



ROMÂNIA

MINISTERUL EDUCAȚIEI

UNIVERSITATEA „VASILE ALECSANDRI” DIN BACĂU

Calea Mărășești, Nr. 157, Bacău, 600115
Tel. +40-234-542411, fax +40-234-545753
www.ub.ro; e-mail:rector@ub.ro



REZUMAT AL TEZEI DE DOCTORAT:

STUDII ȘI CERCETĂRI CU PRIVIRE LA UTILIZAREA MEMBRANELOR ORGANICE DIN FIBRE GOALE DIN PAN, ÎN PROCESUL DE ULTRAFILTRARE AL APEI

Ing. Laurențiu Tataru

Coordonator științific:

Prof. univ. dr. ing. Dr. h. c. Valentin NEDEFF

Universitatea „Vasile Alecsandri” din Bacău

Membru corespondent ASAS „Gh. Ionescu Șișești” București

Bacău-2023

Cuprins

Introducere	4
1. NECESITATEA UTILIZĂRII TEHNOLOGIEI AVANSATE DE FILTRARE A APEI.....	4
2. STADIUL ACTUAL PRIVIND UTILIZAREA MEMBRANELOR ORGANICE DIN FIBRE GOALE ÎN PROCESELE DE ULTRAFILTRARE A APELOR UZATE.....	4
3. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII.....	5
Scopul cercetării.....	5
Obiectivele cercetării	5
Structura tezei de doctorat	5
4. PREZENTAREA BAZEI TEHNICE DIN CADRUL CERCETĂRII	6
Substanțe utilizate în cadrul studiului proceselor de ultrafiltrare a apelor uzate	6
Acidul humic,.....	6
Bentonita,	6
Peptona,.....	6
Drojdia alimentară.	6
Aparatura utilizată în cadrul cercetării.....	6
pH metrul 3210 WTW	6
Conductivimetru Cond 3210 WTW	6
Turbidimetru Turb 430 WTW	6
Multi 9420 WTW.....	6
Oxigenometrul Oxi 3210 WTW	6
-Balanța analitică Kern	6
Spectofotometrul DR 3900	6
Termostatul de uscare HACK LANGE LT 200	6
Densimetrul DMA 35	6
Agitatorul JLT 6 Flocculation Tester.	6
Soft-uri de analiză a rezultatelor experimentale obținute în urma proceselor de ultrafiltrare a apelor uzate	6
Origin Pro.....	6
Excell.	6
5. PREZENTAREA REZULTATELOR OBTINUTE ÎN URMA EFECTUĂRII EXPERIMENTELOR	7

Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu acid humic la diferiți parametri de lucru	7
Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu bentonită prin monitorizarea parametrilor principali ai instalației MP 90	8
Rezultate obținute în urma experimentelor de ultrafiltrare a apei uzate, conținând diferite concentrații de drojdie.....	8
Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu peptonă la o concentrație de 30 g/L de apă	10
Rezultate obținute în urma efectuării experimentelor de ultrafiltrare a soluției care conține metale grele și alte elemente și substanțe poluante periculoase, prin intermediul membranei organice din fibre goale din PAN	10
Analiza probei inițiale.....	10
Efectuarea procesului de ultrafiltrare a apei uzate cu conținut de metale grele și alte substanțe poluante periculoase pe o durată de timp de 300 de minute	11
6. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE ULTRAFILTRARE A APEI PRIN INTERMEDIUL MEMBRANEI ORGANICE DIN PAN.....	19
CONCLUZII GENERALE.....	28
A. Concluzii referitoare la importanța temei de cercetare aleasă	28
B. Concluzii referitoare la oportunitatea dezvoltării tehnologiilor cu membrane organice de ultrafiltrare ținându-se cont de rezultatele obținute	28
C. Concluzii referitoare la aspectul original al lucrării	29
Bibliografie selectivă	29

Introducere

După consultarea literaturii de specialitate (cărți, reviste, articole, site-uri) a rezultat un material sintetizat și prezentat pe parcursul a mai multor pagini. În această parte a tezei sunt prezentate o parte din realizările cercetătorilor în domeniul tezei de doctorat și nu reprezintă o contribuție proprie a autorului (sunt citate corespunzător).

1. NECESITATEA UTILIZĂRII TEHNOLOGIEI AVANSATE DE FILTRARE A APEI

Necesitatea utilizării membranelor de ultrafiltrare este importantă deoarece prin acestea se poate oferi apei o calitate mult mai mare față de alte procedee dar totodată se pot recupera materiile organice prin separare de alte faze. Deși murdărirea membranei este cel mai mare dezavantaj totuși unele studii prezentate în literatura de specialitate au arătat că doar printr-o spălare aparent simplă se poate recupera fluxul de permeat până la 95 %, ceea ce face ca procesele de ultrafiltrare prin membrană să fie destul de eficiente [1].

2. STADIUL ACTUAL PRIVIND UTILIZAREA MEMBRANELOR ORGANICE DIN FIBRE GOALE ÎN PROCESSELE DE ULTRAFILTRARE A APELOR UZATE

În România, dezvoltarea tehnologiei membranelor polimerice în vederea ultrafiltrării apelor uzate cuprinde un domeniu relativ restrâns de cercetare, întrucât literatura de specialitate încorporează un volum redus de lucrări practice, cele mai multe studii bazându-se pe purificarea apelor uzate din industrii precum farmacia, medicina, industria alimentară, textilă etc. și mai puțin pe desalinizare (mai mult în experimentele de laborator).

La nivel internațional s-au efectuat o multitudine de cercetări privind ultrafiltrarea apei uzate, precum:

- Utilizarea membranelor organice din fibre goale în industria laptelui,*
- Utilizarea membranelor organice din fibre goale în industria farmaceutică,*
- Reținerea pesticidelor din uleiurile de citrice,*
- Utilizarea membranelor din fibre goale în industria sucurilor,*
- Cercetări privind reținerea dextranului din apele uzate,*
- Cercetări privind reținerea drojdiei din apele uzate,*
- Cercetări privind reținerea bentonitei din apele uzate,*

- Cercetări privind reținerea acidului humic din apele uzate,
- Cercetări privind separarea pesticidelor din uleiurile de citrice,
- Cercetări privind reținerea algelor din apele uzate,
- Cercetări privind reținerea ibuprofenului din apele uzate.

3. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Scopul cercetării

Scopul cercetării a fost acela de a scoate în evidență avantajele utilizării tehnologiei cu membrane organice din PAN în procesul de ultrafiltrare al apei și mai ales la îmbunătățirea și adăugarea unor contribuții în literatura de specialitate ca răspuns la creșterea cerințelor care să acopere necesarul de apă.

Pe de altă parte, cercetarea a avut în vedere studierea rezultatelor obținute de către diferiți autori, prezentate în literatura de specialitate iar aspectul principal a fost acela de a compara oarecum rezultatele obținute pentru a vedea în ce măsură, o membrană organică din PAN (poliacrilonitril) poate atinge cea mai mare eficiență.

Obiectivele cercetării

În primul rând, pentru îndeplinirea unei serii de obiective s-a luat în calcul urmărirea și parcurgerea unei scheme de cercetare, care să atingă amănunțit fiecare pas în parte, cuprinzând pe tot parcursul studiului, informații care să vizeze membrana din PAN de la faza de proiectare până la cea de exploatare.

Structura tezei de doctorat

Lucrarea de față este structurată pe mai multe capitole în care sunt prezentate, în prim plan noțiuni generale referitoare la existența apei, necesitatea acesteia pentru satisfacerea nevoilor de consum, importanța gestionării precum și soluții și metode de purificare a acesteia în vederea păstrării unui echilibru în relația om-mediul înconjurător.

Rezultatele care s-au obținut în urma testelor efectuate de-a lungul cercetării ar putea confirma avantajele menționate mai sus, îmbunătățind astfel multitudinea de studii și cercetări din literatura de specialitate, referitor la tehnologia de purificare a apelor uzate prin membrane de filtrare.

4. PREZENTAREA BAZEI TEHNICE DIN CADRUL CERCETĂRII

Instalația experimentală utilizată în cadrul cercetării



Fig. 1. Instalația pilot de ultrafiltrare MP 90 [1].

Substanțe utilizate în cadrul studiului proceselor de ultrafiltrare a apelor uzate

- Acidul humic,
- Bentonita,
- Peptona,
- Drojdia alimentară.

Aparatura utilizată în cadrul cercetării

- pH metrul 3210 WTW,
- Conductivimetru Cond 3210 WTW,
- Turbidimetru Turb 430 WTW,
- Multi 9420 WTW,
- Oxigenometrul Oxi 3210 WTW,
- Balanța analitică Kern,
- Spectrofotometrul DR 3900,
- Termostatul de uscare HACK LANGE LT 200
- Densimetrul DMA 35,
- Agitatorul JLT 6 Flocculation Tester.

Soft-uri de analiză a rezultatelor experimentale obținute în urma proceselor de ultrafiltrare a apelor uzate

- Origin Pro,
- Excell.

5. PREZENTAREA REZULTATELOR OBTINUTE ÎN URMA EFECTUĂRII EXPERIMENTELOR

Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu acid humic la diferiți parametri de lucru

Figura 2 arată variația permeatului obținut pe durata intervalului de 300 de minute de experiment cu acid humic.

După primele 90 de minute, volumul de permeat a scăzut mai mult, respectiv cu 5 litri, urmând mai apoi ca acesta să scadă mai puțin, întrucât după minutele 120, volumul de permeat înregistrat a scăzut cu doar un litru după fiecare 30 de minute de funcționare a membranei, așa cum este arătat în minutele 180-300 (fig. 2).

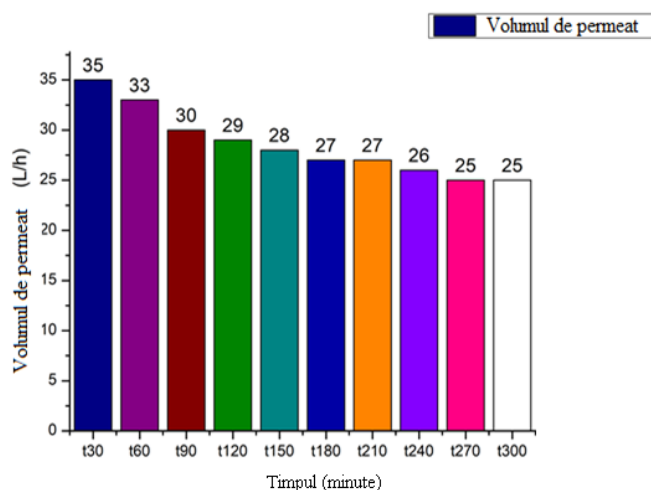


Fig. 2. Variația volumului de permeat în timp.

În urma analizei rezultatelor obținute în decursul a 300 de minute de filtrare a apei uzate care conținea acid humic, se poate trage concluzia că rata de retenție a depășit 37 % (fig. 3).

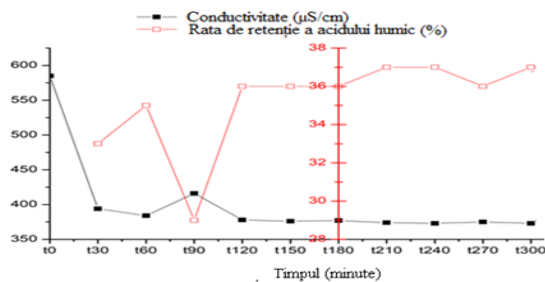


Fig. 3. Reprezentarea grafică a ratei de retenție în funcție de conductivitatea determinată.

Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu bentonită prin monitorizarea parametrilor principali ai instalației MP 90

În figura 4 se observă o ușoară scădere a capacității de reținere a bentonitei de către membrană. Cu alte cuvinte fenomenul de colmatare începe să apară încă din primele minute ale procesului datorită concentrației mari de bentonită introdusă în rezervorul de alimentare.

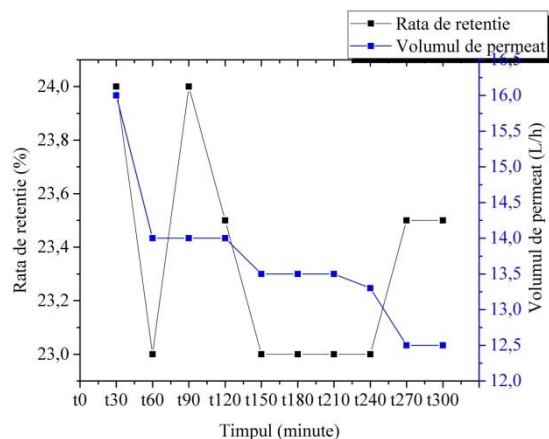


Fig. 4. Rata de retenție a bentonitei comparativ cu volumul de permeat obținut în timp.

Rezultate obținute în urma experimentelor de ultrafiltrare a apei uzate, conținând diferite concentrații de drojdie

În cazul presiunii transmembranare de 1 bar, creșterea volumului de permeat, la concentrația de 6 g de drojdie/L se datorează creșterii presiunii concentratului care forțează lichidul să pătrundă în membrană, favorizând totodată și colmatarea membranei (fig.5).

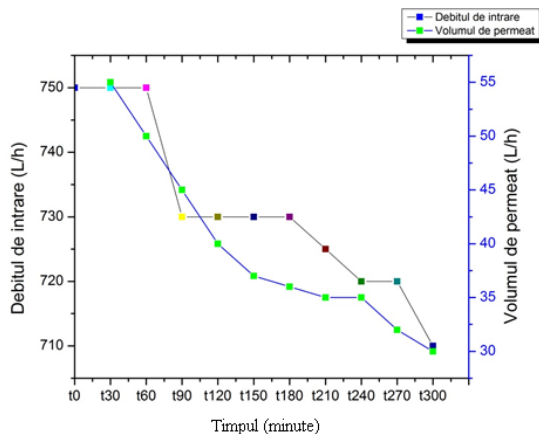


Fig. 5. Volumul de permeat și debitul de intrare obținute la o presiune transmembranară de 1 bar.

O dată cu scăderea presiunii transmembranare la 0,85 bari, a scăzut și volumul de permeat însă cu mici fluctuații. Astfel că în cazul unei concentrații de drojdie de 5 g/L, de la valoarea de 38 L/h, permeatul a ajuns în final să înregistreze valoarea de 27 L/h, parcurgându-se același interval de timp (fig. 6).

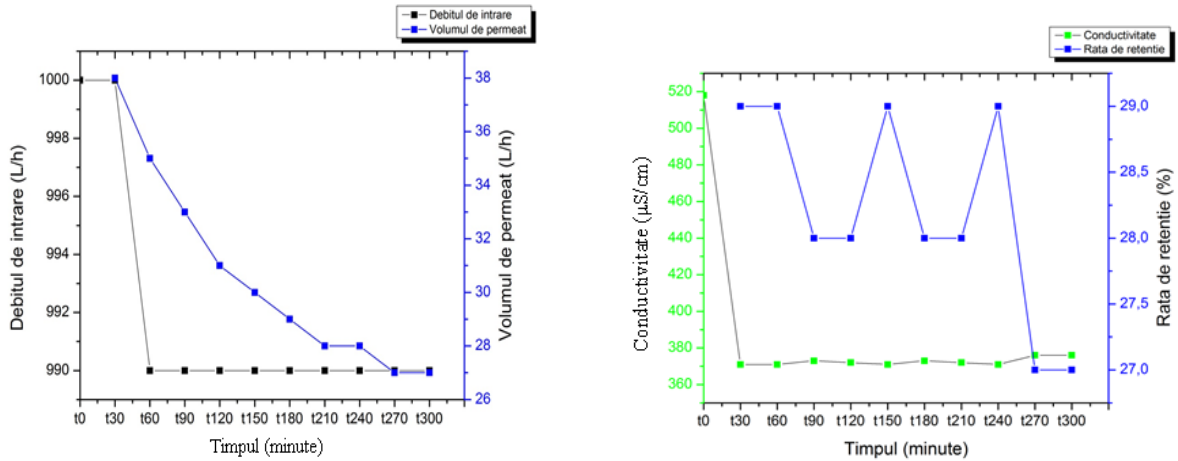


Fig. 6. a) Variația lichidului de intrare și a volumului de permeat la o presiune transmembranară de 0,85 bari, b) Rata de retenție și conductivitatea în timpul ultrafiltrării la presiunea transmembranară de 0,85 bari.

Volumul de lichid a rămas în totalitate constant pe durata experimentului, în cazul experimentului în care s-a utilizat o concentrație de 6 grame de drojdie, la presiunea transmembranară de 0,95 bari (fig. 7).

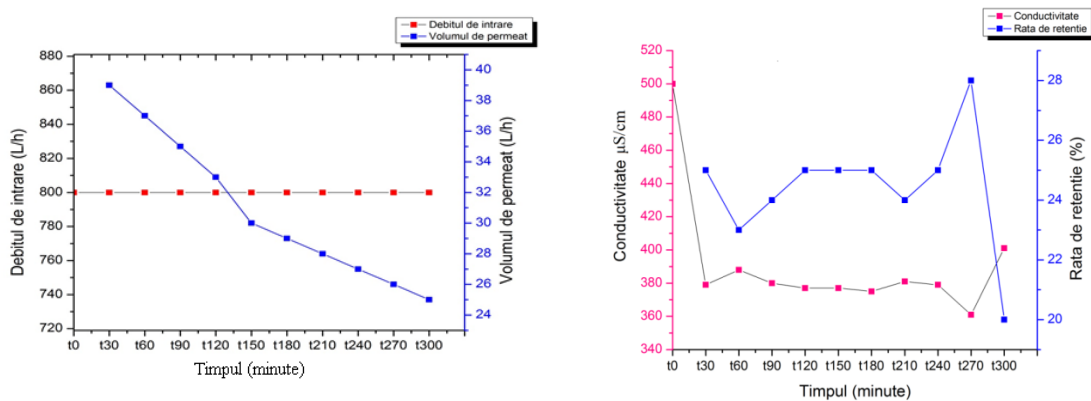


Fig. 7. a) Menținerea constantă a debitului de lichid prin modulul cu membrană, la presiunea transmembranară de 0,95 bari, b) Reținerea drojdiei alimentare de către membrana de ultrafiltrare, la presiunea transmembranară de 0,95 bari.

Rezultate obținute în urma efectuării procesului de ultrafiltrare a soluției cu peptonă la o concentrație de 30 g/L de apă

În figura 8 este prezentată variația permeatului obținut de-a lungul a 300 de minute, fiind raportată atât la timpul necesar efectuării experimentului cât și la fluxul de lichid care a intrat în membrană în timpul stabilit.

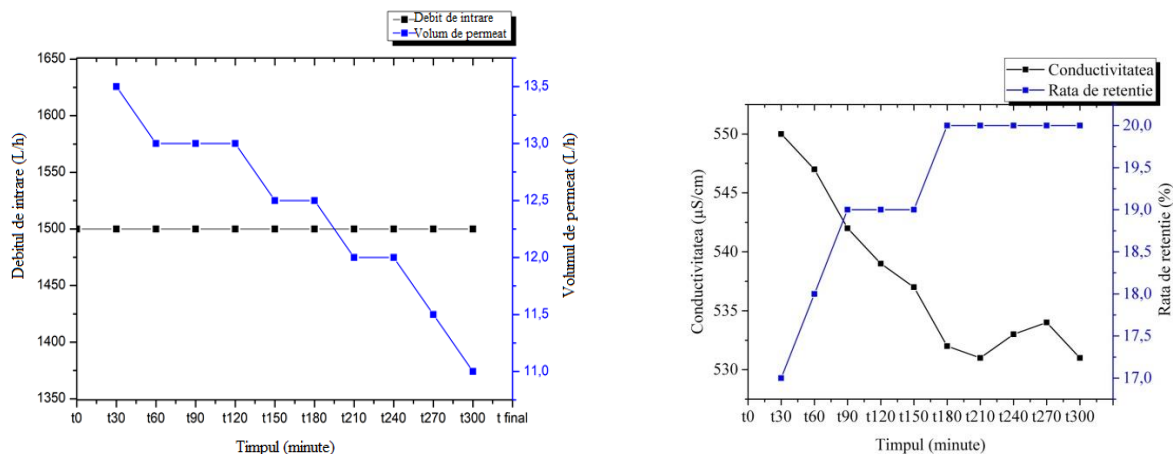


Fig. 8. a) Scăderea permeatului la debit constant al lichidului de intrare în modul, b) Eficiența de reținere a peptonei de către membrana din PAN.

În urma analizei tuturor probelor recoltate de-a lungul experimentului, rata de retenție a membranei s-a dovedit a fi în creștere (fig. 8).

Rezultate obținute în urma efectuării experimentelor de ultrafiltrare a soluției care conține metale grele și alte elemente și substanțe poluante periculoase, prin intermediul membranei organice din fibre goale din PAN

Analiza probei inițiale

În figura 9 este prezentată concentrația pentru fiecare din cele 14 elemente studiate în faza inițială a procesului, proba de apă fiind omogenizată complet prin recirculare, folosind pompa instalației pilot de ultrafiltrare.

Inițial a fost necesară prelevarea unei probe din rezervorul de alimentare pentru a se determina diferența concentrației de metale grele înainte și în timpul procesului de ultrafiltrare, ca urmare a stabilirii eficienței membranei organice din PAN.

Din proba prelevată s-au determinat 14 elemente și substanțe folosind Spectrofotometrul DR 3900 iar rezultatele obținute au fost comparate ulterior cu cele înregistrate din probele de permeat.

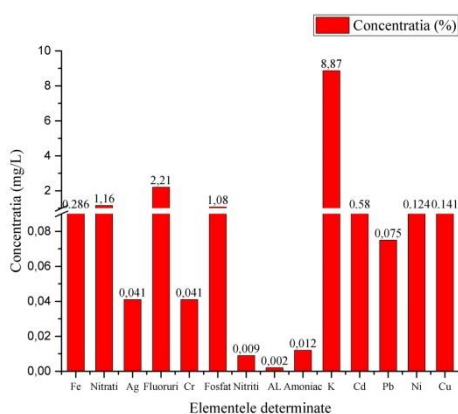


Fig. 9. Analiza elementelor și substanțelor chimice prezente în apa uzată, în faza inițială.

Efectuarea procesului de ultrafiltrare a apei uzate cu conținut de metale grele și alte substanțe poluante periculoase pe o durată de timp de 300 de minute

În figura 10 sunt prezentate concentrațiile aluminiului și amoniacului atât înainte de începerea experimentului cât și la interval de două ore.

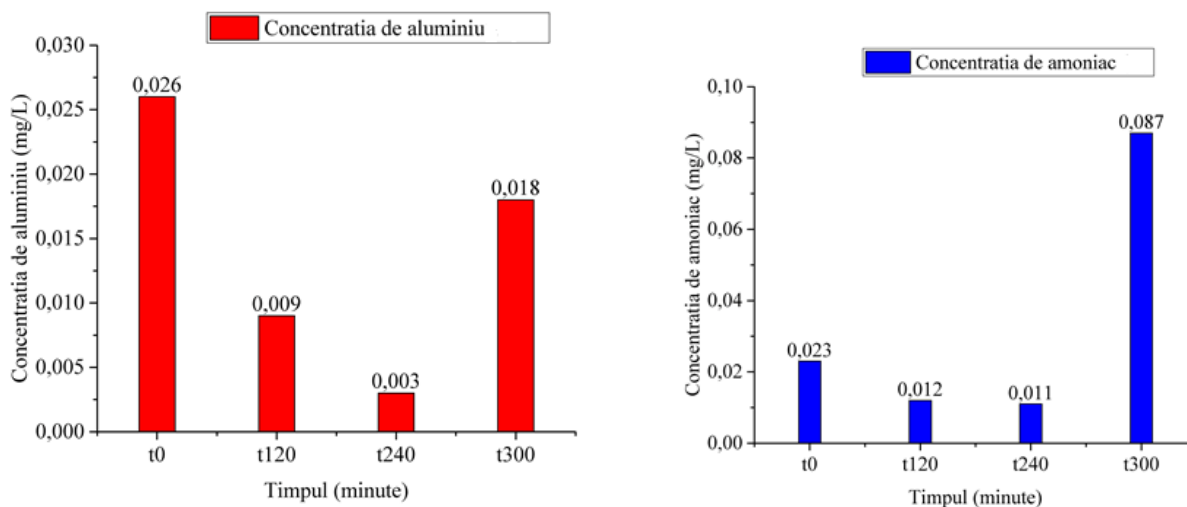


Fig. 10. Valorile concentrației de aluminiu și amoniac din probele de permeat.

În figura 10 se observă că în ambele cazuri, aluminiul și amoniacul pot fi reținute de către membrana din PAN. În cazul aluminiului, la final, concentrația acestuia tinde să scadă față de concentrația din proba inițială.

Figura 11 arată că în permeatul analizat se găsește o concentrație mare de cadmiu. Cu alte cuvinte, membrana nu reține în procent satisfăcător particulele acestui element, adică eficiența membranei din PAN este mică.

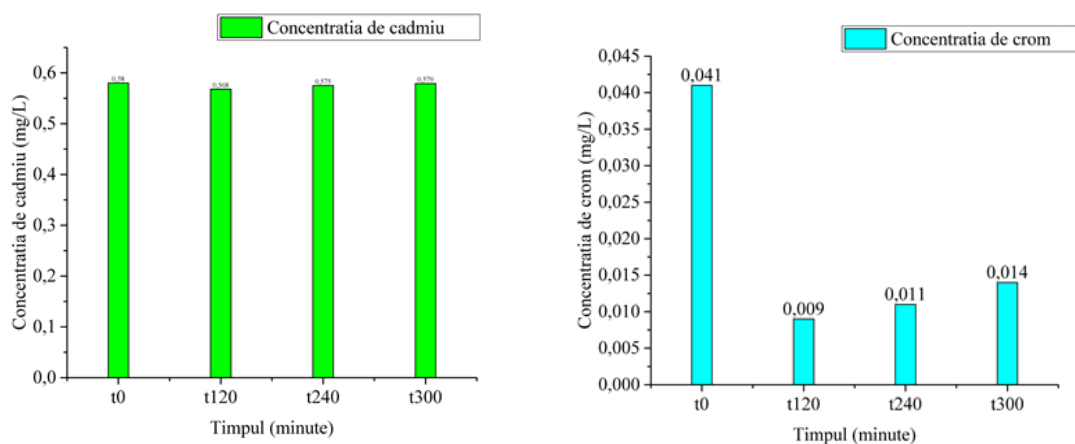


Fig. 11. Valorile concentrațiilor de cadmiu și crom din probele analizate.

Faptul că proba finală arată prezența în concentrație mică a cromului, înseamnă că membrana reduce concentrația particulelor de crom din probe (fig. 11).

În figura 12, cuprul se regăsește în aceeași situație cu cromul. Cuprul a fost reținut pe membrana de ultrafiltrare în concentrație destul de mare, iar calculul eficienței de reținere a acestuia arătând un procent destul de mare.

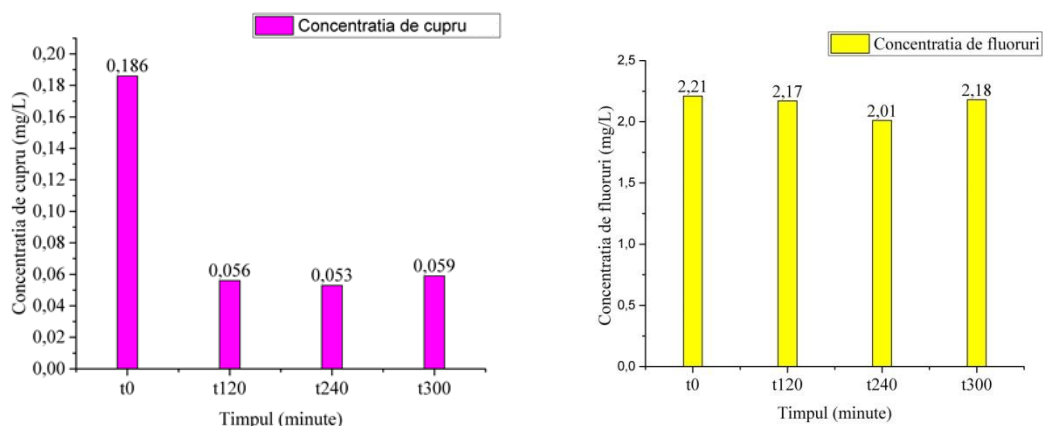


Fig. 12. Concentrația de cupru și fluoruri din probele analizate.

Fluorurile nu pot fi reținute de către membrana din PAN în procent destul de mic (fig. 12). Acest lucru face ca eficiența procesului de ultrafiltrare pentru fluoruri să scadă destul de mult iar această membrană să nu prezinte randament.

În urma analizei probelor de apă cu conținut de fier și plumb, proba de apă uzată înainte de experiment a avut în componența sa o concentrație mare pentru ambele elemente specificate (fig. 13).

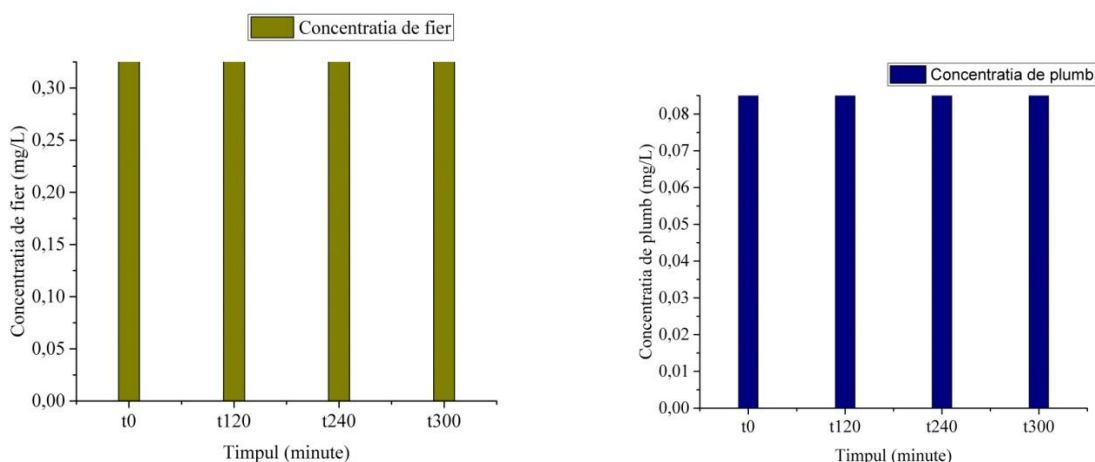


Fig. 13. Concentrația de fier și plumb din apa uzată.

Din figura 13 reiese faptul că fierul a fost reținut pe membrană în procent de aproximativ 98 %, în timp ce plumbul a înregistrat un procent de reținere de doar 4 %.

În figura 14 sunt reprezentate concentrațiile de nichel care s-au regăsit atât în proba de apă înaintea trecerii prin membrană cât și din probele de permeat.

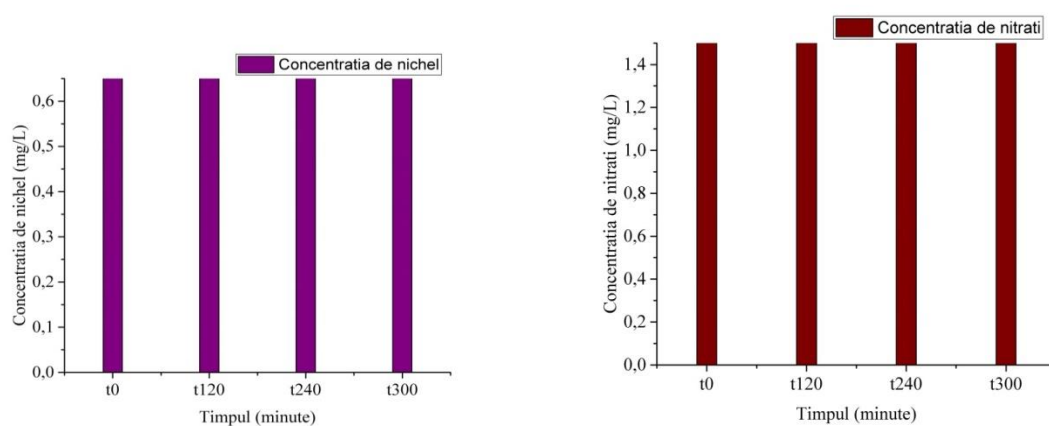


Fig. 14. Concentrația de nichel și nitrați din apa uzată.

Membrana din PAN a reținut destul de bine nichelul, care a aderat pe suprafața membranei. Colmatarea membranei s-a arătat accentuată și în prezența acestui element. Însă membrana din PAN nu poate reține nitrații în procent satisfăcător deoarece aceștia au înregistrat un procent de reținere de doar 17 % (fig. 14).

Utilizarea unei membrane organice din PAN nu este suficient de eficientă acolo unde apele uzate conțin doar nitrați, plumb, fluoruri, cadmiu etc.

Comparativ cu nitrații, valorile înregistrate ale nitriților sunt diferite (fig.15). Astfel că procentul de reținere al nitriților a fost de 85 % comparativ cu doar 17 %, în cazul nitraților (fig. 15).

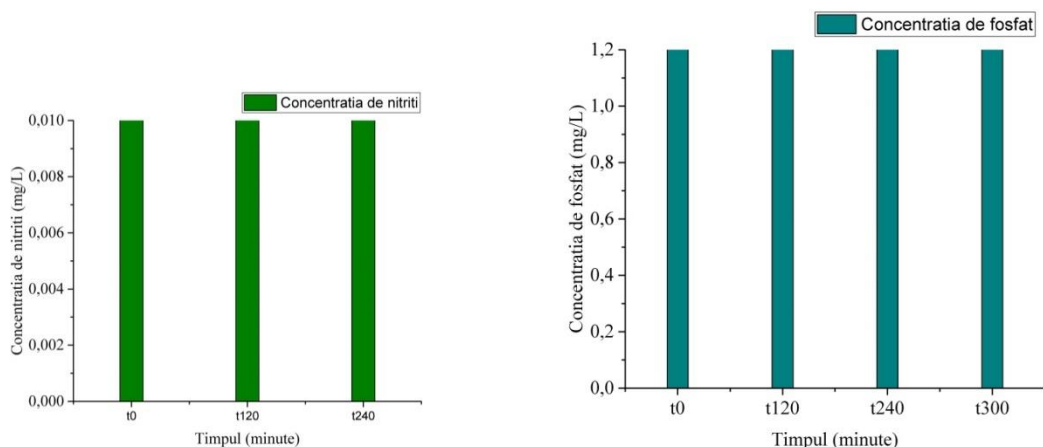


Fig. 15. Concentrația de nitriți și fosfat din apa uzată.

În figura 15, este arătat că fosfatul s-a depus pe membrană, ducând la colmatarea acesteia însă pe durata experimentului, concentrația acestuia în permeat a fost în scădere, înregistrând o creștere a volumului de permeat. Oricum eficiența de reținere, în urma calculelor a arătat un procent de reținere de aproximativ 83 %.

După cum se vede în figura 16, argintul scade în concentrație, în permeat. Acest lucru înseamnă că acesta se acumulează pe suprafața membranei și totodată crește eficiența de reținere în timp.

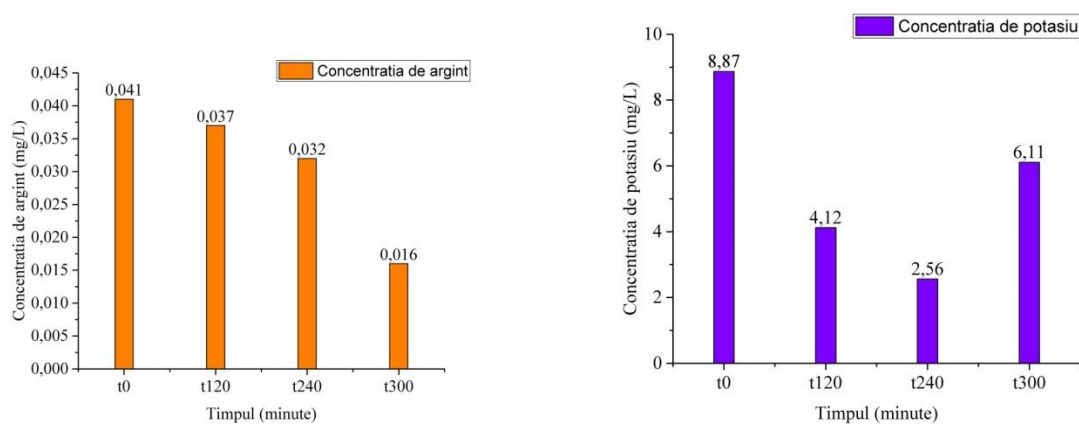


Fig. 16. Concentrația de argint și potasiu din apa uzată.

La fel s-a întâmplat și în cazul potasiului (fig. 16). Potasiul s-a regăsit în apa uzată în concentrație destul de mare.

În primul rând, argintul a fost reținut de către membrană în procent de doar 22 %, eficiența fiind destul de mică, însă potasiul a atins procentul de reținere de 72 %.

Cu alte cuvinte, membrana organică din PAN din fibre goale a reținut destul de bine potasiul, acesta fiind unul din elementele chimice cele mai bine reținute în urma procesului de ultrafiltrare.

Eficiența de reținere a metalelor grele și a altor elemente și substanțe periculoase din apa uzată de către membrana organică din PAN

În figura 17 este prezentată eficiența de reținere, exprimată în procente a celor 14 elemente și substanțe poluante periculoase analizate în timpul procesului de ultrafiltrare cu o membrană organică din PAN, din fibre goale.

Membrana a demonstrat că o parte din metalele care se găsesc în apa uzată prelevată dintr-o sursă pot fi destul de bine respinse în rezervorul de alimentare prin recirculare, împiedicând trecerea prin aceasta în scopul afectării calității permeatului.

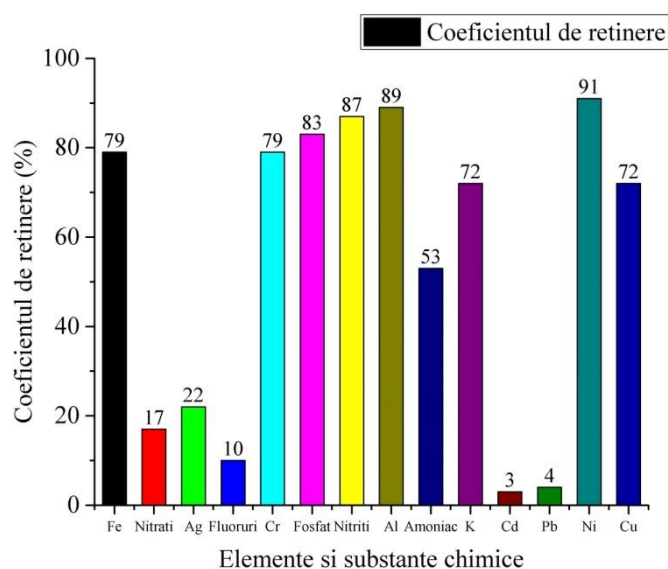


Fig. 17. Randamentul coeficientului de reținere a membranei organice din PAN în reținerea metalelor grele și a altor substanțe poluante și periculoase.

În figura 17 este reprezentat procentul de reținere a celor 14 elemente și substanțe chimice care s-au analizat în timpul experimentului. Așa cum se observă în figură, pentru majoritatea din cele 14 elemente și substanțe, membrana a înregistrat un procent de reținere de peste 50 %, unele din ele aderând pe suprafața de filtrare, altele fiind respinse în apa care s-a recirculat în timpul procesului.

Interpretarea rezultatelor specifice parametrilor, respectiv a presiunii, temperaturii și debitului asupra volumului de permeat obținut din cadrul procesului de ultrafiltrare

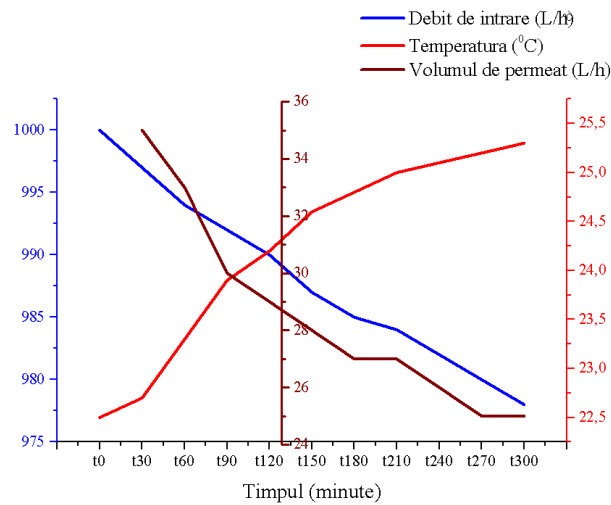


Fig. 18. Media valorilor parametrilor utilizați în procesul de ultrafiltrare utilizând acidul humic.

În figurile 18, 19 și 20 sunt reprezentate mediile debitului de intrare, temperatura și volumul de permeat care s-au înregistrat în procesul de reținere a acidului humic, peptonei și bentonitei.

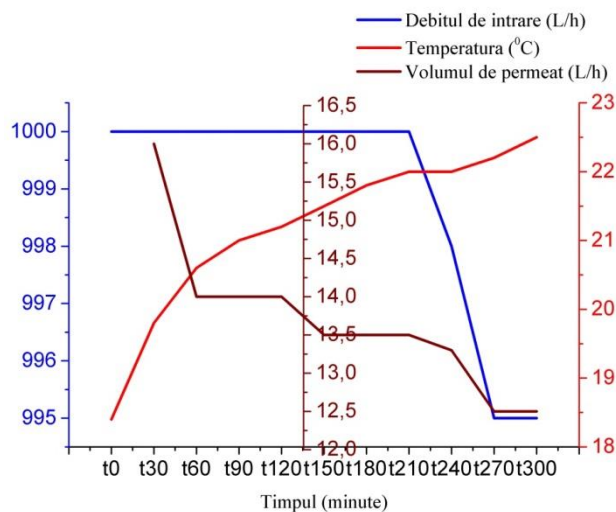


Fig. 19. Media valorilor parametrilor utilizați în procesul de ultrafiltrare utilizând bentonita.

Figurile 18, 19 și 20 descriu parcurgerea a trei experimente iar media valorilor înregistrate au arătat că pentru toate cele trei experimente (acidul humic, bentonita și peptona) volumul de permeat a fost în scădere.

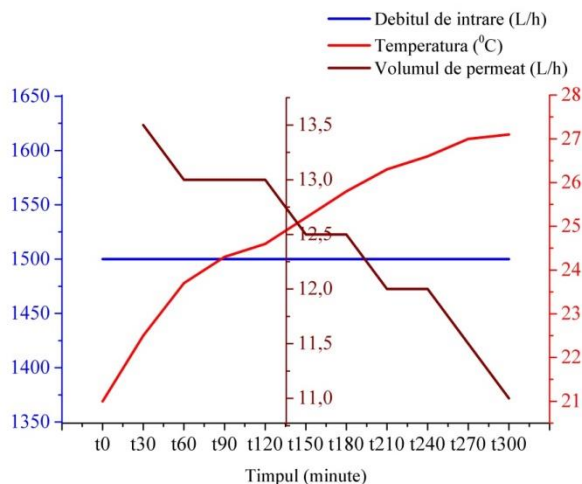


Fig. 20. Media valorilor parametrilor utilizați în procesul de ultrafiltrare utilizând peptona.

La fel și debitul lichidului la intrarea în modul a înregistrat o ușoară scădere. Acest lucru s-a produs ca urmare a înfundării porilor membranei cu particule ale substanțelor utilizate în cadrul procesului.

În figura 21 sunt reprezentate grafic mediile celor trei presiuni întâlnite în proces, după efectuarea a trei experimente în care s-a utilizat drojdia alimentară la presiune transmembranară de 0,85, 0,95 respectiv 1 bar.

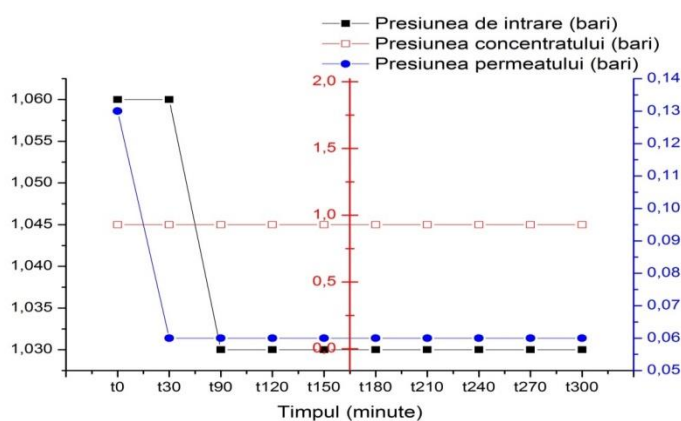


Fig. 21. Media presiunilor specifice fiecărui experiment efectuat, utilizând drojdia.

Presiunile au rămas constante în toate cele trei experimente pe bază de drojdie, înregistrând mici fluctuații la începutul experimentului, ca urmare a acomodării membranei în vederea reținerii drojdiei.

În continuare, pentru acid humic, bentonită și peptonă, temperatura a înregistrat variații asemănătoare, (fig. 22).

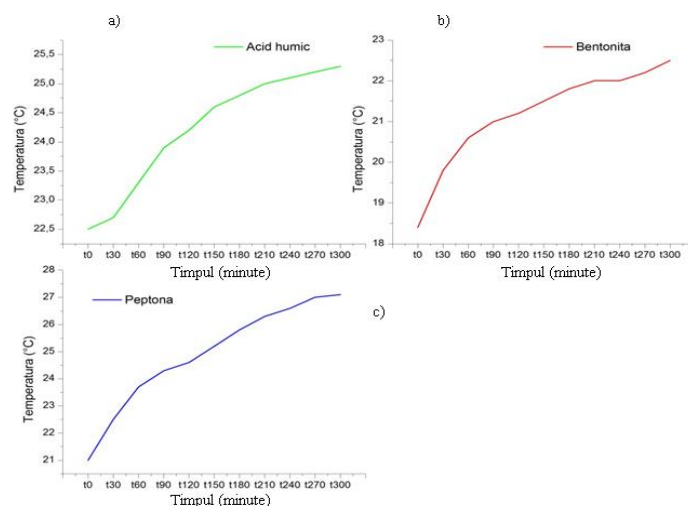


Fig. 22. Media temperaturii din cadrul procesului de ultrafiltrare în care s-au utilizat: acidul humic (a), bentonita (b) și peptona (c).

Cel mai mare interval al temperaturii înregistrate de-a lungul experimentului a fost vizibil în cazul peptonei, acesta fiind 21-27 °C (fig. 22) iar pentru acid humic intervalul de valori înregistrate a fost 22,5-25 °C.

În figura 23 este prezentat volumul de permeat obținut în urma a trei experimente: acid humic, bentonită și peptonă, pe durata a 300 de minute de experiment, pentru fiecare substanță în parte.

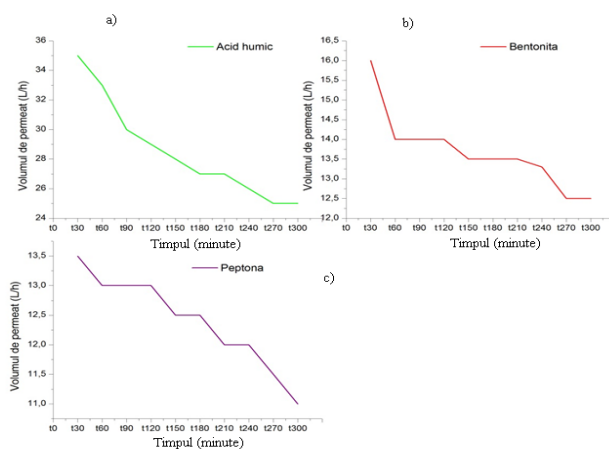


Fig. 23. Comparația volumului de permeat obținut în urma experimentelor cu acid humic (a), bentonită (b) și peptonă (c).

Pe durata experimentelor cu drojdie, acid humic, bentonită și peptonă s-a ținut cont în special de procentul de reținere a acestora, ca urmare a rezistenței mecanice precum și a altor avantaje ale membranei de ultrafiltrare.

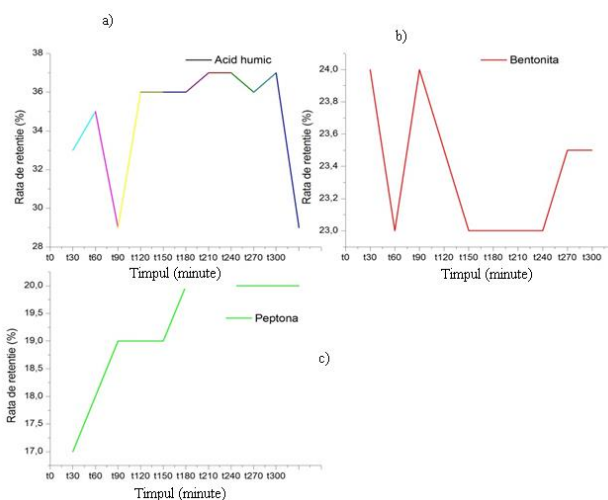


Fig. 24. Rata de retenție calculată pentru acidul humic (a), bentonită (b) și peptonă (c).

În cazul acidului humic, procesul de ultrafiltrare s-a desfășurat în bune condiții, înregistrându-se valori ale reținerii particulelor în procent destul de mare. Fluctuațiile înregistrate de-a lungul experimentului (fig. 24a) au arătat că membrana nu a avut o deteriorare severă a fibrelor sau o înfundare majoră a porilor acesteia.

În figura 25 este prezentată rata de retenție a drojdiei la diferite presiuni transmembranare de lucru, respectiv 0,85; 0,95 și 1 bar.

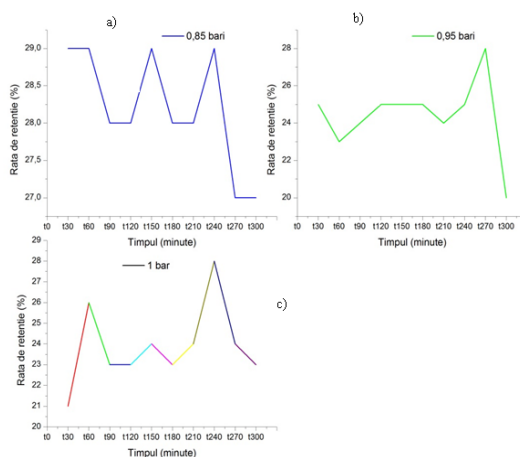


Fig. 25. Reținerea drojdiei de către membrană, la diferite presiuni transmembranare: a) 0,85 bari, b) 0,95 bari, c) 1 bar.

După cum se observă în figura 25, presiunea transmembranară contează și influențează procesul de ultrafiltrare. Astfel că la presiunea transmembranară de 0,85 bari, fluctuațiile valorilor înregistrate au fost cele mai mari, însă s-au atins cele mai mari valori. La 1 bar, aceste fluctuații au persistat în intervalul 23-25 % dar spre final s-a atins o valoare destul de bună, respectiv 28 %.

Pentru toate cele 4 substanțe utilizate în cadrul cercetării, s-a determinat media ratei de retenție, respectiv media procentelor pentru fiecare substanță în parte (fig. 26).

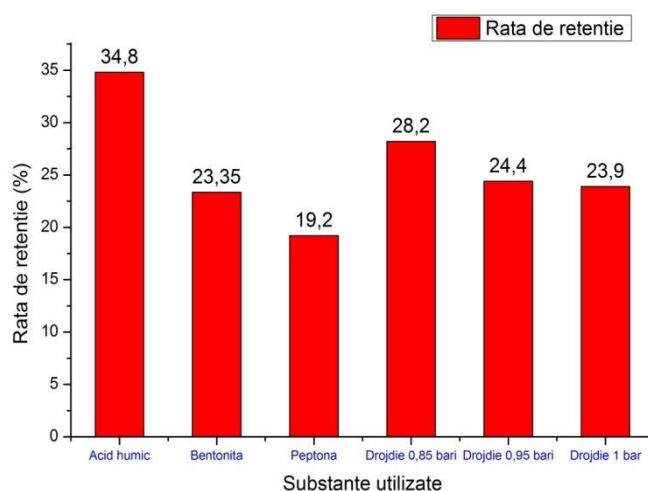


Fig. 26. Media ratei de retenție pentru toate substanțele utilizate în cadrul cercetării.

După cum se observă în figura 26, predominant este acidul humic, respectiv media acestuia a înregistrat valoarea 34,8 %. Acest procent a fost urmat imediat de drojdie, la presiunea transmembranară de 0,85 bari iar în final bentonita și peptona.

S-a constatat că datorită particulelor foarte mici ale peptonei, aceasta nu a fost reținută pe membrană în concentrație mare însă, probabil, în combinație cu acidul humic sau drojdia, aceasta ar putea fi mai ușor reținută pe suprafața de lucru a membranei.

Modelarea matematică a procesului de ultrafiltrare a apei uzate prin intermediul membranei organice din PAN

Pentru a înțelege cât mai bine un anumit proces, fie la nivel de laborator cât și la nivel industrial, este necesară adoptarea unor determinări experimentale care să expună în timp real activitățile întregului proces [3-6].

În lucrarea de față, generarea modelelor matematice pentru procesul de ultrafiltrare a apei uzate s-a efectuat prin intermediul soft-ului TableCurve 3D, soft ce poate transforma valori obținute ale parametrilor din proces, în suprafețe, prin reprezentare grafică [7].

S-a considerat a fi necesar să se creeze modele matematice pentru procesul de ultrafiltrare a apei uzate prin intermediul membranei organice din fibre goale din PAN deoarece a fost necesar să se monitorizeze legătura dintre parametrii de intrare în proces (debit de intrare, presiune), parametri obținuți de-a lungul procesului (temperatura) precum și parametrii de ieșire (volumul de permeat) de-a lungul experimentelor care s-au efectuat în această lucrare.

Pentru a realiza suprafețe 3D precum și ecuații matematice a fost utilizat soft-ul TableCurve 3D, în scopul de a corespunde fiecare reprezentare grafică cu rezultatele obținute în cadrul experimentelor de ultrafiltrare.

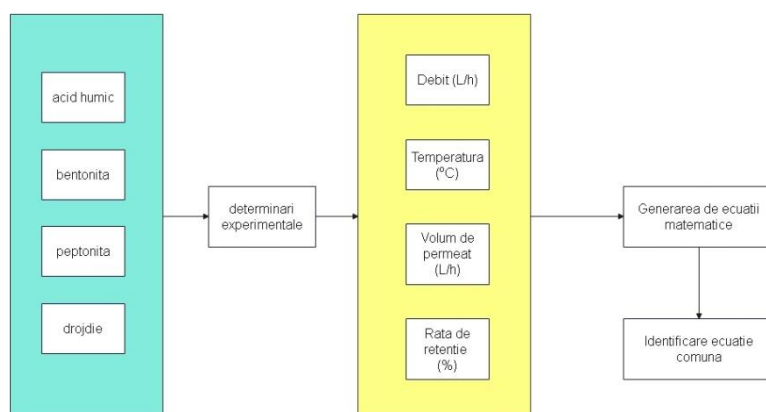


Fig. 27. Generarea de modele matematice.

Figura 27 prezintă cele 4 substanțe din cadrul procesului de ultrafiltrare pentru care s-au generat modele matematice (acidul humic, bentonita, peptona și drojdia).

Așa cum este specificat în figura 27, în urma unor determinări experimentale s-a urmărit o serie de parametri atât de intrare cât și de ieșire precum: debitul de intrare, temperatura, volumul de permeat obținut în timp, rata de retenție. Apoi, pentru acești parametri s-au generat o multitudine de ecuații matematice.

Pornind de la figura 27, s-au creat mai multe modele matematice, grupându-se astfel câte doi parametri, raportați la unitatea de timp. De exemplu, pentru axa Y și Z s-a creat un model matematic pentru debitul de intrare și temperatură, ambii parametri, grupați fiind în funcție de timp, reprezentat pe axa X (fig. 28).

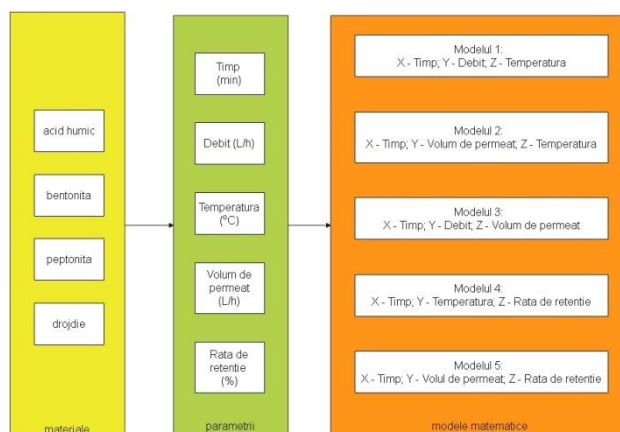
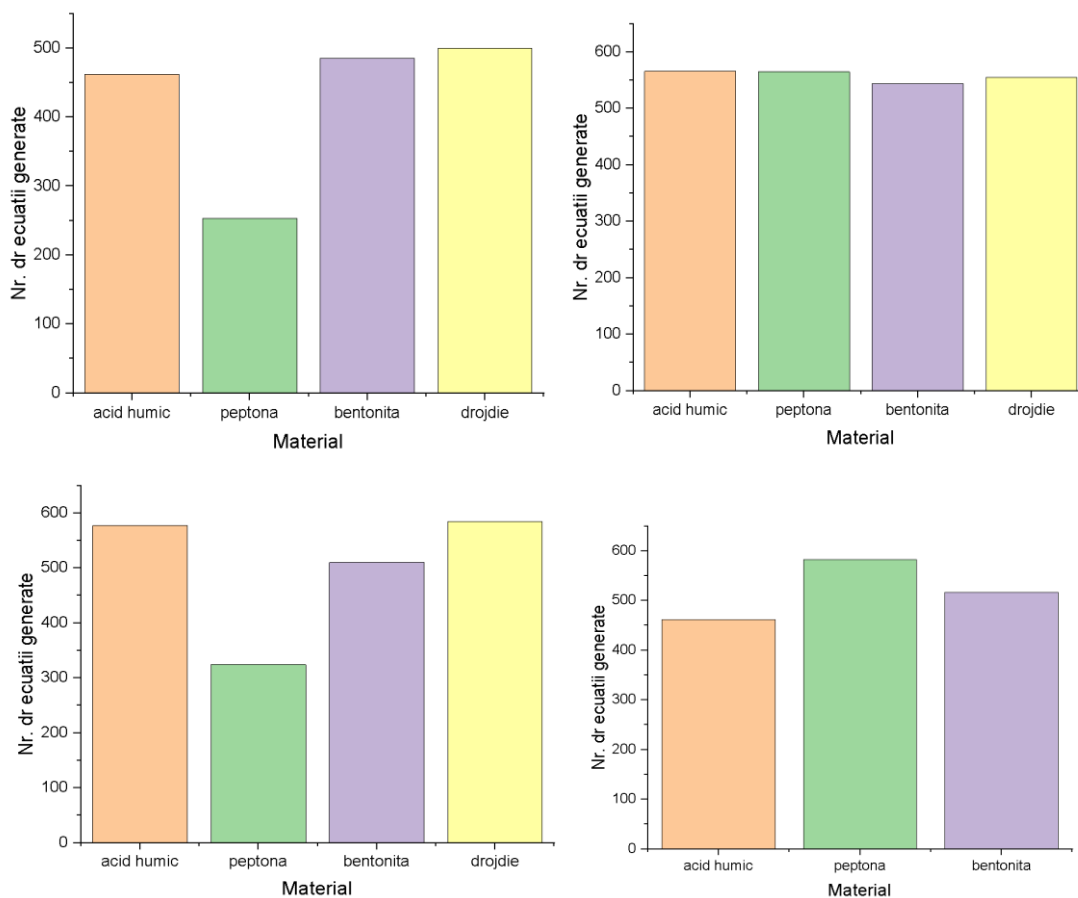


Fig. 28. Identificarea modelelor matematice

Așa cum se vede în figura 28, s-au creat 5 modele matematice, în funcție de parametrii descriși mai sus, pentru fiecare din substanțele cu care s-au efectuat experimentele de ultrafiltrare din cadrul cercetării.

În figura 29 este reprezentat numărul de ecuații comune pentru cele 5 modele matematice (a,b,c,d și e), specifice celor 4 substanțe.



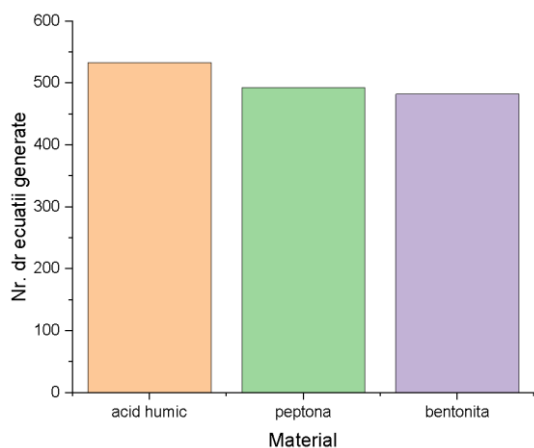
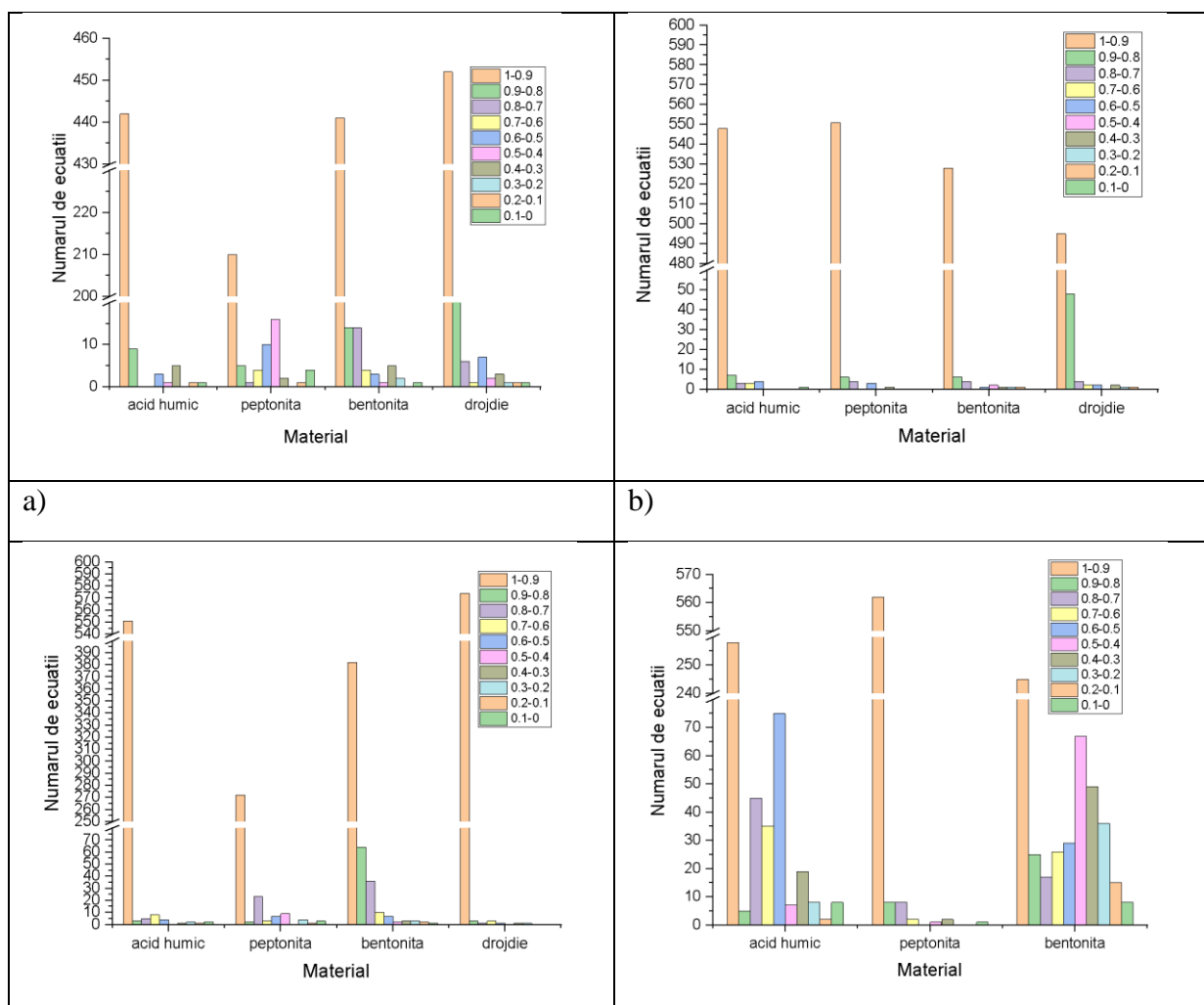


Fig. 29. Identificarea numărului de ecuații: a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4; Model 5.

În continuare este reprezentată distribuția ecuațiilor matematice pentru cele 4 substanțe pentru care s-au generat cele 5 modele matematice (fig. 30).



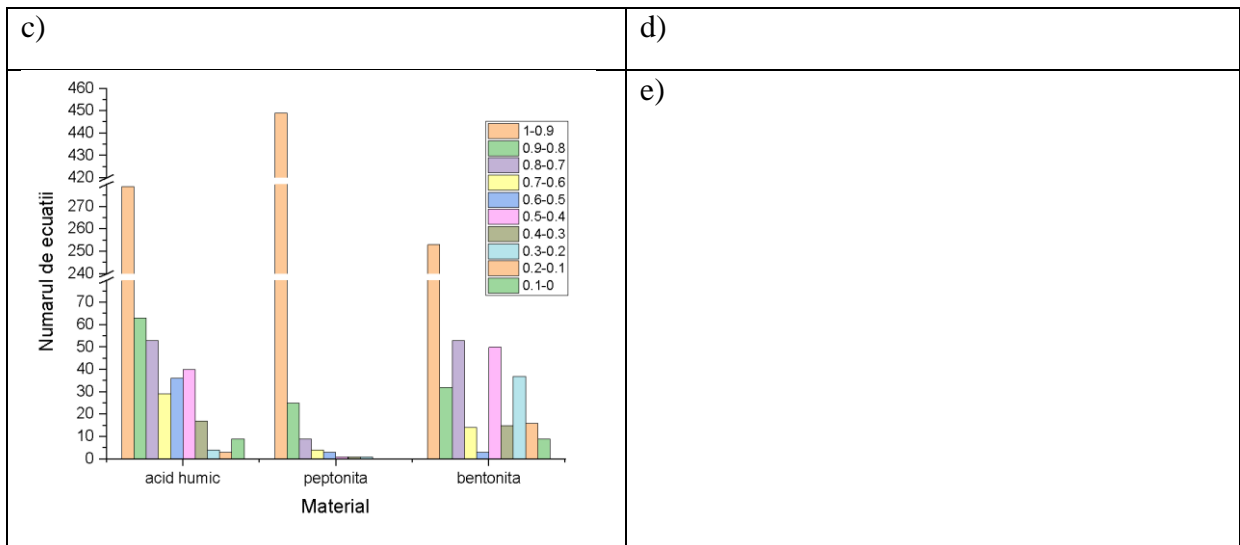
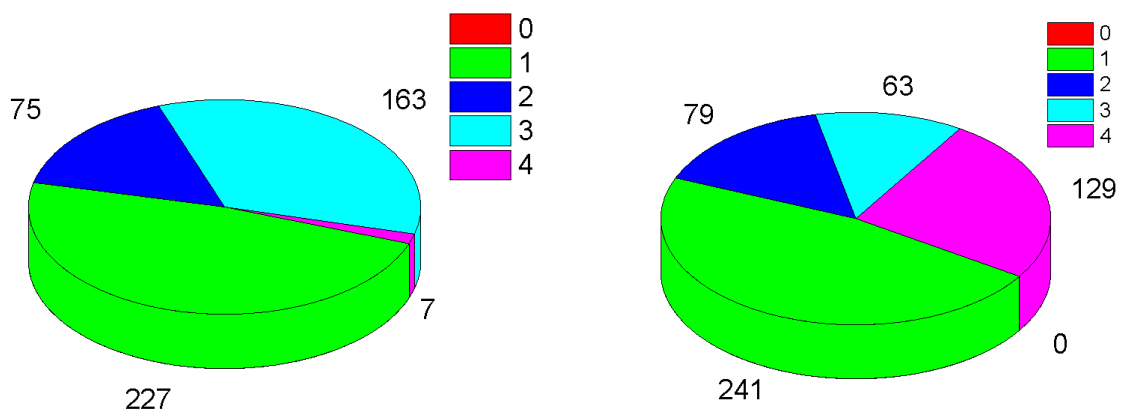


Fig. 30. Repartizarea ecuatiilor pe valoarea coeficientului de corelatie r^2 : a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4, e) Model 5.

În figura 31 sunt reprezentate rezultatele acestui tip de analiză. Se menționează că:

- ✓ numărul 4 reprezintă faptul că ecuația setului de referință a fost regăsit în toate cele 4 substanțe utilizate în cadrul procesului de ultrafiltrare;
- ✓ numărul 3 reprezintă faptul că ecuația setului de referință a fost regăsit în trei seturi de ecuații;
- ✓ numărul 2 reprezintă faptul că ecuația setului de referință a fost regăsit doar în două seturi de ecuații;
- ✓ numărul 1 reprezintă faptul că ecuația setului de referință a fost regăsit doar într-un set de ecuații;
- ✓ numărul 0 reprezintă faptul că ecuația setului de referință nu a fost regăsit în nici un alt set de ecuații.



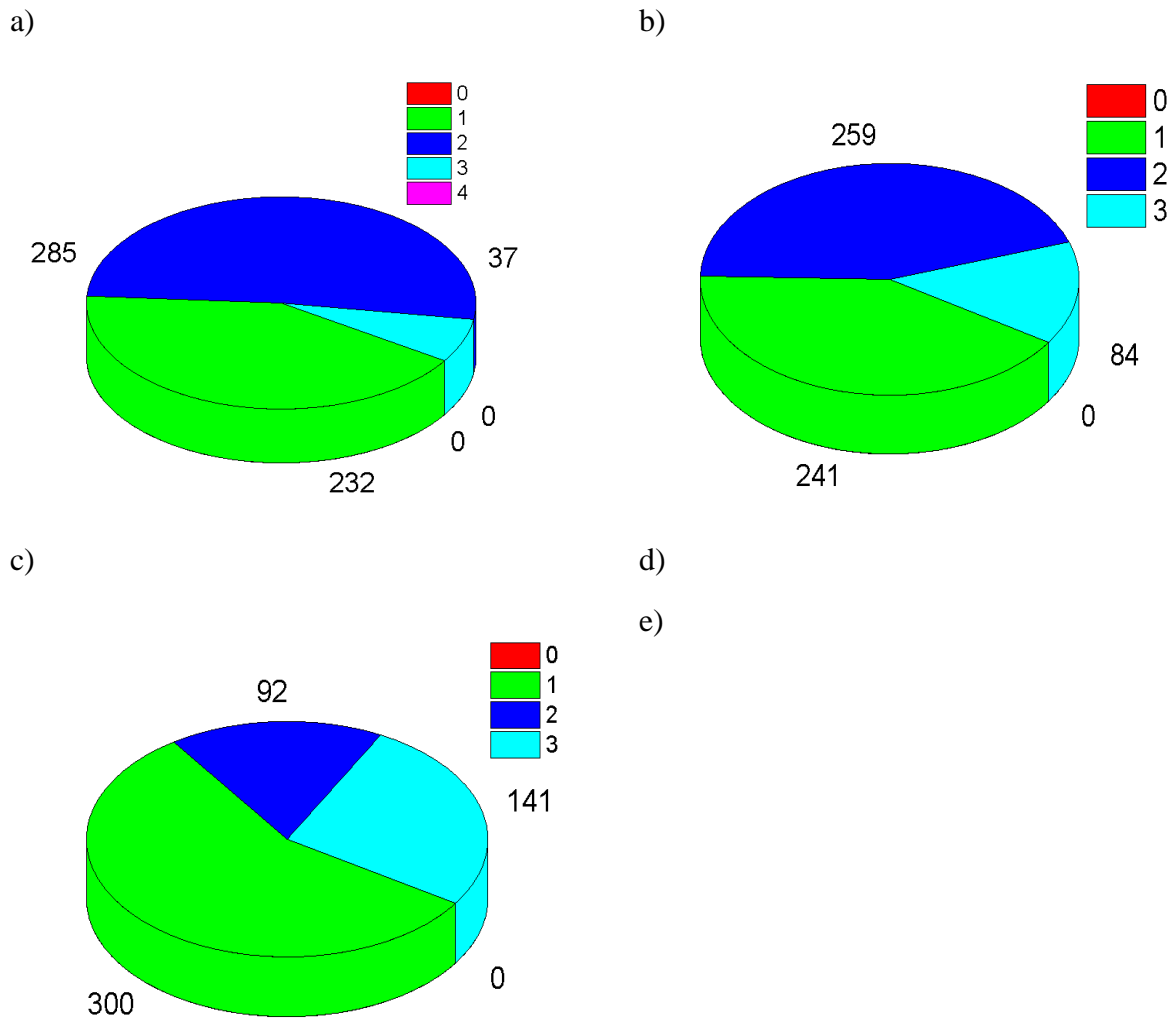
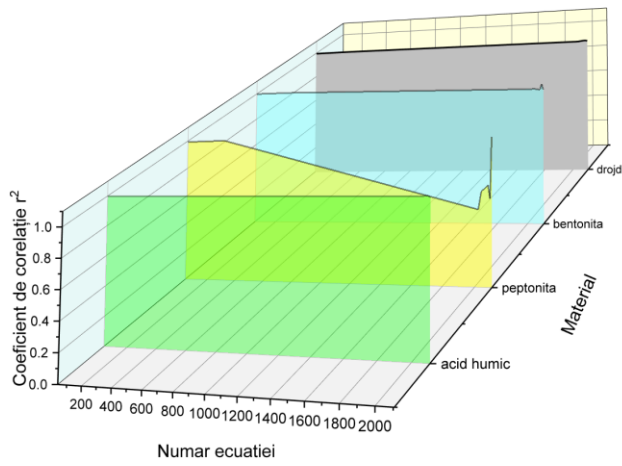
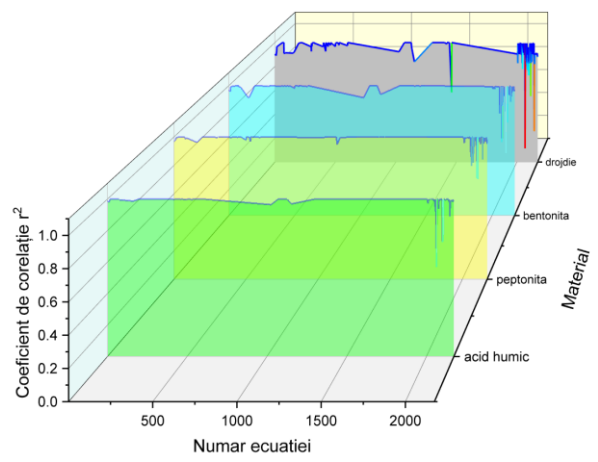


Fig.31. Identificarea ecuațiilor comune: a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4, e) Model 5.

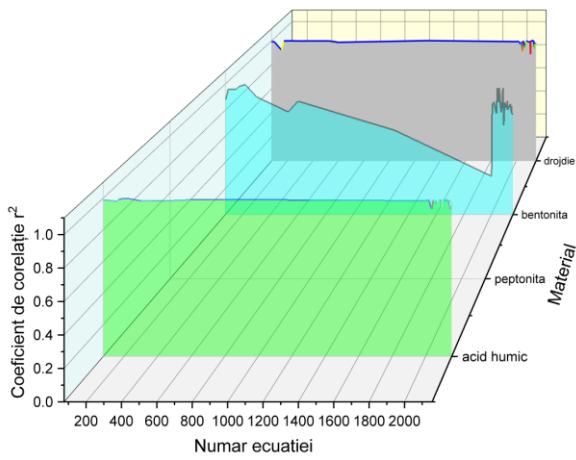
În continuare, următoarea etapă presupune analiza ecuațiilor comune cu scopul de a alege din acestea ecuațiile al căror coeficient de corelație r^2 este mai mare de 0,9, motiv pentru care s-a realizat reprezentarea grafică din cadrul figurii 109, în care sunt prezentate ecuațiile comune, respective numărul ecuației generate de programul Table Curve 3D, în raport cu coeficient de corelație r^2 (fig. 32).



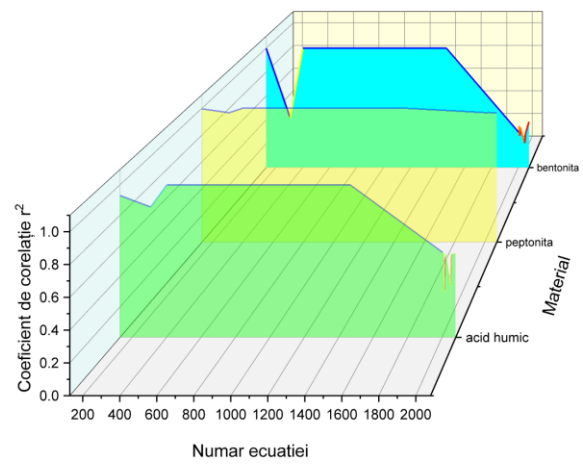
a)



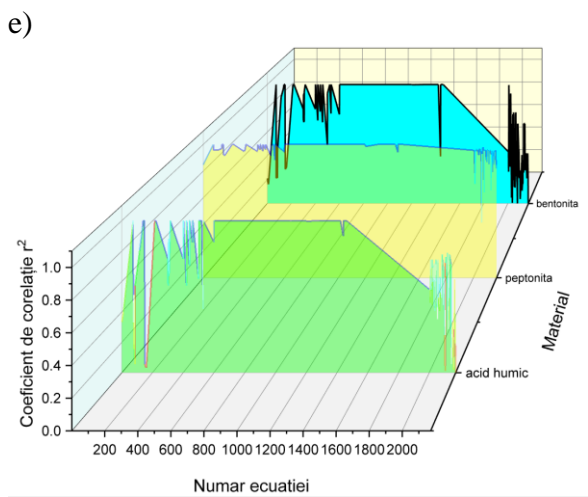
b)



c)



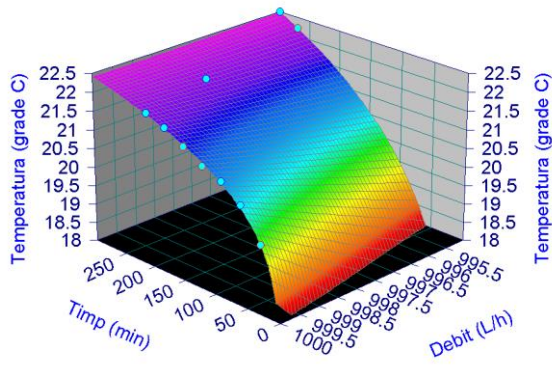
d)



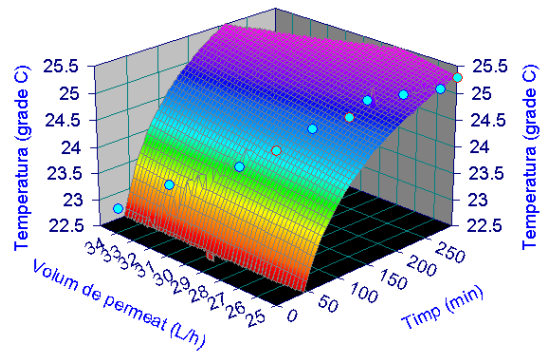
e)

Fig. 32. Vizualizarea valorii coeficientului de corelație r^2 pentru: a) Model 1; b) Model 2; c) Model 3; d) Model 4, e) Model 5.

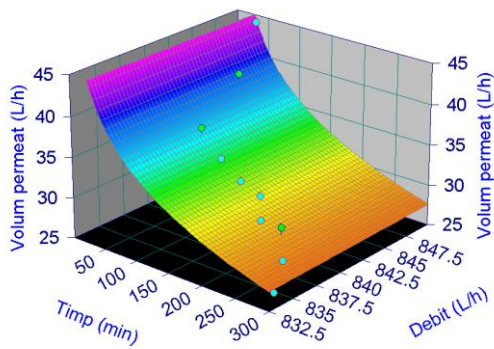
În continuare este prezentată reprezentarea grafică a suprafeței de răspuns corespunzătoare modelului identificat (fig. 33).



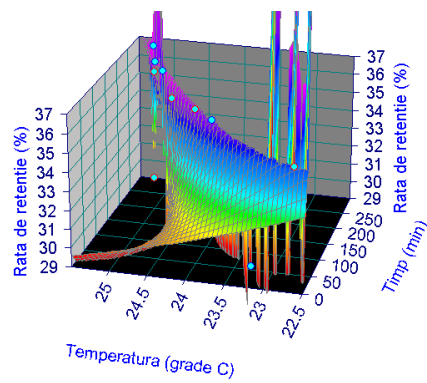
a)



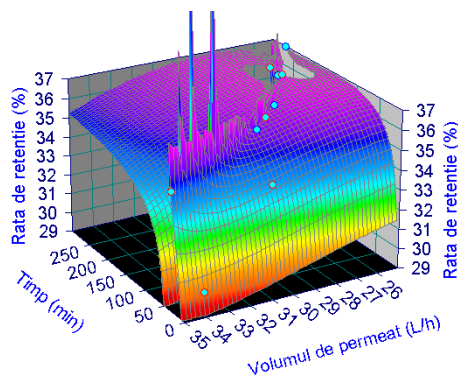
b)



c)



d)



e)

Fig. 33. Reprezentarea grafică a suprafeței de răspuns corespunzătoare modelului identificat:
 a) Model 1 corespunzător pentru bentonită; b) Model 2 pentru acid humic; c) Model 3; d) Model 4. e) Model 5.

CONCLUZII GENERALE

A. Concluzii referitoare la importanța temei de cercetare aleasă

În urma studiilor și cercetărilor realizate la Universitatea Cadiz din Spania și la Universitatea Vasile Alecsandri din Bacău, s-a ales subiect de cercetare aplicativă a unei membrane organice din fibre goale din poliacrilonitril (PAN), respectiv testarea acesteia atât în vederea stabilirii rezistenței sale în timp cât și în vederea urmăririi eficienței în reținerea unor compuși chimici selectați.

Conform literaturii de specialitate, utilizarea membranelor în procesele de ultrafiltrare a apelor uzate a adus multe beneficii, în special în îndepărtarea uleiurilor din apele uzate industriale. Aceste membrane sunt de asemenea ușor de curățat și prezintă o mare toleranță la ulei și la alte tipuri de poluanți.

În cazul în care apele uzate conțin particule fine de natură mecanică, chimică sau biologică, utilizarea membranelor de ultrafiltrare poate reprezenta o soluție eficientă. Studiile și cercetările efectuate până acum au demonstrat că procesul de recuperare a compușilor organici prin intermediul acestor membrane a fost bun atât din punct de vedere economic cât și în ceea ce privește durabilitatea în timp.

B. Concluzii referitoare la oportunitatea dezvoltării tehnologiilor cu membrane organice de ultrafiltrare ținându-se cont de rezultatele obținute

Membranele organice cu fibre goale sunt adecvate pentru cele mai noi tehnologii de filtrare, clasificate în ordine de performanță în funcție de gradul și capacitatea de reținere: microfiltrare, ultrafiltrare, nanofiltrare și osmoză.

Tehnologia membranelor organice a devenit foarte populară la nivel mondial, datorită capacității acestora de a îndeplini cerințele de calitate ale apei în diferite industrii. Acestea au trecut cu succes testele și au ajuns să fie folosite pentru potabilizarea apei.

Deoarece literatura de specialitate cuprinde un volum totuși redus de informații referitoare la tehnologia membranelor organice din fibre goale din PAN, lucrarea de față evidențiază prin caracterul aplicativ, posibilitățile de reținere a unor compuși din probele de apă supuse experimentării.

Experimentele au avut la bază filtrarea unor soluții în diferite concentrații, ale unor compuși ca: acidul humic, bentonita, peptona și drojdia alimentară.

În cadrul cercetării membranelor organice din fibre goale, s-a urmărit corelarea unor aspect cu privire la eficiența care poate fi obținută de o membrană de tip PAN, în anumite

condiții tehnice de operare, în eliminarea unor compuși organici și anorganici din apa uzată supusă experimentării.

C. Concluzii referitoare la aspectul original al lucrării

Planul de cercetare a fost conceput și pus în aplicare pe baza unui complex studiu teoretic, iar metodologia experimentală a fost dezvoltată în consecință. Ca urmare, pot fi enumerate următoarele aspect originale referitoare la tehnica experimentală folosită:

- Folosirea unei instalații de ultrafiltrare MP90 cu particularități funcționale care au permis urmărirea parametrilor cheie din proces: presiuni, debite, temperatură;

- Selectarea unor soluții compatibile cu membrana PAN și prătierea acestora în condiții specifice de laborator;

- Stabilirea valorilor pentru parametri de proces urmăriți (temperatura, presiunea transmembranară, debitul de permeat și concentrat);

- Determinarea timpilor de operare pentru procesul de ultrafiltrare;

- Stabilirea compușilor care au fost analizați înainte și după procesul de ultrafiltrare;

- Stabilirea intervalor de prelevare a probelor (după fiecare 30 de minute s-a luat câte o mostră de lichid (permeat) din rezervorul de colectare a apei filtrate și s-a păstrat în recipient curat și etanș până la sfârșitul experimentului);

- Analizarea probelor folosind tehnica de laborator specifică;

Stabilirea celor mai bune coralații dintre rezultatele obținute referitoare la gradul de reținere obținut de membrană și paramentrii variabili ai procesului de ultrafiltrare.

Bibliografie selectivă

1. M. C. Cabezas, C. C. Alcaina, M.V. Vela, J. A. M. Roca, S.A. Blanco; Comparison of different ultrafiltration membranes as first step for the recovery of phenolic compounds from olive-oil washing wastewater; Process safety and Environmental Protection; Vol. 149, May 2021, Pages 724-734.
2. ***Buletin Tehnic, pilot de ultrafiltrare MP 90, Versiunea AM-03/2014
3. Mirela Panainte-Lehăduș, Emilian Moșneguțu, Narcis Bârsan, Gabriela Andrioai, Claudia Tomozei and Oana Irimia, MATHEMATICAL PERSPECTIVES IN THE VARIABLE TEXTURE PRODUCTS CUTTING PROCESS, . *Processes* **2022**, *10*, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>
4. Mirela, P.; Emilian, M.; Carmen, S.; Valentin, N. *Mărunțirea produselor agroalimentare*; Meronia: 2005.

5. Nedeff, V.; Moşneguţu, E.; Panainte, M.; Savin, C.; Măcărescu, B. Separarea amestecurilor de particule solide în curenţi de aer verticali. *Editua Alma Mater, Bacău* **2007**.
6. Moşneguţu, E.; Nedeff, V.; Panainte, M.; Burca, G. Theoretic study concerning the behavior on solid particle into vertical airflow. In Proceedings of the 5 th International Conference Research and Development in Mechanical Industry RaDMI 2005, 04 - 07. September 2005, Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro, 2005; pp. 744-747.
7. SYSTAT Software, I. TableCurve 3D, Version 4.0. . Available online: <https://systatsoftware.com/downloads/download-tablecurve-3d/>