

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00742

(22) Data de depozit: 06/12/2021

(41) Data publicării cererii:
29/07/2022 BOPI nr. 7/2022

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN
TIMIȘOARA, PIAȚA VICTORIEI NR.2,
TIMIȘOARA, TM, RO

(72) Inventatori:
• LUPA LAVINIA, STR. SORIN TITEL,
NR.19, ET.3, AP.12, TIMIȘOARA, TM, RO;

• NEGREA PETRU, ALEEA CRISTALULUI
NR. 14, ET.1, AP. 5, TIMIȘOARA, TM, RO;
• COCHECI LAURA,
STR. ALEXANDRU GOLESCU NR. 6,
TIMIȘOARA, TM, RO;
• FILIMON ANCA,
STR.AL.O.TEODOREANU, NR.16, BL.B4-2,
SC.B, AP.3, IAȘI, B, RO

(54) SISTEM DE TESTARE A MEMBRANELOR
FUNCȚIONALIZATE LA TRATAREA APELOR

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem de testare a eficienței membranelor polimerice poroase, funcționalizate pentru diverși poluanți, în procesul de tratare a diferitelor soluții apoase. Sistemul de testare conform invenției este constituit dintr-un vas (1) de stocare a soluției apoase care urmează a fi tratată prin filtrare membranară, o pompă (2) peristaltică cu ajutorul căreia soluția este trecută în dispozitivul de susținere a membranei (3), care este atașat de un vas (4) rezistent la presiune, soluția apoasă fiind filtrată prin membrana (3) datorită vacumului creat de pompa (5) de vid a cărei presiune este reglată și menținută constantă cu ajutorul unui manometru (5.1), pompa (5) de vid fiind atașată vasului (4) prin intermediul capacului (6) de inox printr-un orificiu (a), respectiv prin orificiul (b) a dispozitivului de susținere a membranei (3), recipientele (9) de colectare a probelor fiind susținute în interiorul vasului (4) de o placă (7) fixă de bază și o placă (8) mobilă, ambele realizate din teflon, placa (8) mobilă se poate roti pe diferite poziții cu ajutorul axului (10) care este manevrat de o manetă (11) de indexare și de opritorul (12) de poziție.

Revendicări: 2
Figuri: 6

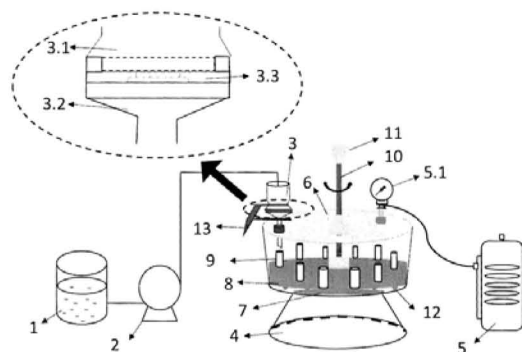


Fig. 1



RO DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 21 00742
Data depozit 06-12-2021

14

Sistem de testare a membranelor funcționalizate la tratarea apelor

Invenția se referă la un sistem de testare în timp a eficienței membranelor polimerice poroase, funcționalizate pentru diverși poluanți, în procesul de tratare a diferitelor soluții apoase. Sistemul de testare propune utilizarea a mai multor vase de colectare a permeatului în aceleași condiții de lucru, astfel încât este posibilă inspectarea membranei după timpi diferiți de tratare în vederea analizării ulterioare a datelor pentru stabilirea eficienței membranelor utilizate. Condițiile de lucru sunt menținute constante pe parcursul procesului de testare iar soluția propusă conform invenției permite utilizarea unor membrane de dimensiuni reduse.

Utilizarea proceselor de separare membranară prezintă o importanță deosebită în tratarea și epurarea apelor, precum și în alte aplicații de separare. Separarea membranară presupune trecerea fluidului ce urmează a fi tratat, sub presiune, peste un mediu permeabil selectiv, o membrană semipermeabilă sau permeabilă, prin care trece doar fluidul cu particulele de dimensiuni mai mici, iar impuritățile să fie reținute [1-3]. Într-o configurație generală a unui sistem cu membrană, o pompă forțează fluidul contaminat către membrană, o parte din fluid, permeatul, penetrează membrana ca fluid purificat, iar impuritățile se rețin la suprafața acesteia sau sunt eliminate sub formă de concentrat [4, 5].

În comparație cu metodele convenționale de tratare a apei, cum ar fi: adsorbția, schimbul ionic, precipitarea chimică, procesele de extracție cu solvenți și așa mai departe, utilizarea tehnologiei cu membrane pentru tratarea avansată a apei reprezintă un sistem alternativ ecologic, compact și economic. Această tehnică separă compușii organici și anorganici de fluxurile mari cu consumuri minime de energie, selectivitate ridicată și fezabilitate tehnică și produce un volum redus de deșeuri [4, 6, 7].

Pentru a obține o separare membranară eficientă un rol important îl constituie însăși membrana, bariera care se interpune între două compartimente permițând transferul selectiv al unor particule, molecule, faze sau substanțe dintr-un fluid sub acțiunea unei forțe motrice generată de: ΔC (gradient de concentrație), ΔP (gradient de presiune), $\Delta \psi$ (diferență potențial electric)). Membranele pot fi microporoase, omogene, asimetrice, încărcate electric, lichide, confecționate dintr-o multitudine de materiale ca de exemplu: ceramică, grafit, metale și aliaje, oxizi metalici, polimeri.

Dezvoltarea unor noi materiale membranare de nișă, performante, selective pentru diferite aplicații, eficiente și cu costuri reduse reprezintă o provocare pentru mulți cercetători și este o



ramură în continuă dezvoltare. În vederea realizării unor membrane cu eficiență ridicată de separare și rezistență la colmatare, punctul central al majorității studiilor s-a îndreptat asupra naturii și structurii membranelor. S-a urmărit modificarea proprietăților fizico-chimice ale suprafeței membranelor prin funcționalizare cu diferite grupări funcționale, prin încorporarea diversilor aditivi, utilizarea a diferite materiale compozite, grefare sau acoperire cu diferite fragmente hidrofile sau grupări încărcate.[8-15]. Stabilirea performanțelor și perfecționarea acestor membrane presupune derularea unor programe de studiu în care nu doar caracteristicile fizice ale soluției, tipul și configurația membranei trebuie analizate ci și condițiile de filtrare.

Procesul de obținere a acestor membrane compozite/funcționalizate cu caracteristici de filtrare îmbunătățite utilizate în soluțiile prezentate anterior este destul de laborios, presupune utilizarea multor reactivi chimici, grupările active, funcționale ce sunt dorite a fi grefate sau impregnate pe materialele membranare tradiționale, de obicei provin de la substanțe scumpe ca de exemplu: oxid de grafenă, lichide ionice, săruri cuaternale de amoniu, eteri coroane, etc [7, 9, 11, 14].

Pentru obținerea unor membrane eficiente se variază diferite compoziții și diferite condiții de lucru, astfel că se obține o multitudine de structuri membranare ce urmează de asemenea a fi testate în diferite condiții de separare prin filtrare pentru a putea alege natura și compoziția optimă a membranei pentru scopul propus. În acest sens în studiile preliminare de laborator urmează a fi testate un număr mare de membrane ce implică pentru obținerea lor o cantitate mare de reactivi chimici, uneori de costuri ridicate. Pentru a minimiza costurile de sinteză a acestor membrane este necesară dezvoltarea unui sistem de filtrare eficient în care membranele obținute să fie testate pentru a putea alege natura și compoziția optimă a membranei pentru scopul propus.

Sistemele de filtrare utilizând membrane pot funcționa în regim gravitațional sau cu flux încrucișat. În cazul sistemelor gravitaționale fluidul ce urmează a fi tratat trece prin structura de filtrare, iar particulele supradimensionate se acumulează pe membrană în timp ce fluidele și particulele mici trec prin membrană și devin filtrate. În cazul sistemelor cu flux încrucișat, fluidul ce urmează a fi tratat este circulat tangențial pe suprafața membranei, particulele mici și fluidul trec prin membrană sub formă de permeat, sau filtrat, în timp ce moleculele țintă sunt reținute pe partea de alimentare sub formă de reținut.

Există o multitudine de sisteme de testare membranare disponibile pe piață în prezent. Cu toate acestea, mai multe dintre aceste celule au una sau mai multe probleme sau limitări.



Se cunoaște soluția tehnică descrisă în brevetul de invenție nr. RO 131098B1 care propune un procedeu de obținere a membranelor polimere compozite pe polifenilenoxid sulfonat.

Se cunoaște soluția tehnică conform brevetului RO 120690 B1 care propune obținerea unei membrane conductive cu substrat poros, de tip filtru de hârtie impregnată cu polimeri.

Brevetul EP2247372A4 propune o metodă de obținere a unor membrane prin aplicarea a cel puțin unei specii grefabile pe un substrat poros și tratarea substratului poros acoperit cu radiație cu fascicul de electroni pentru a furniza o membrană funcționalizată.

În cazul brevetului RO 127826 A2, se propune îndepărtarea cromului, zincului și nichelului din apele provenite din industria pielăriei prin utilizarea unor tehnologii cu membrane combinate, membrane solide (polimerice) și membrane lichide - tip emulsie funcționalizate cu un "transportor", Aliquat 336.

Brevetul US6228271B1 descrie un proces de testare a integrității membranelor de filtrare a lichidelor fără utilizarea aerului sub presiune. Se aplică un vid parțial camerei de permeat pentru a crea o diferență de presiune pentru a realiza trecerea fluxului prin membrană.

Brevetul DE3725445C2 prezintă o celulă de testare pentru procesele de separare cu membrană ce constă dintr-o carcasă de presiune plată dreptunghiulară, prevăzută ca un canal, cu o membrană susținută de un suport de filtru interpus între acestea. Brevetul US 6568282 B1 prezintă o metodă și un aparat pentru evaluarea unei membrane poroase. Invenția include de asemenea un aparat care include o membrană montată într-o carcasă ce este împărțită în două compartimente.

Brevetul US9023206B2 propune un sistem de cadre pentru module de filtrare cu membrană. Sistemul de filtrare propus în brevetul citat cuprinde o multitudine de module de membrană dispuse într-o rețea de module de membrană împărțită în sub-grupuri de rețea.

Toate aceste sisteme de testare a diferitelor membrane, asemenea celor comerciale necesită utilizarea unor debite mari de fluid și a unor membrane de dimensiuni mari ceea ce duce la costuri ridicate de testare.



De asemenea, acestea constau dintr-un singur compartiment pentru colectarea permeatului. Astfel că, pentru determinarea eficienței de filtrare în timp a membranei studiate, utilizând asemenea sisteme este necesară oprirea și demontarea acestora pentru colectarea permeatului, în vederea analizării la diferite momente de tratare. Prin urmare, testarea unei membrane în acest sistem de filtrare poate fi foarte costisitoare.

Astfel, este nevoie de un sistem de testare a membranei rentabil, care să poată utiliza membrane de dimensiuni reduse, pentru a putea realiza cât mai multe compoziții și structuri diferite membranare și pentru a stabili membranele optime pentru scopul propus. Sistemul trebuie să permită testarea cu ușurință a eficienței de filtrare în timp a membranelor sintetizate, în vederea analizei corecte a performanței membranei studiate pentru a simula cu precizie durata de viață a acesteia într-un sistem industrial de separare utilizând membrane.

Prezenta invenție urmărește să depășească sau cel puțin să amelioreze unul sau mai multe dintre dezavantajele de mai sus ale stadiului tehnicii sau să ofere o alternativă utilă, prin aceea că prezintă un sistem de testare prin filtrare membranară ce permite determinarea în diferite condiții a eficienței de filtrare ca funcție de timp a diferitelor membrane, putând utiliza membrane de dimensiuni reduse.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în elaborarea acestui sistem care permite testarea multitudinii de membrane studiate pentru anumite scopuri precise în condiții de similitudine cu sistemele de filtrare industriale, dar utilizând membrane de dimensiuni reduse. Sistemul de filtrare propus elimină dezavantajele prin aceea că, permițând utilizarea unor membrane de dimensiuni reduse și colectarea permeatului la anumite momente de tratare, conduce la utilizarea unor cantități mai reduse de reactivi chimici și materiale necesare obținerii membranelor de diferite compoziții și structuri preliminare precum și la reducerea timpului necesar de testare a acestora în diferite condiții. Toate acestea conduc la scăderea costurilor globale de obținere a membranelor și a proceselor de tratare studiate.

Obiectivul principal al invenției este de a realiza un sistem de testare membranară care să permită testarea eficienței de separare a multitudinilor de membrane în diferite procese de tratare ca funcție de timp, pentru a putea estima durata de viață a acestora. Un obiectiv suplimentar este acela de a permite utilizarea unor membrane de dimensiuni reduse.



Exemplul de realizare a invenției va fi acum descris cu referire la desenele însoțitoare, în care:

Figura 1: Prezentarea generală a sistemului de filtrare;

Figura 2: Capacul de inox cu care este prevăzut vasul rezistent la presiune ;

Figura 3: Placa mobilă utilizată ca suport pentru recipientele de colectare a probelor; (a) reprezentare tridimensională (3D), (b) reprezentare în plan (2D);

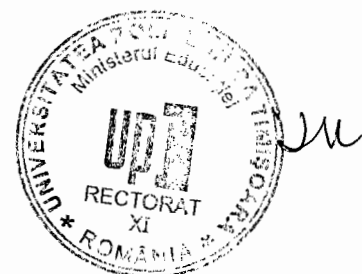
Figura 4: Prezentarea 3D a ansamblului ce permite colectarea probelor la diferite intervale de timp;

Figura 5: Dispozitivele pentru utilizarea membranelor de dimensiuni reduse; (a) reprezentare 3D; (b) – reprezentare 2D;

Figura 6: Dependența gradului de respingere și a cantității de Cd^{2+} acumulată în membrană funcție de timpul de tratare și de volumul de apă trecut peste membrană.

Referindu-ne la Figurile 1 până la 6, este prezentat un sistem de testare a membranelor conform exemplului de realizare a invenției. Sistemul de filtrare constă dintr-un vas de stocare (1) a soluției apoase ce urmează a fi tratată prin filtrare membranară, o pompă peristaltică (2) cu viteză de rotație variabilă și reglabilă potențiomtric, cu ajutorul căreia soluția este trecută în dispozitivul de susținere a membranei (3), ce este atașat de un vas rezistent la presiune (4). Soluția apoasă este filtrată prin membrană datorită vacuumului creat de pompa de vid (5), presiunea fiind reglată și menținută constantă cu ajutorul manometrului (5.1), de asemenea atașate vasului rezistent la presiune (4). Vasul rezistent la presiune este etanșat cu ajutorul unui capac de inox (6).

Referindu-ne la Figura 2 se observă că atașarea pompei de vid (5), cu vasul rezistent la presiune (4) se realizează prin capacul de inox (6), prin orificiul (a), respectiv a dispozitivului de susținere a membranei (3) prin orificiul (b). Vasul rezistent la presiune prezintă în interior o placă de bază fixă (7) și o placă mobilă (8) drept suport pentru recipientele de colectare a probelor (9). Ambele plăci sunt realizate din teflon. În Figura 3 este reprezentată 3D și 2 D placa mobilă, utilizată ca suport pentru recipientele de colectare a probelor. Aceasta poate fi rotită pe diferite poziții cu ajutorul axului (10) ce este manevrat de maneta de indexare (11) și a opritorului de poziție (12). Acest ansamblu mobil (Figura 4), de utilizare a mai multor poziții de colectare a probelor într-un singur compartiment rezistent la presiune, permite testarea ca funcție de timp a membranelor fără a fi nevoie să oprim procesul de separare prin filtrare, și fără a fi nevoie să dezamblăm sistemul de filtrare la anumite intervale de timp. Acest lucru duce la o scădere a timpului de testare, ce implicit conduce la o scădere a costurilor procesului de testare.



Dispozitivul de susținere a membranei (3) este format din două compartimente de sticlă cu diametrul $\varnothing = 4$ cm, prevăzute la capete cu frită de sticlă, între care se fixează membrana ce urmează a fi testată. Cele două compartimente ce susțin membrana sunt fixate între ele cu ajutorul clemei (13). În compartimentul superior (3.1) al dispozitivului (3) ajunge soluția apoasă ce urmează a fi tratată, ce este filtrată prin membrana testată, iar permeatul ajunge în compartimentul (3.2).

Referindu-ne la Figura 5, pentru a reduce costurile de producție a diferitelor membrane și a minimiza consumul de reactivi necesari preparării acestora s-a propus utilizarea unor suporturi (3.3) pentru membrane de dimensiuni reduse, de diametre variate ($\varnothing = 0,5 - 3,5$ cm). Acestea sunt realizate din teflon, iar pentru poziționarea membranelor de dimensiuni reduse prezintă o adâncitură de 1 mm în orificiul în care se introduce membrana.

Referindu-ne la Fig. 6, se dă în continuare un exemplu de utilizare a sistemului de testare, pentru determinarea eficienței de separare a unei membrane polimerice de incluziune, membrană polisulfonică cuaternizată și funcționalizată cu clorură de metil trialchil amoniu în proporție de 15% (procente masice). Eficiența de separare a membranei s-a determinat ca funcție de timp în procesul de îndepărtare a ionilor de cadmiu din soluție apoasă. S-a utilizat o membrană cu grosimea de $h=1$ mm, și $\varnothing = 1$ cm, astfel că s-a utilizat suportul pentru utilizarea membranelor de dimensiuni reduse. Pentru a evalua eficiența filtrării în eliminarea ionilor de cadmiu din soluția de alimentare, s-a folosit gradul de respingere definit de ecuația:

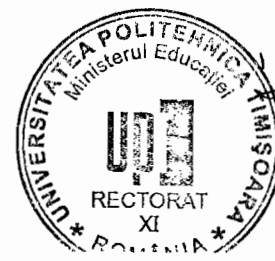
$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) 100$$

unde C_p și C_f sunt concentrațiile ionilor metalici în permeat și respectiv în soluția de alimentare. Cantitatea de Cd^{2+} acumulată în membrană a fost determinată cu ajutorul ecuației:

$$Q_{ac} = \sum \frac{(C_f - C_p)V}{A}$$

unde: C_f și C_p concentrația ionilor de Cd^{2+} din soluția de alimentare, respectiv din permeat (mg/L), V volumul de soluție trecut peste membrană (L), A suprafața membranei (m^2).

Gradul de respingere al membranei studiate, respectiv cantitatea de Cd acumulată în membrană au fost determinate ca funcție de timp și ca funcție de volumul de permeat. S-a utilizat un volum



de 100 mL de soluție apoasă cu conținut de 10 mg/L Cd^{2+} . Probele au fost colectate din 5 în 5 minute utilizând un debit al soluției de alimentare de 2 mL/min. Concentrația ionilor de Cd^{2+} atât din soluția de alimentare cât și din permeat a fost determinată prin spectrofotometrie de adsorbție atomică utilizând un spectrofotometru Varian SpaeetrAA 280 FS. Se constată că eficiența de filtrare a membranei studiate scade cu creșterea timpului, în timp ce gradul de acumulare a ionilor de Cd^{2+} crește. Utilizarea sistemului de testare propus, permite utilizarea unor membrane de mici dimensiuni, permițând utilizarea unor compoziții membranare variate în condiții multiple de lucru, ceea ce conduce la stabilirea condițiilor optime de tratare pentru anumite sisteme date.



Jm

BIBLIOGRAFIE

1. Dickhout J.M., Moreno J., Biesheuvel P.M., Boels L., Lammertink R.G.H., de Vos W.M. Produced water treatment by membranes: A review from a colloidal perspective, *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, 487, 523 —534;
2. Yao M. Tijing L.D., Naidu G., Kim S.H, Matsuyama H., Fane A.G., Shon H.K., A review of membrane wettability for the treatment of saline water deploying membrane distillation, *Desalination*, 2020, 479, 114312;
3. Hafiz M.A., Hawari A.H., Altaee A., A hybrid forward osmosis/reverse osmosis process for the supply of fertilizing solution from treated wastewater, *Journal of Water Process Engineering*, 2019, 32, 100975;
4. Naik N.S., Padaki M., Déon S., Karunakaran G., Dizge N., Saxena M., The efficient mixed matrix antifouling membrane for surfactant stabilized oil-in-water nanoemulsion separation, *Journal of Water Process Engineering*, 2019, 32, 100959;
5. Awad E.S., Sabirova T.M., Tretyakova N.A., Alsahy Q.F., Figoli A., Salih I.K., A Mini-Review of Enhancing Ultrafiltration Membranes (UF) for Wastewater Treatment: Performance and Stability. *Chemical Engineering* 2021, 5, 34;
6. Ahmad T., Guria C., Mandal A., A review of oily wastewater treatment using ultrafiltration membrane: A parametric study to enhance the membrane performance. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, 36, 101289;
7. Jalal Sadiq A., Shabeeb K.M., Khalil B.I., Alsahy Q.F., Effect of embedding MWCNT-g-GO with PVC on the performance of PVC membranes for oily wastewater treatment. *Chemical Engineering Communication* 2020;
8. Padaki M., Surya Murali, R., Abdullah M.S., Misdan N., Moslehyani A., Kassim M.A., Hilal N., Ismail A.F., Membrane technology enhancement in oil-water separation. A review. *Desalination* 2015, 357, 197–207;
9. Alkhouzaam A., Qiblawey H., Functional GO-based membranes for water treatment and desalination: Fabrication methods, performance and advantages. A review, *Chemosphere*, 2021, 274, 129853;
10. Lavanya C., Balakrishna R.G., Naturally derived polysaccharides-modified PSF membranes: A potency in enriching the antifouling nature of membranes, *Separation and Purification Technology*, 2020, 230, 115887;



11. Shi H., He Y., Pan Y., Di H., Zeng G., Zhang L., Zhang C., A modified mussel-inspired method to fabricate TiO₂ decorated superhydrophilic PVDF membrane for oil/water separation. *Journal of Membrane Science*, 2016, 506, 60–70;
12. Lee J., Chae H.R., Won Y.J., Lee K., Lee C.H., Lee H.H., Kim I.C., Lee J.M., Graphene oxide nanoplatelets composite membrane with hydrophilic and antifouling properties for wastewater treatment, *Journal of Membrane Science*, 2013, 448, 223-230;
13. Pendergasta M.T.M., Hoek E.M.V, A review of water treatment membrane nanotechnologies, *Energy and Environmental Science*, 2011, 4, 1946-197;
14. Igunnu E.T., Chen G.Z., Produced water treatment technologies, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2014, 9(3), 157–177;
15. Jafarinejad S. A Comprehensive Study on the Application of Reverse Osmosis (RO) Technology for the Petroleum Industry Wastewater Treatment, *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 2017, 2 , 243 —264;
16. Jafarinejad S., Esfahani M.R., A Review on the Nanofiltration Process for Treating Wastewaters from the Petroleum Industry. *Separations*, 2021, 8, 206.



Jm

Revendicări

1. Sistem de testare a membranelor funcționalizate la tratarea apelor poluate **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un vas de stocare (1) a soluției apoase ce urmează a fi tratată prin filtrare membranară, o pompă peristaltică (2) cu ajutorul căreia soluția este trecută în dispozitivul de susținere a membranei (3), ce este atașat și comunică prin orificiul (b) cu un vas rezistent la presiune (4) etanșat cu ajutorul unui capac de inox (6), soluția apoasă este filtrată prin membrană datorită vacuumului creat de pompa de vid (5), presiunea fiind reglată și menținută constantă cu ajutorul manometrului (5.1), de asemenea atașate vasului rezistent la presiune (4) care prezintă în interior o placă de bază fixă (7) și o placă mobilă (8), ambele din teflon, drept suport pentru recipientele de colectare a probelor (9), placa mobilă (8) poate fi rotită pe diferite poziții cu ajutorul axului (10) ce este manevrat de maneta de indexare (11) și a opritorului de poziție (12) astfel încât se pot colecta probe, după o durată prestabilită de timp, într-un singur compartiment rezistent la presiune, fără a fi nevoie să oprim procesul de separare prin filtrare, și fără a fi nevoie să dezasamblăm sistemul de filtrare.
2. Sistem de testare a membranelor funcționalizate la tratarea apelor cu conținut variat de poluanți, ca tip și concentrație, **conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că** folosește membrane funcționalizate pentru fiecare tip de poluant în parte, soluțiile apoase cu poluanți ajung în dispozitivul suport pentru membrană cu ajutorul unei pompe peristaltice (2), cu viteză de rotație variabilă și reglabilă potențiomtric, încât poate fi controlat și variat debitul de fluid ce urmează a fi trecut peste membrana testată, fluid care, datorită vacuumului creat de pompa de vid, trece sub formă de permeat prin membrană împreună cu particule mici pentru care membrana nu este activă, într-un ritm de filtrare funcție și de intensitatea vidului creat, în timp ce moleculele de poluant sunt reținute pe partea de alimentare sub formă de reținut pe membrana ce poate fi inspectată după o durată prestabilită de timp astfel încât poate fi stabilită eficiența membranei și a regimului de filtrare.



Jeu

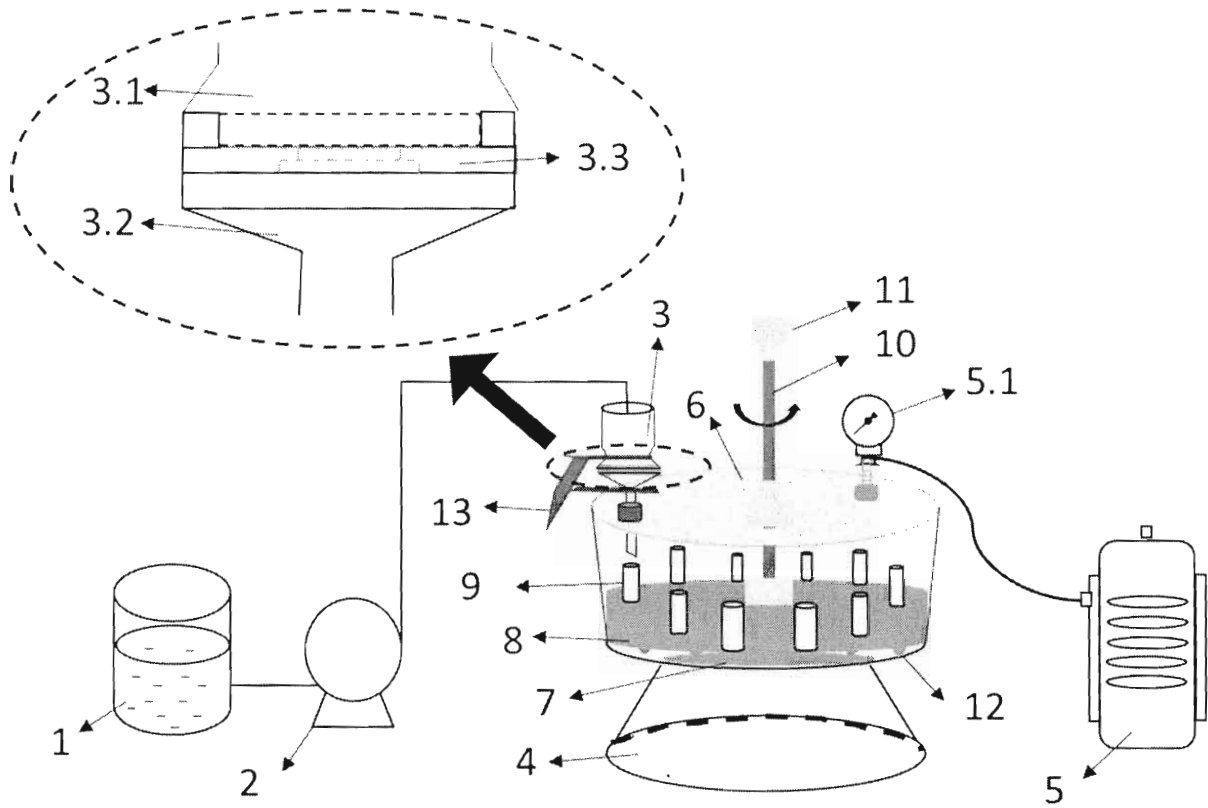


Fig.1 - Prezentarea generală a sistemului de filtrare

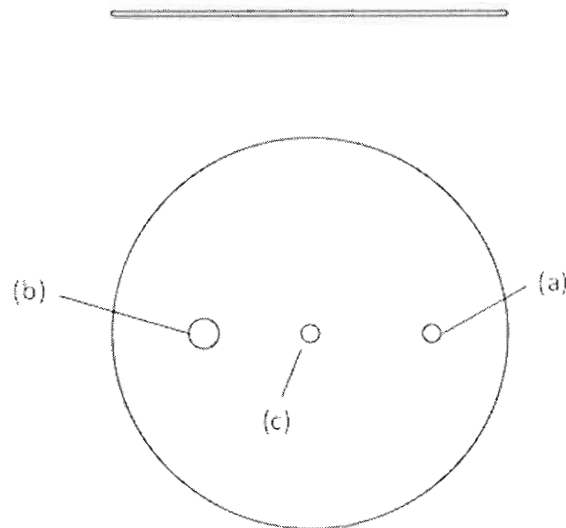


Fig. 2. Capacul de inox cu care este prevăzut vasul rezistent la presiune



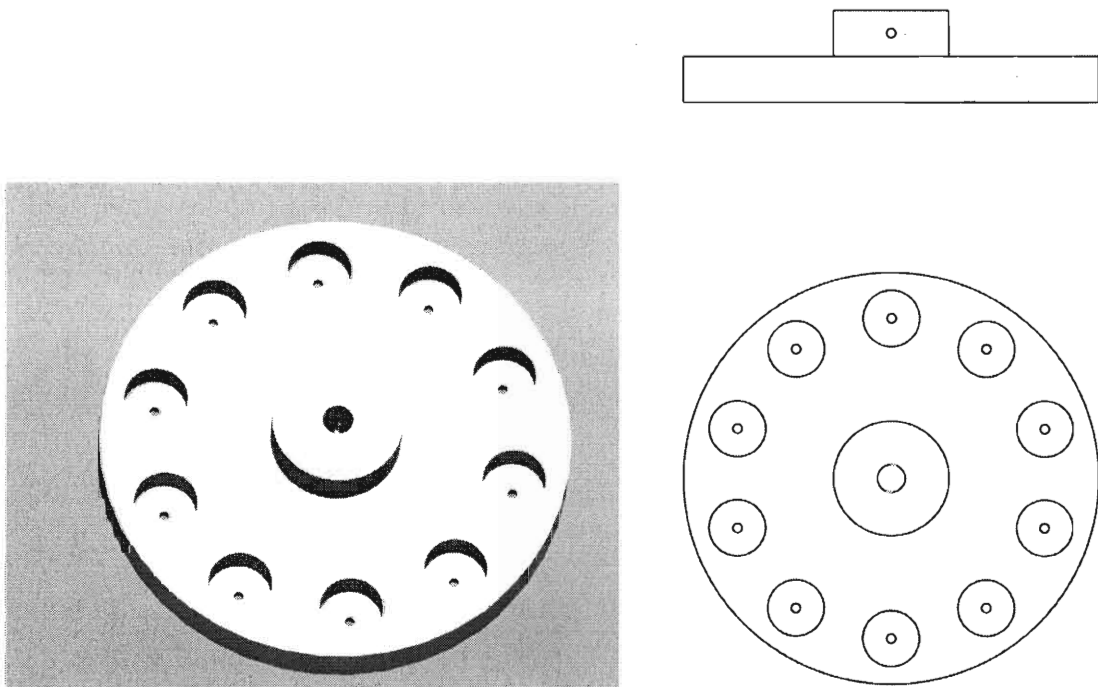


Fig. 3. Placa mobilă utilizată ca suport pentru recipientele de colectare a probelor

(a) Reprezentare 3D, (b) reprezentare 2D

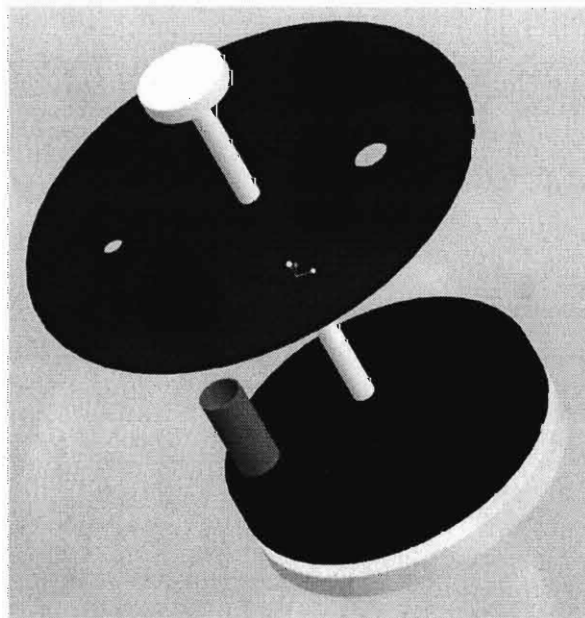


Fig. 4. Prezentarea 3D a ansamblului ce permite colectarea probelor la diferite intervale de timp



4

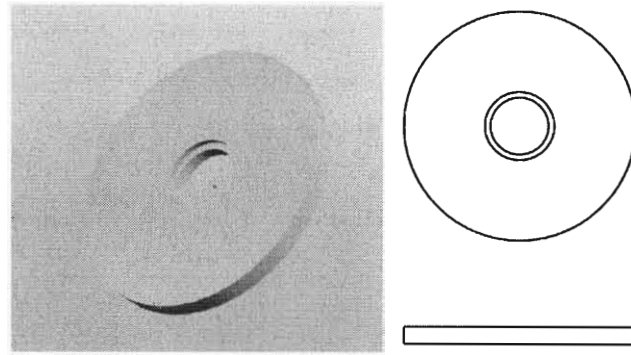


Fig.5. Dispozitivele pentru utilizarea membranelor de dimensiuni reduse

(a) – reprezentare 3D; (b) – reprezentare 2D

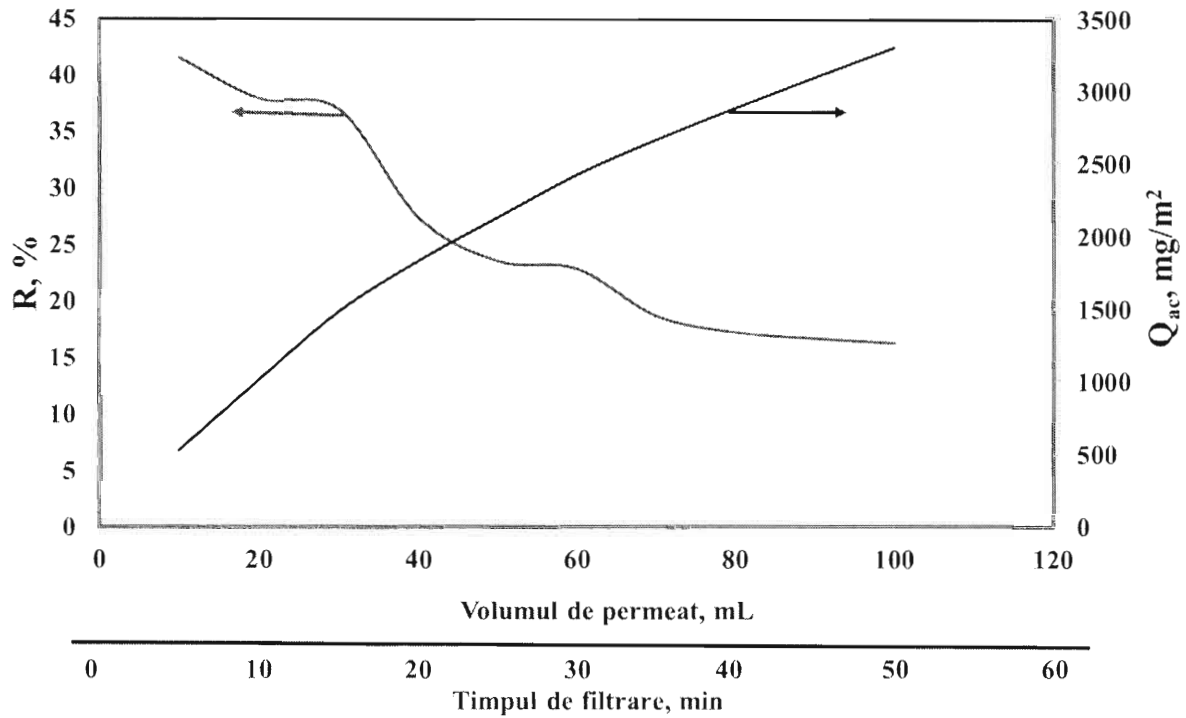


Fig. 6. Dependența gradului de respingere și a cantității de Cd²⁺ acumulată în membrană funcție de timpul de tratare și de volumul de apă trecut peste membrană

