251.5	0.581	8.25	1158	5.14	22.4
11	AFN SS	4.54	-	249.9	0.583	8.02	1183	4.63	22.1
2	AFN SI	6.65	-	242.1	0.58	8.05	1183	4.72	22.1

In tabelul anterior se poate observa ca, concentratia amoniului in apa filtrata biologic ajunge sub limita maxim admisibila de 0.5 mg/l conform Legii 458/2002, in cazul in care apa introdusa in filtru are o concentratie de amoniu de 1.76 mg/l. La o concentratie a amoniului in apa bruta de 4.68 mg/l, in apa filtrata biologic concentratia amoniului in apa, se apropie de limita maxim admisibila, la mai putin de 0.2 mg/l.

In figurile urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 20 l/h.

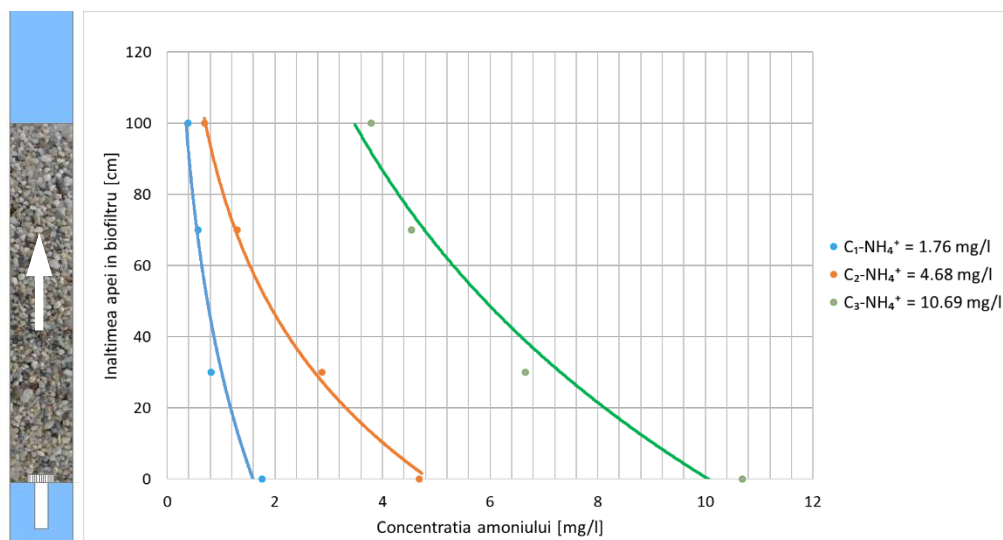


Figura 4.3. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – Q_{AB} = 20 l/h.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, pentru toate cele 3 concentratii ale amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, concentratia amoniului din apa scade mai mult in stratul inferior, urmat de stratul mijlociu si stratul superior, rezultand ca cele mai active bacterii se afla in stratul inferior. Se poate observa ca in cazul unor concentratii de 1.76 mg/l si 4.68 mg/l amoniul este redus pana sub sau in apropierea limitei minim admisibile conform legii 458/2002, iar unei concentratii de 10.69 mg/l, amoniul este redus pana la 3.79 mg/l.

Un alt aspect care demonstreaza ca biomasa atasata din stratul inferior este cea mai activa, este reprezentat de variatia eficientei reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant, prezentata in tabelul urmatoare.

Tabel 4.4 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip – Q_{AB}=20 l/h.

Nr. crt.	Strat filtrant	NH_4^+ redus in stratul filtrant [mg/l]	Eficienta [%]
$C_{1-\text{NH}_4^+}=1.76 \text{ mg/l}$			
1	superior	0.19	14%
2	mijlociu	0.25	18%
3	inferior	0.94	68%
$C_{2-\text{NH}_4^+}=4.68 \text{ mg/l}$			
4	superior	0.61	15%
5	mijlociu	1.57	39%
6	inferior	1.81	45%
$C_{3-\text{NH}_4^+}=10.69 \text{ mg/l}$			
7	superior	0.75	11%
8	mijlociu	2.11	31%
9	inferior	4.04	59%

Se observa ca procesul de nitrificare functioneaza, deoarece amoniul este redus, iar un alt aspect care demonstreaza functionarea procesului biologic este reprezentata de cresterea concentratiilor azotitilor si azotatilor in apa filtrata biologic.

In figurile urmatoare sunt prezentate variatiile azotitilor si azotatilor in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 20 l/h.

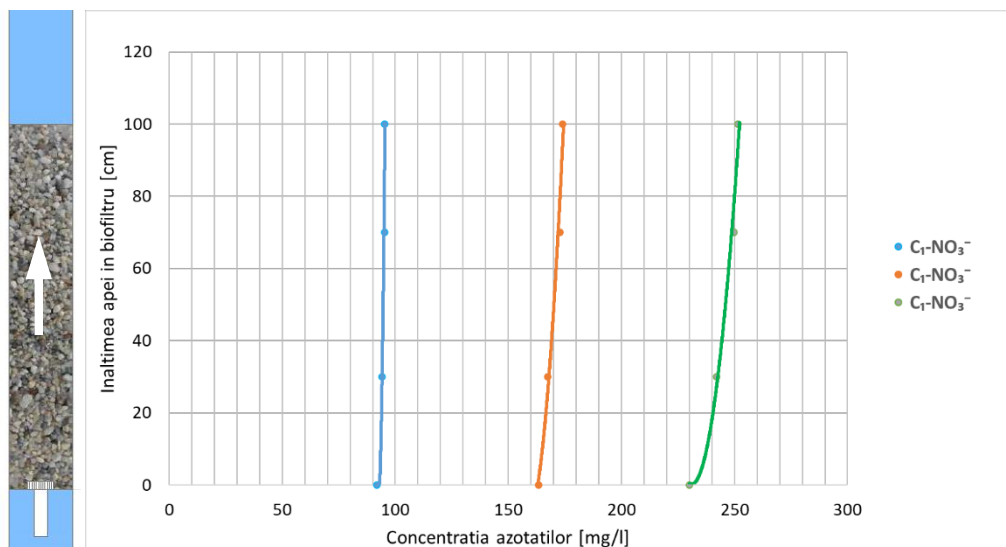


Figura 4.4. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20 \text{ l/h}$.

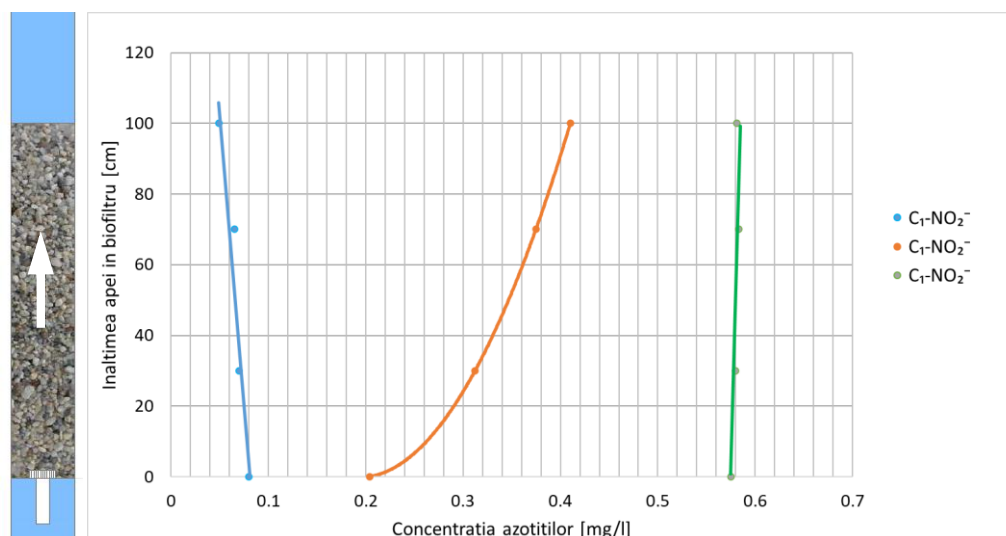


Figura 4.5. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, concentratiile azotatilor cresc, rezultand ca procesul biologic functioneaza, amoniul fiind redus la azotat. In cazul azotitilor se observa ca, concentratiilor acestora cresc, cu exceptia primei curbe, unde se observa ca, concentratiile acestora scad. In acest caz, pot fi erori de masura deoarece diferentele de concentratii sunt sub 0.05 mg/l.

In tabelul urmatore sunt prezentate rezultatele testelor experimentale pentru biofiltrul cu nisip, pentru faza II.

Tabel 4.5 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu nisip in faza II – $Q_{AB}=35$ l/h.

Nr.crt.	Proba de apa	NH_4^+ [mg/l]	P [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2^- [mg/l]	PH	Cond. [$\mu S/cm$]	OD [mg/l]	T [°C]
$C_{1-NH_4^+}=2.81$ mg/l									
1	ABP	2.81	0.035	145.2	0.04	7.76	1321	7.70	22.1
2	AFN	1.39	0.027	149.3	0.18	7.95	1196	5.45	22.1
3	AFN SS	1.83		147.9	0.189	7.96	1270	5.71	22
4	AFN SI	1.92		147.0	0.142	7.97	1285	5.81	21.9
$C_{2-NH_4^+}=5.15$ mg/l									
5	ABP	5.15	0.032	99.6	0.261	8.08	890	7.23	23.7
6	AFN	3.41	0.028	104.4	0.374	8.11	845	4.83	23.7
7	AFN SS	3.51		102.9	0.423	8.13	884	5.05	23.9
8	AFN SI	3.76		102.7	0.346	8.1	890	5.16	23.7
$C_{3-NH_4^+}=11.03$ mg/l									
9	ABP	11.03	0.029	148.4	0.551	8.11	845	7.16	24.6
10	AFN	6.59	0.027	161.5	0.58	8.05	851	4.86	24.7
11	AFN SS	7.83		156.9	0.577	8.08	854	5.02	24.9
12	AFN SI	9.31		153.3	0.582	8.01	854	4.91	24.7

In figura urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 35 l/h.

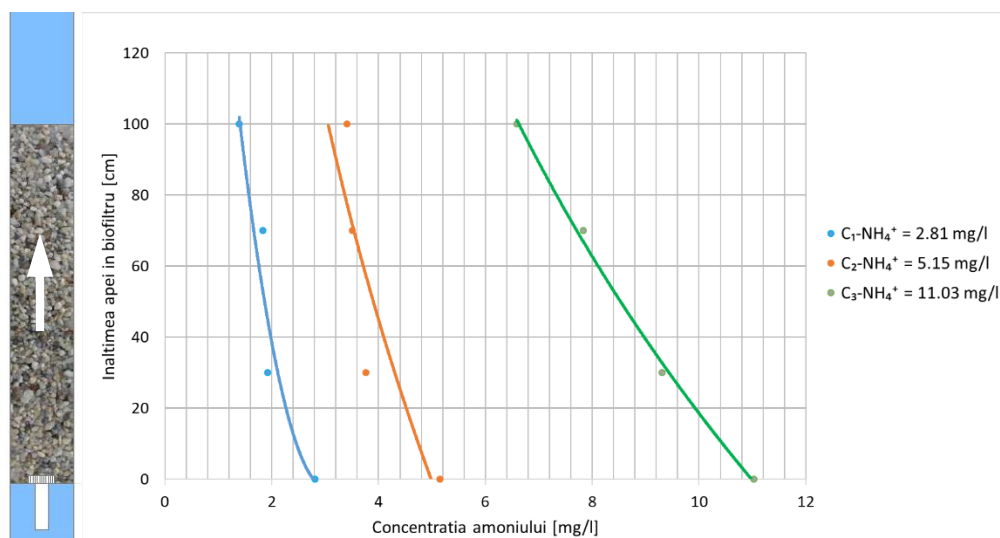


Figura 4.6. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, variatia concentratiei amoniului in filtru este diferita pentru cele 3 tipuri de apa bruta introdusa in biofiltru.

In cazul concentratiei reduse a amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, amoniul este redus mai mult in stratul filtrant inferior, urmat de stratul superior si stratul mijlociu.

In cazul concentratiei medii a amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, amoniul este redus in stratul filtrant inferior, dupa care ramane aproximativ constant pana la iesirea din filtru, fiind redus nesemnificativ in stratele mijlociu si superior.

In cazul concentratiei ridicate a amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, amoniul este redus aproximativ constant pe toata inaltimea filtrului, foarte putin fiind redus mai bine in stratul inferior.

Un alt aspect care demonstreaza ca biomasa atasata din stratul inferior este cea mai activa, este reprezentat de variatia eficientei reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant, prezentata in tabelul urmator.

Tabel 4.6 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu nisip – $Q_{AB}=35$ l/h.

Nr. crt.	Strat filtrant	NH_4^+ redus in stratul filtrant [mg/l]	Eficienta [%]
$C_{1-NH_4^+}=2.81$ mg/l			
1	superior	0.44	31%
2	mijlociu	0.09	6%
3	inferior	0.89	63%
$C_{2-NH_4^+}=5.15$ mg/l			
4	superior	0.1	6%
5	mijlociu	0.25	14%
6	inferior	1.39	80%
$C_{3-NH_4^+}=11.03$ mg/l			
7	superior	1.24	28%
8	mijlociu	1.48	33%
9	inferior	1.72	39%

Se observa ca procesul de nitrificare functioneaza si in faza II, amoniul fiind redus la azotat, dar comparand rezultatele obtinute in faza I cu cele obtinute in faza II, se poate afirma ca biofiltrul cu nisip este foarte afectat de cresterea vitezei de filtrare, si nu se poate obtine o reducere a amoniului sub limita maxim admisibila conform legii 458/2002 nici macar in cazul unei concentratii reduse de 2.81 mg/l.

In figurile urmatoare sunt prezentate variatiile azotitilor si azotatilor in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 35 l/h.

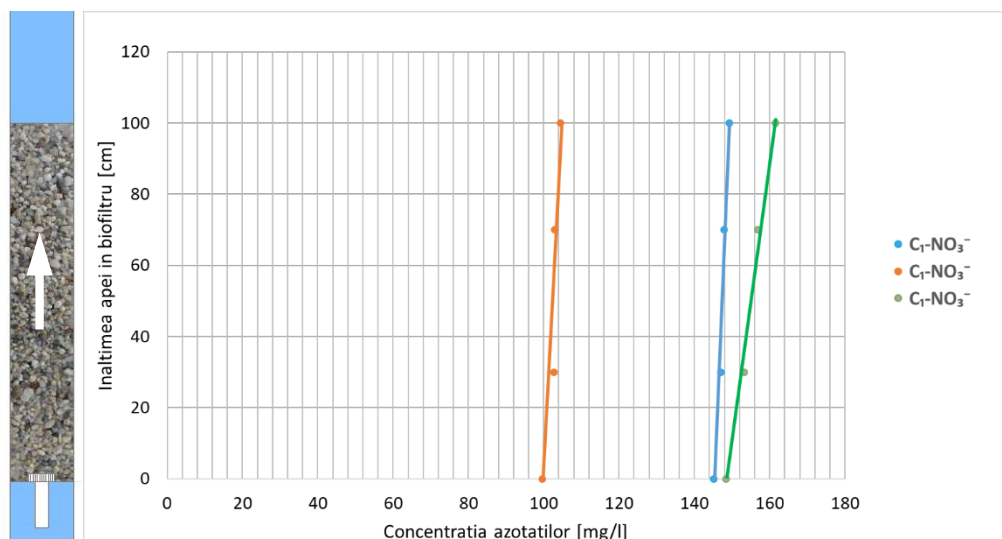


Figura 4.7. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

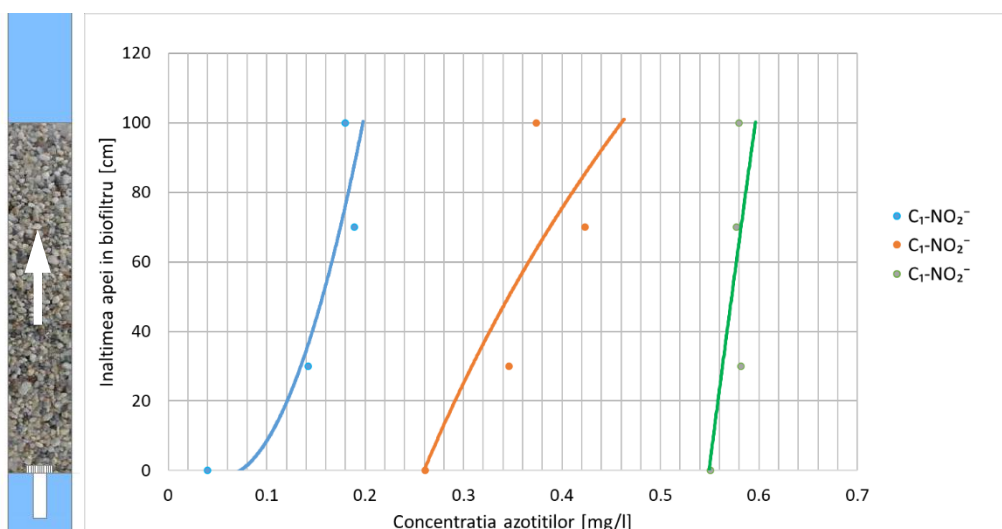


Figura 4.8. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, concentratiile azotitilor si azotatilor cresc, rezultand ca procesul biologic functioneaza, iar amoniul este redus la azotit si apoi la azotat.

4.2.1.2 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in instalatie

In figurile urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru.

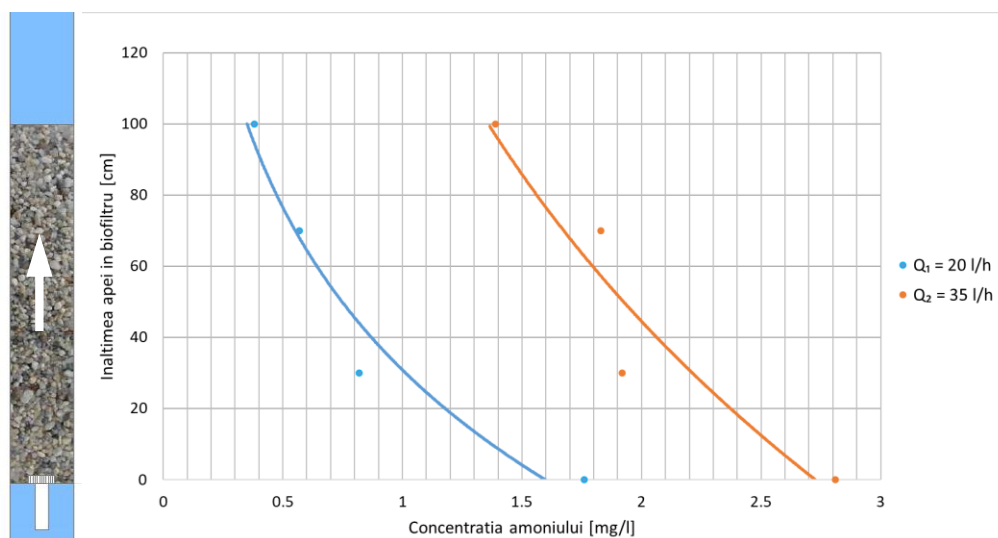


Figura 4.9. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii reduse (1.76 si 2.81 mg/l) ale amoniului in apa bruta.

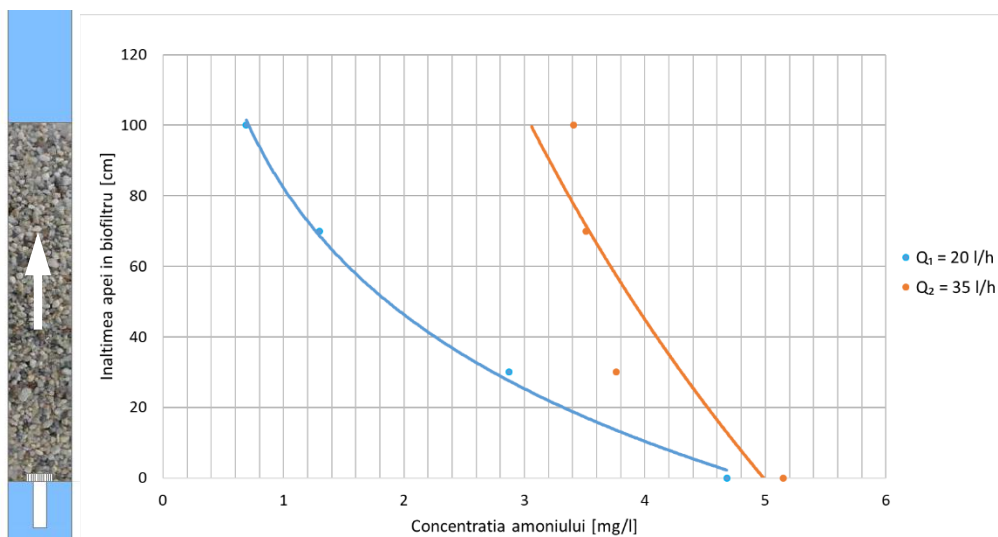


Figura 4.10. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii medii (4.68 si 5.15 mg/l) ale amoniului in apa bruta.

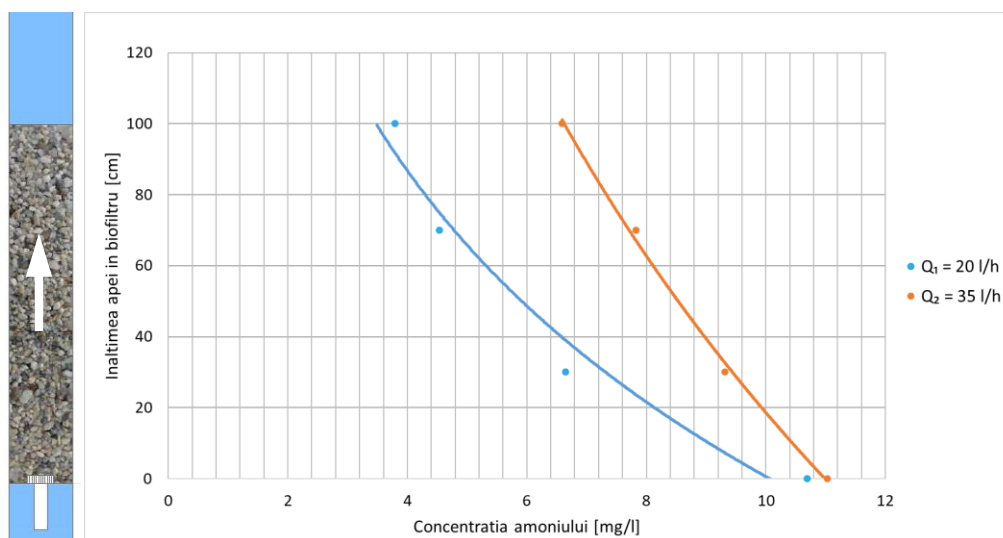


Figura 4.11. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii mari (10.69 si 11.03 mg/l) ale amoniului in apa bruta.

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, la o crestere a debitului de apa bruta, creste viteza de filtrare, iar performanta biofiltrului scade, fapt datorat in mare masura reducerii timpului de contact dintre apa si biomasa atasata. Se poate observa ca stratul inferior este mai putin afectat de reducerea timpului de contact dintre apa si biomasa atasata fata de stratele mijlociu si superior.

4.2.2 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice

4.2.2.1 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de concentratia amoniului din apa bruta

Pentru a determina variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, au fost prelevate probe de apa din 4 puncte, intrare in filtru, strat inferior ($H=0.2$ m), strat superior ($H=0.7$ m) si de la iesirea din stratul filtrant ($H=1$ m). Pentru probele de apa au fost determinati parametrii de calitate ai apei analizati in aceste teste experimentale.

In tabelul urmatoare sunt prezentate rezultatele testelor experimentale pentru biofiltrul cu granule ceramice, pentru prima faza.

Tabel 4.7 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu granule ceramice in faza I – $Q_{AB}=20$ l/h.

Nr.crt.	Proba de apa	NH_4^+ [mg/l]	P [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2^- [mg/l]	PH	Cond. [$\mu S/cm$]	OD [mg/l]	T [°C]
$C_{1-NH_4^+}=1.76$ mg/l									
1	ABP	1.76	0.032	91.8	0.08	6.71	945	7.31	23.3
2	AFCRG	0.24	0.028	96.1	0.05	7.51	871	5.12	24.1
3	AFCRG SS	0.46	-	95.1	0.067	7.61	890	5.05	23.8
4	AFCRG SI	0.78	-	94.4	0.075	7.55	915	4.97	23.8
$C_{2-NH_4^+}=4.68$ mg/l									
5	ABP	4.68	0.036	163.3	0.204	7.82	1004	6.88	22.8
6	AFCRG	0.51	0.03	175.0	0.522	7.46	937	4.74	23.3
7	AFCRG SS	1.3	-	171.9	0.512	7.55	941	4.61	22.5

Nr.crt.	Proba de apa	NH ₄ ⁺ [mg/l]	P [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	PH	Cond. [μS/cm]	OD [mg/l]	T [°C]
8	AFCRG SI	3.42	-	166.8	0.437	7.56	975	4.72	22.5
C₃-NH₄⁺=10.69 mg/l									
9	ABP	10.69	0.03	230.1	0.575	8.24	1232	7.00	22.1
10	AFCRG	0.56	0.024	262.7	0.586	8.06	1168	4.95	22.5
11	AFCRG SS	1.42	-	258.9	0.585	8	1177	4.94	22.4
12	AFCRG SI	4.41	-	250.7	0.584	8	1184	4.91	22.4

In tabelul anterior se poate observa ca, concentratia amoniului in apa filtrata biologic pe biofiltrul cu granule ceramice ajunge sub limita maxim admisibila de 0.5 mg/l conform Legii 458/2002, la concentratii mici (1.76 mg/l), iar la concentratii medii (4.68 mg/l) si mari (10.69 mg/l) se apropie de limita la mai putin de 0.1 mg/l.

In figura urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 20 l/h.

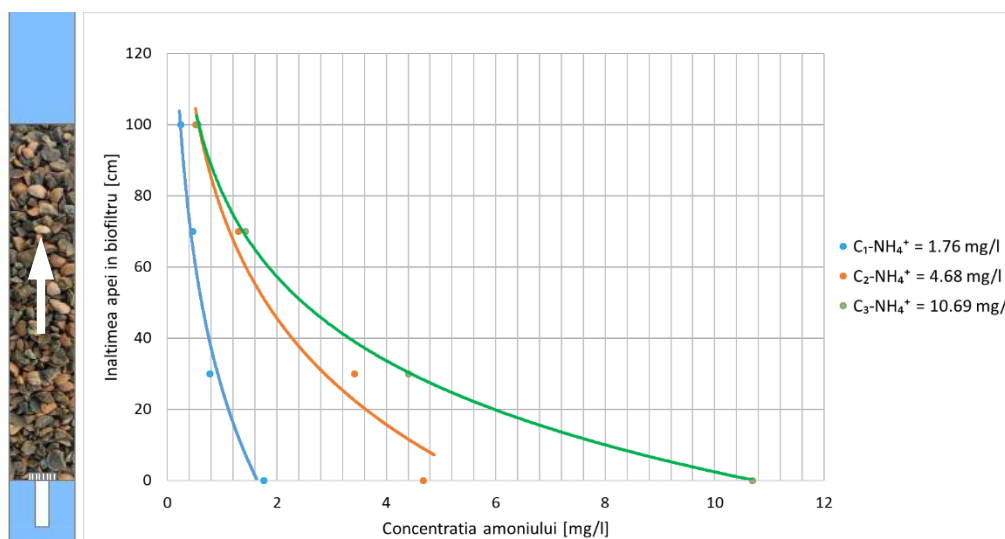


Figura 4.12. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – Q_{AB} = 20 l/h.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, pentru toate cele 3 concentratii ale amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, concentratia amoniului din apa scade mai mult in stratul inferior, urmat de stratul mijlociu si stratul superior, rezultand ca cele mai active bacterii se afla in stratul inferior.

Un alt aspect care demonstreaza ca biomasa atasata din stratul inferior este cea mai activa, este reprezentat de variatia eficientei reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant, prezentata in tabelul urmator.

Tabel 4.8 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice – Q_{AB}=20 l/h.

Nr. crt.	Strat filtrant	NH ₄ ⁺ redus in stratul filtrant [mg/l]	Eficienta [%]
C₁-NH₄⁺=1.76 mg/l			
1	superior	0.22	14%
2	mijlociu	0.32	21%

Nr. crt.	Strat filtrant	NH_4^+ redus in stratul filtrant [mg/l]	Eficienta [%]
3	inferior	0.98	64%
$C_{2-\text{NH}_4^+}=4.68 \text{ mg/l}$			
4	superior	0.79	19%
5	mijlociu	2.12	51%
6	inferior	1.26	30%
$C_{3-\text{NH}_4^+}=10.69 \text{ mg/l}$			
7	superior	0.86	8%
8	mijlociu	2.99	30%
9	inferior	6.28	62%

Cu o singura exceptie se observa ca la concentratii de 4.68 mg/l a rezultat ca cea mai activa zona este zona stratului mijlociu.

Se observa ca procesul de nitrificare functioneaza, deoarece amoniul este redus, iar un alt aspect care demonstreaza functionarea procesului biologic este reprezentata de cresterea concentratiilor azotitilor si azotatilor in apa filtrata biologic.

In figurile urmatoare sunt prezentate variatiile azotitilor si azotatilor in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 20 l/h.

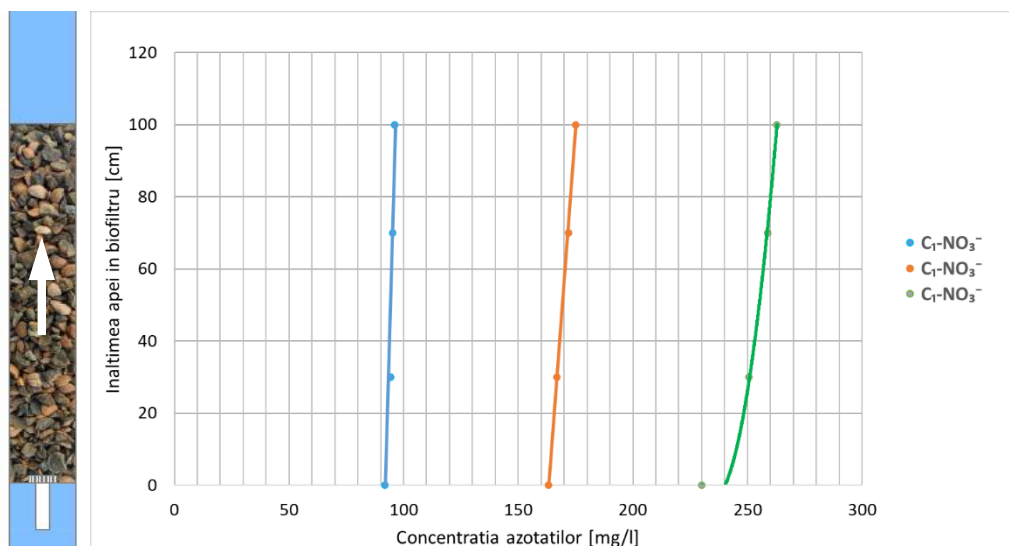


Figura 4.13. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20 \text{ l/h}$.

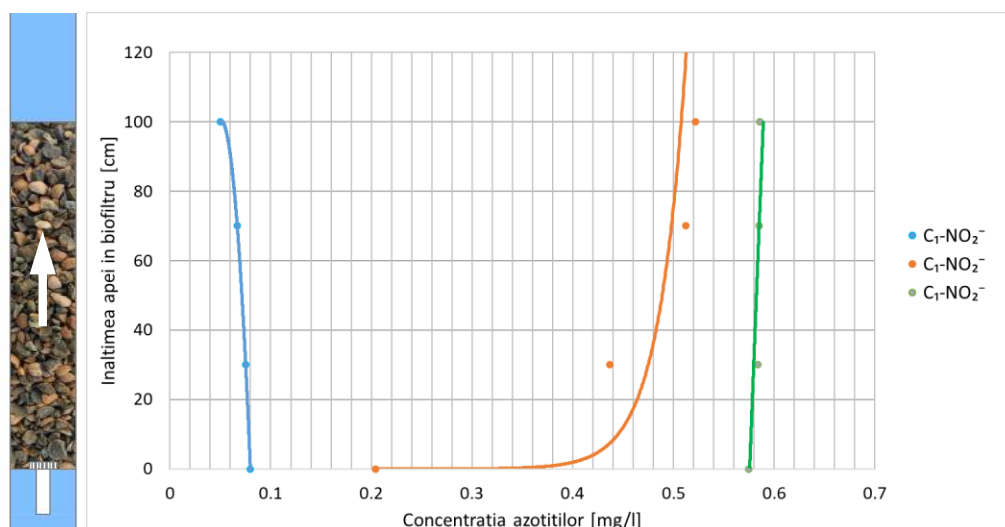


Figura 4.14. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 20$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, concentratiile azotatilor cresc, rezultand ca procesul biologic functioneaza, amoniul fiind redus la azotat. In cazul azotitilor se observa ca, concentratiilor acestora cresc, cu exceptia primei curbe, unde se observa ca, concentratiile acestora scad. In acest caz, pot fi erori de masura deoarece diferentele de concentratii sunt sub 0.05 mg/l.

In tabelul urmator sunt prezentate rezultatele testelor experimentale pentru biofiltrul cu granule ceramice, pentru faza II.

Tabel 4.9 Parametrii de calitate apa bruta si apa filtrata biologic pe biofiltrul cu granule ceramice in faza II – $Q_{AB}=35$ l/h.

Nr.crt.	Proba de apa	NH_4^+ [mg/l]	P [mg/l]	NO_3^- [mg/l]	NO_2^- [mg/l]	PH	Cond. [$\mu S/cm$]	OD [mg/l]	T [$^{\circ}C$]
$C_{1-NH_4^+}=2.81$ mg/l									
1	ABP	2.81	0.035	145.2	0.04	7.76	1321	7.70	22.1
2	AFCRG	0.62	0.029	150.7	0.08	8.09	1137	5.35	22.2
3	AFCRG SS	0.98	-	149.3	0.06	8.08	1228	5.68	22.2
4	AFCRG SI	1.29	-	148.7	0.137	8.05	1257	5.85	22.1
$C_{2-NH_4^+}=5.15$ mg/l									
5	ABP	5.15	0.032	99.6	0.261	8.08	890	7.23	23.7
6	AFCRG	1.83	0.026	108.2	0.555	8.15	815	5.00	23.7
7	AFCRG SS	3.02	-	105.5	0.549	8.21	872	5.17	23.6
8	AFCRG SI	3.95	-	102.8	0.482	8.18	884	5.21	23.6
$C_{3-NH_4^+}=11.03$ mg/l									
9	ABP	11.03	0.029	148.4	0.551	8.11	845	7.16	24.6
10	AFCRG	1.94	0.027	176.7	0.586	7.7	858	4.76	24.6
11	AFCRG SS	4.2	-	169.9	0.583	7.92	847	4.71	24.8
12	AFCRG SI	6.09	-	164.3	0.583	7.9	860	4.27	24.9

In figura urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 35 l/h.

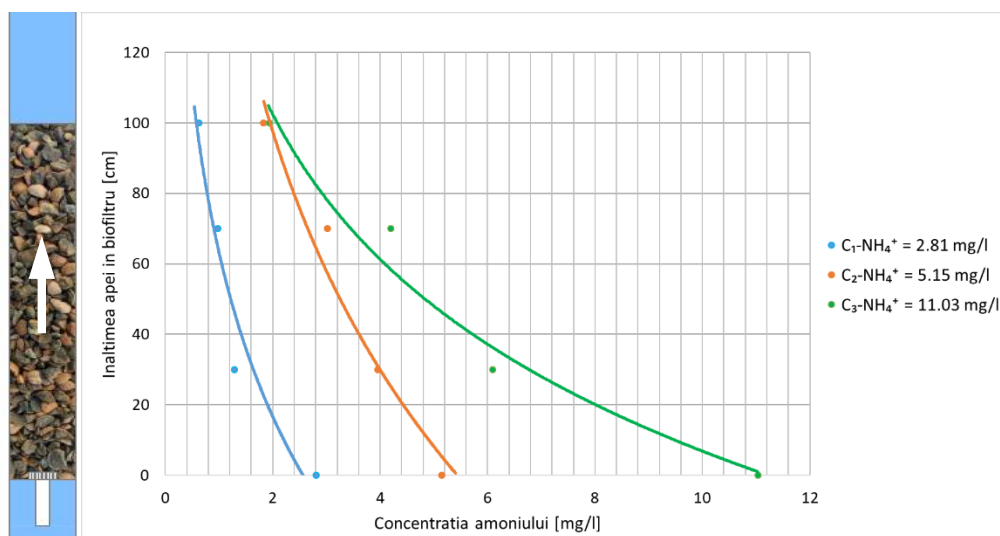


Figura 4.15. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figura de mai sus, pentru toate cele 3 concentratii ale amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru, concentratia amoniului din apa scade mai mult in stratul inferior, urmat de stratul superior si stratul mijlociu, rezultand ca cele mai active bacterii se afla in stratul inferior. Se poate observa ca in functie de concentratia amoniului din apa bruta, acesta este redus in cantitati mai mari la concentratii mai mari. Se poate observa ca amoniul este redus aproape (la o diferenta de sub 0.15 mg/l) de limita maxim admisibila conform legii 458/2002, in cazul unor concentratii de 2.81 mg/l, iar in cazul unor concentratii de 5.15 si 11.03 mg/l, amoniul este redusa pana la sub 2 mg/l.

Un alt aspect care demonstreaza ca biomasa atasata din stratul inferior este cea mai activa, este reprezentat de variatia eficientei reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant, prezentata in tabelul urmator.

Tabel 4.10 Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in stratul filtrant din biofiltrul cu granule ceramice – $Q_{AB}=35$ l/h.

Nr. crt.	Strat filtrant	NH_4^+ redus in stratul filtrant [mg/l]	Eficienta [%]
$C_{1-\text{NH}_4^+}=2.81$ mg/l			
1	superior	0.36	16%
2	mijlociu	0.31	14%
3	inferior	1.52	69%
$C_{2-\text{NH}_4^+}=5.15$ mg/l			
4	superior	1.19	36%
5	mijlociu	0.93	28%
6	inferior	1.2	36%
$C_{3-\text{NH}_4^+}=11.03$ mg/l			
7	superior	2.26	25%
8	mijlociu	1.89	21%
9	inferior	4.94	54%

In figurile urmatoare sunt prezentate variatiile azotitilor si azotatilor in stratul filtrant, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu trei concentratii diferite ale amoniului si cu un debit constant de 35 l/h.

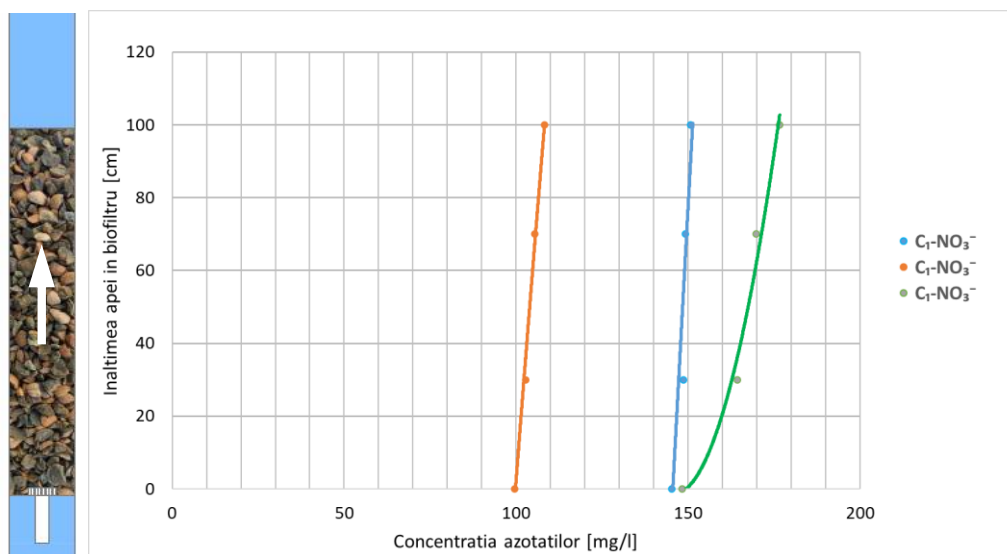


Figura 4.16. Variatia concentratiei azotatilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

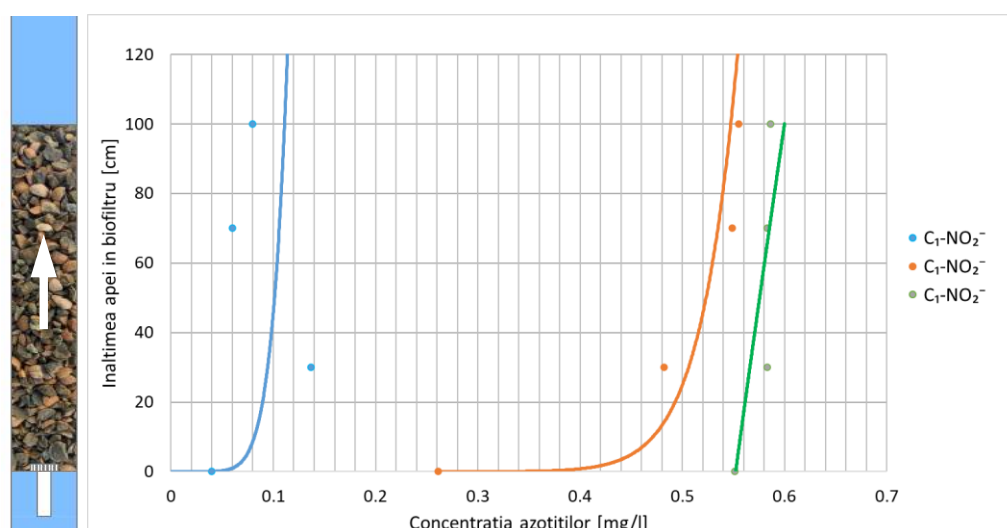


Figura 4.17. Variatia concentratiei azotitilor in stratul filtrant – $Q_{AB} = 35$ l/h.

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, concentratiile azotitilor si azotatilor cresc, rezultand ca procesul biologic functioneaza.

4.2.2.2 Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in instalatie

In figurile urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant, in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru.

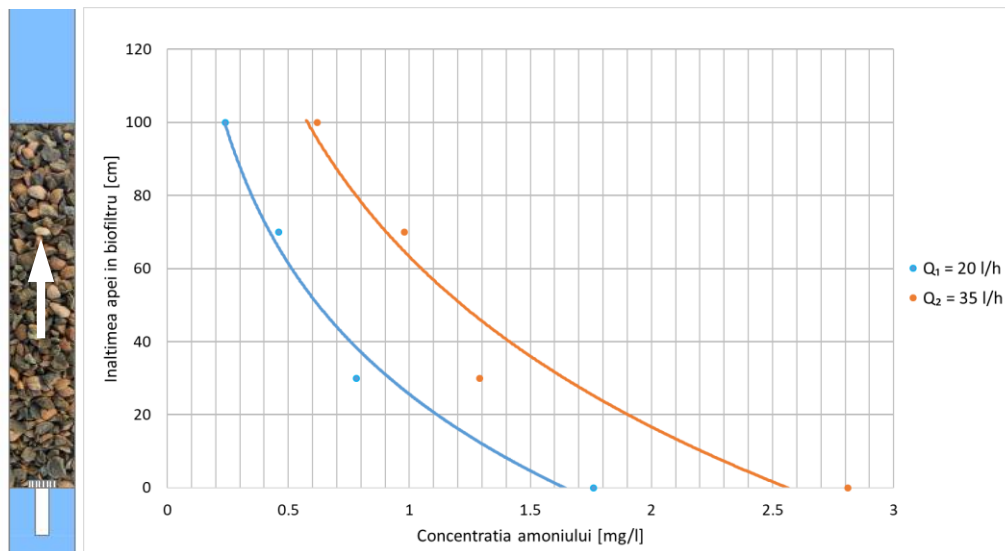


Figura 4.18. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii reduse ale amoniului in apa bruta.

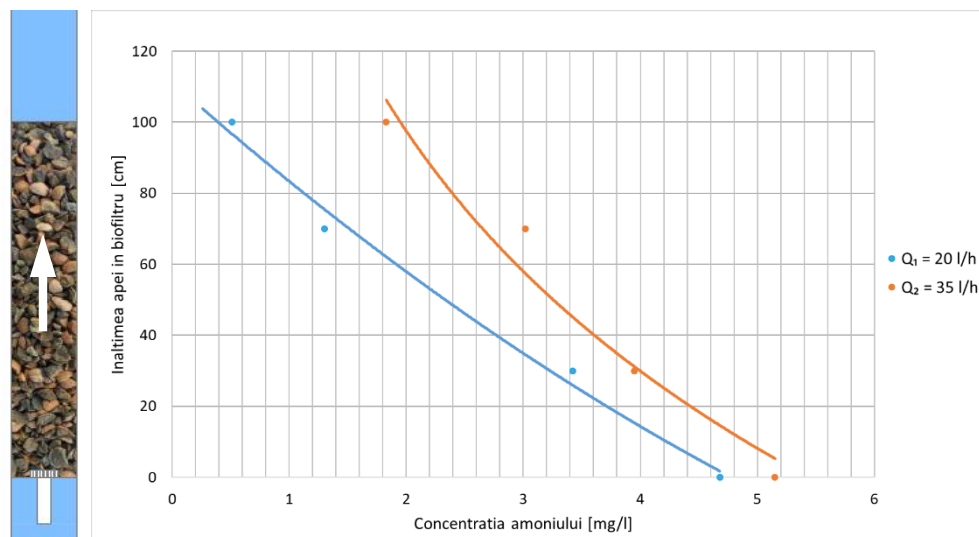


Figura 4.19. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii medii ale amoniului in apa bruta.

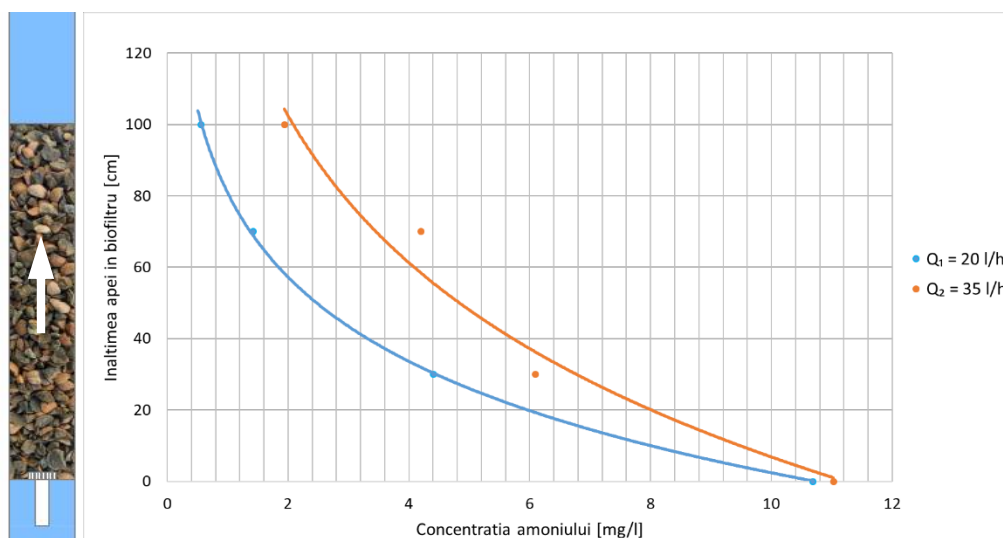


Figura 4.20. Variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in functie de debitul de apa bruta introdus in biofiltru – concentratii mari ale amoniului in apa bruta

Dupa cum se poate observa in figurile de mai sus, la o crestere a debitului de apa bruta, creste viteza de filtrare, iar performanta biofiltrului scade, fapt datorat in mare masura reducerii timpului de contact dintre apa si biomasa atasata. Se poate observa ca stratul inferior este mai putin afectat de reducerea timpului de contact dintre apa si biomasa atasata fata de stratele mijlociu si superior. Fata de biofiltrele cu nisip, biofiltrele cu granule ceramice sunt mai putin afectate de reducerea timpului de contact dintre apa si biomasa atasata. Comparand rezultatele obtinute in faza II pentru biofiltrul cu nisip, cu rezultatele obtinute pentru biofiltrul cu granule ceramice, se poate spune ca biofiltrul cu granule ceramice este mai putin afectat de reducerea timpului de contact dintre apa si biomasa atasata spre deosebire de biofiltrul cu nisip.

5 Rezultate teste experimentale in faza III

In testele realizate in fazele I si II faze s-au obtinut eficiente de aproximativ 95% in reducerea amoniului pentru filtrul biologic cu ceramica dar indiferent de concentratia amoniului din apa bruta, dupa filtrarea biologica a acesteia, concentratia amoniului nu scade sub valoarea minim obtinuta de 0.24 mg/l.

In urma realizarii testelor experimentale in primele faze, s-a observat ca, concentratia fosforului in apa este foarte redusa. Fosforul reprezinta un nutrient necesar in procesul de nitrificare, de aceea in acesta etapa s-a adaugat acid fosforic (0.26 mg/l) pentru a verifica daca se obtine o eficienta mai buna in reducerea amoniului.

In urma procesului de filtrare biologica s-a observat ca alcalinitatea scade, iar consumul chimic de oxigen creste.

In ambele cazuri (fara acid fosforic si cu adaugare de acid fosforic) alcalinitatea scade cu aproximativ 1.4 mval/l in apa filtrata biologic pe ceramica si cu aproximativ 1.2 mval/l pentru apa filtrata biologic pe nisip si carbune activ granular.

Consumul chimic de oxigen in cazul filtrarii biologice (fara acid fosforic) pe carbune a crescut cu 0.5 mg/l iar in cazul filtrarii biologice pe nisip si ceramica a crescut cu aproximativ 6 mg/l.

Consumul chimic de oxigen in cazul filtrarii biologice (cu acid fosforic) pe carbune a ramas constant iar in cazul filtrarii biologice pe nisip si ceramica a crescut cu aproximativ 5 mg/l.

Avand in vedere rezultatele obtinute pentru consumul chimic de oxigen pe apa filtrata pe ceramica si pe apa filtrata pe nisip, se poate afirma ca, cresterea consumului chimic de oxigen poate indica desprinderea biomasei de pe cele 2 medii suport.

In figura urmatoare sunt prezentate eficientele obtinute pentru filtrarea biologica in faza III.

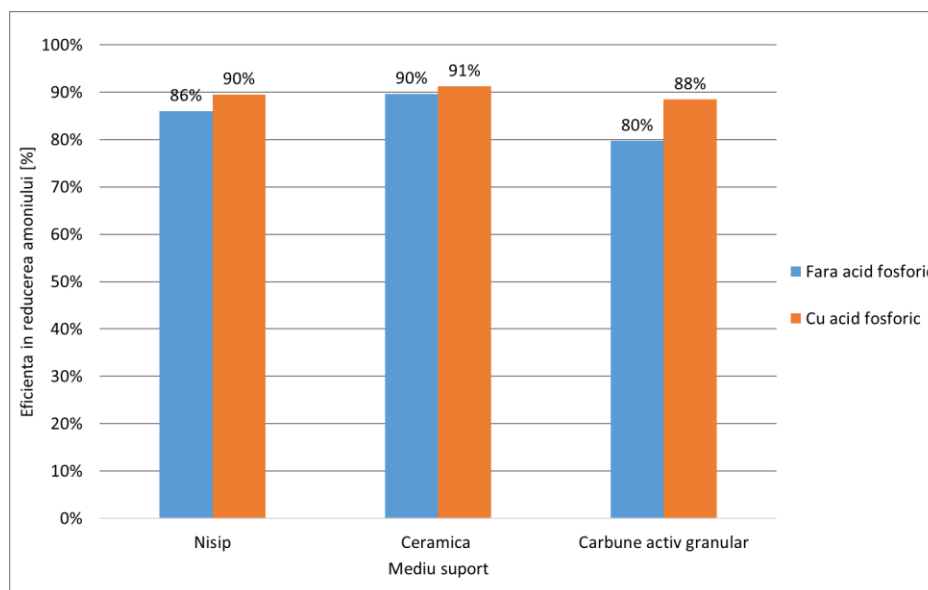


Figura 5.1. Eficienta reducerii concentratiei de amoniu in functie de mediul suport utilizat – faza III.

Comparand rezultatele obtinute privind eficientele procesului biologic in reducerea amoniului pentru functionarea normala si functionarea cu adaugare de acid fosforic, se observa ca se obtin eficiente similare in ambele cazuri, cu o mica exceptie, se observa o mica crestere a eficientei reducerii amoniului in cazul adaugarii de acid fosforic.

In figurile urmatoare este prezentata variatia concentratiei amoniului in stratul filtrant in faza III, cand in biofiltru se introduce apa bruta cu o concentratie a amoniului de de aproximativ 5 mg/l si cu un debit constant de 20/h.

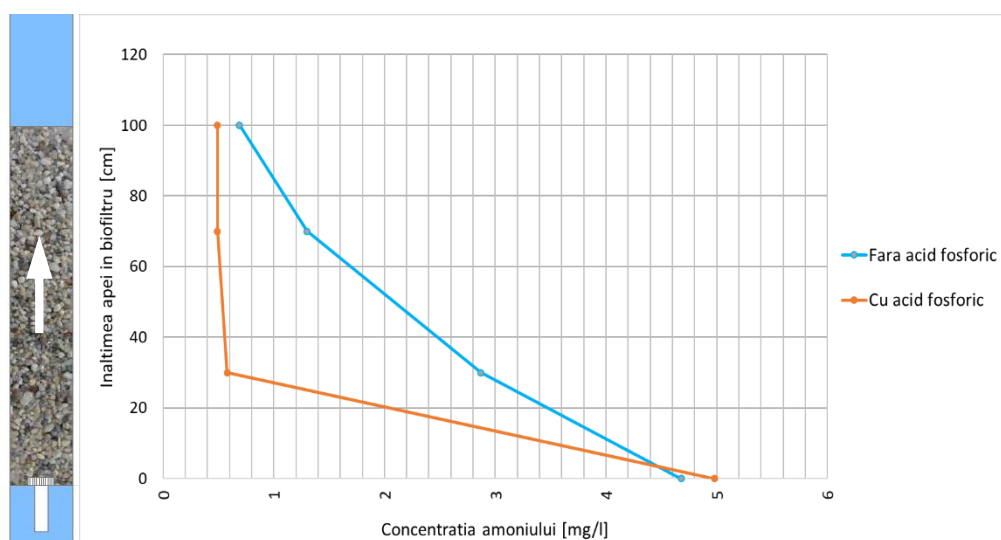


Figura 5.2. Variatia concentratiei amoniului in biofiltru cu nisip in faza III.

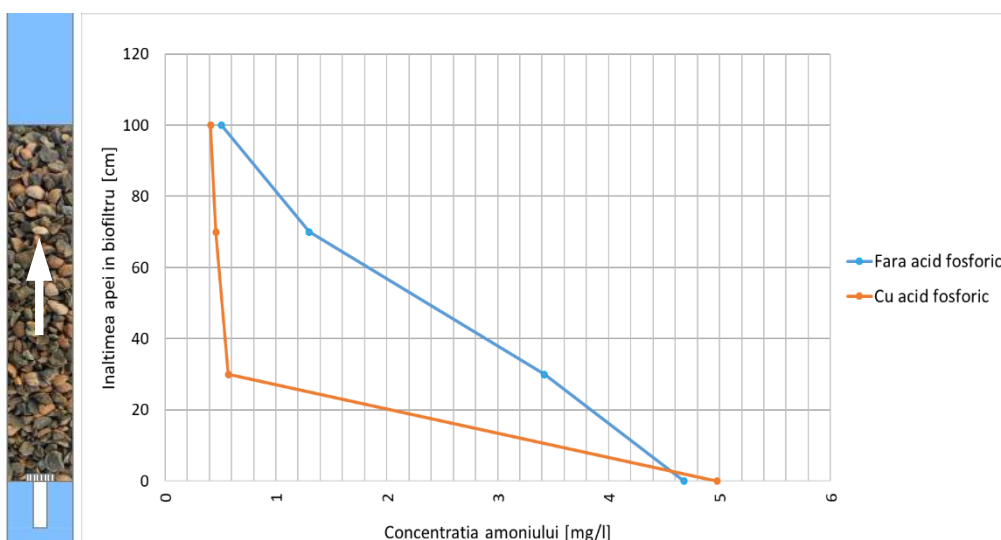


Figura 5.3. Variatia concentratiei amoniului in biofiltru cu granule ceramice in faza III.

Se poate observa in figurile anterioare ca, in cazul ambelor medii suport utilizate, concentratia amoniului in biofiltre variaza aproximativ constant pentru apa bruta fara adaugare de acid fosforic, dar in cazul apei brute cu adaugare de acid fosforic, fosforul este consumat in primii centimetri ai stratului filtrant (zona de prim contact), zona in care concentratia amoniului scade brusc, iar apoi se mentine aproximativ constanta pana la iesirea din biofiltru. In cazul introducerii fractionare a acidului fosforic pe inaltimea stratului filtrant, este posibil ca biomasa atasata sa fie stimulata mai bine, ceea ce ar conduce la o eficienta si mai buna a biofiltrului in retinerea amoniului.

6 Concluzii generale

Prezentul raport de cercetare a urmarit determinarea eficientei biofiltrelor in reducerea concentratiei de amoniu din apa bruta in functie de mediul suport utilizat si determinarea variatiei concentratiei amoniului pe inaltimea stratului filtrant. Acestea sunt descrise succint in cele ce urmeaza.

Conform rezultatelor obtinute in urma realizarii testelor experimentale se pot afirma urmatoarele:

- Procesul de nitrificare biologica a functionat pe parcursul ciclurilor experimentale, avand in vedere ca s-a constatat o reducere a concentratiei de amoniu concomitent cu o crestere a concentratiei de azotati in apa tratata;
- In toate testele din cele trei faze, concentratia amoniului este redusa cel mai bine in stratul inferior, rezultand ca cea mai activa zona din biofiltru este reprezentata de zona de prim contact;
- Biofiltrele ce utilizeaza ca mediu suport ceramica au cea mai mare eficienta (peste 90%) in reducerea amoniului, pentru toate concentratiile amoniului din apa bruta introdusa in biofiltru;
- Procesul biologic este afectat de reducerea timpului de contact dintre apa si biomasa atasata:
 - Pentru biofiltrele cu granule ceramice, la debite de 20 l/h (cand timpul de contact este mai mare) si concentratii reduse (1.76 mg/l), amoniul a fost redus sub limita maxim admisibila conform Legii 458/2002, iar la concentratii medii (4.68 mg/l) si mari (10.69 mg/l) se apropie de limita la mai putin de 0.1 mg/l. La debite de 35 l/h (cand timpul de contact este mai mare), amoniul este redus aproape (la o diferenta de sub 0.15 mg/l) de limita maxim admisibila conform legii 458/2002, in cazul unor concentratii de 2.81 mg/l, iar in cazul unor concentratii de 5.15 si 11.03 mg/l, amoniul este redusa pana la sub 2 mg/l
 - La debite reduse, cand timpul de contact este mai mare, biofiltrele ce utilizeaza ca mediu suport nisip au eficiente mai bune fata de biofiltrul cu carbune activ granular, dar la debite mari, cand creste viteza de filtrare si scade timpul de contact, eficientele acestora scad si sunt sub eficientele obtinute pentru biofiltrul cu carbune activ granular;
 - La debite mari, cand timpul de contact este mai redus, biofiltrele ce utilizeaza ca mediu suport carbune activ granular, au eficiente mai bune fata de biofiltrul cu nisip, dar pe masura ce concentratia amoniului in apa creste, eficienta scade.
- Eficienta procesul biologic nu este imbunatatita semnificativ prin adaugarea de nutrienti, dar in cazul adaugarii de nutrienti (acid fosforic), se observa ca amoniul este redus in stratul inferior pana aproape de limita maxim admisibila conform legii 458/2002, dupa care se mentine aproximativ constant pana la iesirea din biofiltru. Este posibil ca biomasa atasata sa fie stimulata mai bine in cazul introducerii fractionate a acidului fosforic pe inaltimea stratului filtrant, ceea ce ar conduce la o eficienta si mai buna a biofiltrului in retinerea amoniului.

7 Bibliografie

- [1] Degremont, *Water treatment handbook, Sixth edition*, 1991.
- [2] Bouwer E. J. and Crowe P. B., *Biological processes in drinking water treatment*, AWWA 82-93, 1988.
- [3] Lipponen M. T., Suutari M. H. and Martikainen P. J., *Occurrence of nitrifying bacteria and nitrification in Finnish drinking water distribution systems*, Water Research 36, p 4319-4329, 2002.
- [4] Han M., Zhao Z. W., Gao W. and Cui F. Y., *Study on the factors affecting simultaneous removal of ammonium ion and manganese by pilot-scale biological aerated filter (BAF) for drinking water pre-treatment*, Bioresource Technology 145, p 17–24, 2013.
- [5] Yan A. C., Dong L., Yuwen L., Yahong L., Huiping Z. and Jie Z., *Effective start-up biofiltration method for Fe, Mn, and ammonium ion removal and bacterial community*, Bioresource Technology 176, 2015.
- [6] Jianyin H., *Removing ammonium from water and wastewater using cost-effective adsorbents*, Vol.63 p 174-197, Journal of Environmental Sciences, 2018.
- [7] Grady C. P. L. Jr., Daigger G. T., Love N. G. and Filipe C. D. M., *Biological Wastewater Treatment Third Edition*, IWA, 2011.
- [8] Chermisinoff N. P., *Biotechnology for waste and wastewater treatment*, 1996.
- [9] Calin C., *Procese si tehnologii pentru controlul continutului de azot din apa*, 2011.
- [10] Xu L., Campos L. A. C., Canales M. and Ciric L., *Drinking water biofiltration: Behaviour of antibiotic resistance genes and the association with bacterial community*, Water Research, 2020.

Surse de informare:

<http://www.anelis.ro/>

<http://www.e-nformation.ro/>

<http://www.sciencedirect.com/>

<https://www.lenntech.com/>