

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00490

(22) Data de depozit: 18/08/2021

(41) Data publicării cererii:
28/02/2023 BOPI nr. 2/2023

(71) Solicitant:
• ICPE BISTRIȚA S.A., STR. PARCULUI
NR.7, BISTRIȚA, BN, RO;
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
TEHNOLOGII IZOTOPICE ȘI
MOLECULARE, STR.DONAT NR.67-103,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• ULINICI ȘORIN CLAUDIU,
STR. ÎMPĂRATUL TRAIAN NR. 46A, SC. B,
ET. 2, AP. 15, BISTRIȚA, BN, RO;

• BĂISAN GABRIELA CORNELIA,
STR. VALERIU BRANIȘTE, NR. 14,
BISTRIȚA, BN, RO;
• BARTHA CASABA, ALEEA MACULUI,
NR. 1, SC.A, AP.11, BISTRIȚA, BN, RO;
• POPA ADRIANA PAULA,
STR. FĂNTÂNELE, NR.40, BL.V7, SC.1,
ET.1, AP.5, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• TOLOMAN DANA AURICA,
STR. VIDRARU, NR.1-3, BL.C6, SC.2,
AP.76, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• ȘTEFAN MARIA VIORICA,
STR. ONISIFOR GHIBU NR. 20A, AP. 29,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(54) **PROCEDEU HIBRID PENTRU DECONTAMINAREA APEI
CU CONȚINUT DE COMPUȘI ORGANICI GREU
BIODEGRADABILI ÎN MATRICI DIZOLVATE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu hibrid de tratare a apei cu conținut de poluanți organici greu degradabili, utilizând un modul hibrid de decontaminare bazat pe procese simultane, complementare, de separare mecanică, oxidare directă cu ozon și oxidare avansată prin degradare fotocatalitică în prezența ozonului dizolvat. Procedeu conform invenției constă în decontaminarea apei dintr-un rezervor (RT) tampon din care se preia apa cu conținut ridicat de poluanți organici prin intermediul unei pompe (Pc) de circulație și de ridicare a presiunii, și se transferă prin intermediul unui filtru mecanic cu cartuș de inox de 10 μm către reactorul (U-RF) hibrid cu membrană ultrafiltrantă catalitică compus din camera (2) de admisie și degradare fotocatalitică/fotocatalitică, sursa (4) UV/VIS de radiație, membrana (3) coaxială fotocatalitică ultrafiltrantă, camera (1) de apă tratată și camera (5) de colectare a apei tratate, ozonul fiind injectat prin intermediul unui circuit de injecție și contact apă/ozon utilizând o pompă (Pc) de injecție și un contactor (HF - MI) apă/ozon cu membrană semi-permeabilă de tip " hollow fiber " din PTFE, iar întreg procedeu de tratare este condus automat de către un sistem echipat cu PLC și interfața HMI, fiind un pro-

cedeu neselectiv care produce degradarea oxidativă și eliminarea unor întregi clase de poluanți organici, fără a utiliza adaos de reactivi chimici și fără a rezulta produși de reacție toxici.

Revendicări: 7
Figuri: 2

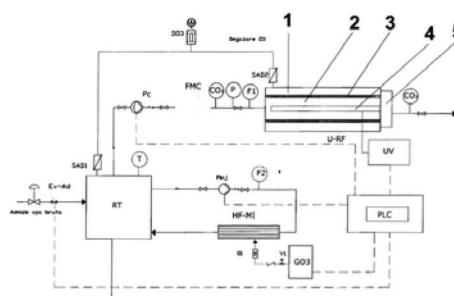
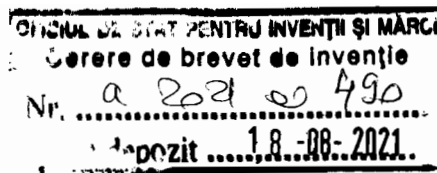


Fig. 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).





PROCEDEU HIBRID PENTRU DECONTAMINAREA APEI CU CONTINUT DE COMPUSI ORGANICI GREU BIODEGRADABILI IN MATRICI DIZOLVATE

DESCRIEREA INVENTIEI

Inventia se refera la un procedeu ecologic de tratare a apei cu continut de substante organice greu biodegradabile fara adaos de reactivi chimici, prin oxidare avansata si ultrafiltrare. Procedul poate fi aplicat atat apei brute utilizata ca si sursa de apa potabila (in cadrul statiilor de potabilizare a apei sau a instalatiilor de productie si imbuteliere a apei) cat si apei reziduale (industria chimica, farmaceutica), dupa etapa de epurare fizico-chimica clasica, inainte de deversare.

Poluarea apei reprezinta o principala cale de impact negativ asupra mediului, deoarece efluentii aposi actioneaza ca un vector eficient in raspandirea poluantilor de natura chimica. In acest context, pentru a evita impactul poluantilor, noi tehnologii de remediere au aparut in ultimii ani, in special in relatie cu compusii organici greu biodegradabili, a celor cu efect de disruptori endocrini, care genereaza efecte pe termen lung chiar si la concentratii foarte scazute. Vorbim aici in special de compusii din produsele farmaceutice si de cei din produsele de ingrijire personala (PCP). De asemenea, in agricultura este utilizata o cantitate mare de pesticide (peste doua milioane de tone de pesticide/an) in intreaga lume. Pesticidele din apele de suprafata au concentratii in jurul valorii de 1 µg/L. Cele mai intalnite pesticide sunt erbicidele alaclor si atrazina, fungicidul vinclozolin, insecticidul DDT si biocidul TBT. In majoritatea tarilor, legislatia curenta interzice o parte din pesticide. Totusi, fara un control eficient, substantele interzise sunt folosite. Aceste categorii de compusii au cateva proprietati comune: (1) efect negativ accentuat, pe termen lung asupra mediului, inclusiv asupra organismelor animale (si a omului) incepand de la concentratii extrem de mici; (2) migreaza usor in mediul acvatic si in sursele de apa (atat de suprafata cat si subterane); (3) nu pot fi degradati prin procedee conventionale, datorita biodegradabilitatii reduse si a pragurilor de concentratie situate sub capacitatea operationala a proceselor clasice de depoluare.

Deficiențele actuale ale tehnologiilor ce vizează eliminarea sau reducerea compușilor organici din apă deriva in principal din:

- 1) Acțiunea eficientă limitată doar asupra unor categorii restrânse de poluanți.
- 2) Limitarea eficienței datorită prezenței adiționale a unor specii anorganice si a suspensiilor in matricea naturala a apei.
- 3) Metodele de decontaminare actuale sunt axate în general pe separarea poluanților și mai puțin pe degradarea in situ a acestora.
- 4) Tehnologiile clasice de oxidare duc la o degradare incompleta a compusilor organici, cu risc de generare a compușilor secundari toxici.
- 5) Consumuri energetice ridicate, volume mari pentru sistemele de tratare, mentenanță dificilă.
- 6) Utilizarea de agenți chimici ce necesită condiții speciale de transport și depozitare.
- 7) Optimizarea și automatizare a proceselor dificila.
- 8) Imposibilitatea utilizării tehnologiilor la debite mici, în aplicații mobile sau în cele care necesita un timp scurt de răspuns și amorsare a proceselor (situatii de urgentă, accidente de mediu).
- 9) Neadresabilitatea compușilor organici la un nivel de concentrații foarte scăzut, cum este cazul poluanților organici emergenți.

Inventia propune un procedeu nou de tratare a apei in vederea eliminarii compusilor organici greu degradabili prin actiunea unor procese simultane de oxidare avansata si fotocataliza

combinat cu separare mecanică la interfața unor medii ultrafiltrante impregnate cu structuri bazate pe MWCNTs decorate cu nanoparticule de ZnO, în prezența speciilor dizolvate de oxigen activ generate prin injecția/dizolvarea și disocierea ozonului în debitul de apă tratată. Ozonul este introdus prin intermediul unei trepte speciale de injecție și contact apă/ozon, fiind injectat utilizând o membrană semipermeabilă cu structură "hollow fibre" din PTFE, în care apa circulă prin intermediul unor microtuburi cu pereții semipermeabili din PTFE hidrofob (impermeabili la apă, însă permeabili la ozon) și în care are loc dizolvarea directă, cu eficiență ridicată, a ozonului în apă fără generare de macrobule.

Membrana ultrafiltrantă fotocatalitică, care constituie "nucleul" procesului, are dublu rol:

-Filtrare mecanică și respingerea sarurilor dizolvate și a elementelor în suspensie, ce constituie elemente adsorbante pentru unii compuși organici poluanți.

-Degradare prin procese de fotocataliză și oxidare avansată la interfața situ-urilor active localizate la nivelul nanotuburilor de carbon multiwall decorate cu nanoparticule de ZnO.

Procesele de oxidare avansată se bazează pe generarea radicalului hidroxil ($^{\circ}\text{OH}$) care este un radical foarte reactiv ce poate mineraliza poluanții organici prezenți în apă, prin transformarea lor în produși finali de oxidare de tipul CO_2 și H_2O . Dintre acestea, fotocataliza în domeniul UV-VIS este o metodă intens studiată în ultimii ani care utilizează radiația din domeniul UV și/sau VIS pentru generarea de perechi electron-gol ($e^- - h^+$) într-un semiconductor. Perechile $e^- - h^+$ vor reacționa cu moleculele de apă formând radicali ce provoacă mineralizarea completă a poluanților organici. Avantajul acestei metode constă în: degradarea avansată a micropoluanților toxici, utilizarea unei surse de energie neconvenționale (lumina solară) și lipsa poluării secundare. O altă metodă de tratare a apelor este cea care utilizează membranele filtrante. În funcție de dimensiunea porilor membranei putem vorbi de: microfiltrare, ultrafiltrare sau nanofiltrare. Principiul de funcționare este separarea fizică. Prin această metodă se pot separa în mod eficient suspensiile solide, bacteriile și macromoleculele dizolvate în apă. Cu toate acestea, datorită hidrofobității inerente a membranelor are loc acumularea moleculelor de poluant atât pe suprafața membranei cât și în interiorul porilor, fapt ce duce la blocarea acestora. Acest lucru la rândul său determină scăderea fluxului de apă ce poate fi tratat, creșterea presiunii de lucru și implicit a consumului de energie și a costurilor prin frecvența curățare sau înlocuirea membranei. Eliminarea acestui dezavantaj se poate realiza prin acoperirea suprafeței sau adăugarea în volumul membranelor a unor constituenți cum ar fi nanoparticule anorganice (ZnO , ZrO_2 , SiO_2) sau nanostructuri de carbon (MWCNTs, GO) care să confere caracter hidrofilic membranei. Prin cuplarea nanotuburilor de carbon cu materiale semiconductoare se asigură o separare mai eficientă a perechilor electron-gol fotoinduse mărindu-se astfel răspunsul fotocatalitic precum și o deplasare spre vizibil a absorbției materialului compozit. În plus, nanostructurile de carbon cresc capacitatea de adsorbție a poluanților, asigură o distribuție omogenă a nanoparticulelor semiconductoare cu proprietăți fotocatalitice în interiorul membranei, evitând aglomerarea și îmbunătățind proprietățile mecanice ale membranei filtrante.

Combinarea proceselor de fotocataliză cu cele de fotoliză a ozonului dizolvat în debitul de apă tratată generează procese de oxidare avansată complementare intense, care duc la degradarea poluanților din mediul apos.

Procedeu hibrid de tratare a apei implică derularea simultană a unor procese cu acțiune complementară, astfel: proces de oxidare directă sub acțiunea ozonului dizolvat în apă, proces de fotoliză UV a ozonului cu generare de radicali OH înalt reactivi în volumul soluției apoase supusă fluxului de radiație în reactor, proces de fotocataliză la interfața și în straturile adiacente ale membranei ultrafiltrante cu înglobare MWCNTs decorate cu nanoparticule de ZnO și proces de separare mecanică transmembranară la nivelul membranei ultrafiltrante (Figura 1). Noutatea

procedeului consta in initierea si derularea tuturor acestor procese prin intermediul unui singur modul de decontaminare bazat pe un reactor hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica, in prezenta ozonului dizolvat in debitul de apa tratata, ozon injectat prin intermediul unui sistem de injectie cu membrana de tip «hollow fibre», la randament ridicat de dizolvare si cu evitarea formarii macrobulelor ce pot afecta procesele de fotoliza, fotocataliza, si separare transmembranara.

Exemplu de realizare a inventiei

Procedeul hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate, conform inventiei, este implementat in circuit sub presiune prin intermediul unui modul de decontaminare ce implica doua blocuri functionale principale: reactorul hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica (U-RF) si modulul de injectie si contact apa /ozon si oxidare directa, alcatuit din modulul de injectie ozon cu membrana (HF-MI) si rezervorul tampon de admisie si oxidare cu ozon (RT).

Fluxul de tratare implica componentele descrise mai jos (Fig. 2- Schema de proces). Un rezervor tampon de admisie apa bruta si oxidare cu ozon (RT) asigura admisia apei brute prin intermediul unei vane electrice comandate (EV-Ad). Apa bruta admisa in sistem este recirculata prin intermediul unei pompe de injectie (Pinj) cu puterea de 0,37 kW, care recircula apa din RT prin intermediul contactorului apa/ozon cu membrana semipermeabila de tip « hollow fiber » din PTFE (HF-MI). In contactor apa curge prin sectiunea centrala a tuburilor din PTFE, ozonul difuzand din exterior, prin membrana de PTFE, catre sectiunea interioara de curgere. Datorita caracterului hidrofob al membranei, porii acesteia sunt traversati doar de fluxul de oxigen imbogatit in ozon, care se dizolva direct in apa. Tipul de membrana utilizat are o porozitate de 40% si o dimensiune a porilor < 0,3 microni. Diametrul exterior al microtuburilor este de 2,3 mm, iar cel interior de 1,2 mm, cu o grosime a peretelui de 550 microni. Controlul presiunii de gaz si a debitului se face prin intermediul vanei de control V1 si a debitmetrului de ozon Q1. Debitul de recirculare al apei este controlat prin variatia turatiei pompei Pinj, pompa cu corp si rotor din otel inoxidabil. Ozonul este produs de catre generatorul de ozon GO3, din oxigenul separat din aerul atmosferic prin intermediul unui concentrator de oxigen integrat. Capacitatea reglabila a generatorului de ozon este de pana la $Q = 5 \text{ g O}_3/\text{h}$, furnizat intr-un flux de oxigen cu o concentratie $C > 90\%$ si un debit $Q = 5 \text{ NI}/\text{min}$.

In regim de echilibru se urmareste obtinerea unei concentratii de ozon dizolvat de aprox 2 mg/l apa, in RT. Surplusul de ozon nedizolvat si nereactionat in prima faza prin procese de oxidare directa cu poluantii din apa este evacuat prin intermediul supapei automate de degazare SAD1 si dirijat catre distrugatorul termocatalitic de ozon DO3.

Apa cu concentratie de ozon dizolvat din RT este recirculata prin intermediul pompei de recirculare, ridicare presiune si admisie in reactor (Pc), vehiculata prin filtrul mecanic cu cartus din inox de 10 microni (FMC) si introdusa in sectiunea centrala a reactorului hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica (2- camera de admisie si fotoliza/fotocataliza).

Reactorul are o configuratie coaxiala, camera de admisie si fotoliza/fotocataliza (2) fiind amplasata in sectiunea centrala, sectiune ce include si sursa de radiatie UV/VIS (4). In configuratia testata, sursa de radiatie este constituita dintr-o sursa UV (lampa) de joasa presiune, cu puterea absorbita de 25 W (TUV 25 W T8- Philips) si o putere radiata in spectrul UV-C de 7 W. Ca si sursa alternativa, in sectiunea centrala a reactorului destinat sursei de radiatie UV (tub quartz) poate fi amplasata o arie LED in domeniul UV sau VIS, cu emisie controlata prin modularea frecventei de alimentare si control al factorului de umplere.

In camera de admisie si fotoliza/fotocataliza au loc doua categorii de procese: fotoliza directa a ozonului dizolvat in apa (in etapa anterioara, prin intermediul contactorului apa/ozon-

HF-MI), cu generare de radicali liberi si oxigen activ urmata de degradarea oxidativa a compusilor organici din matricea dizolvata a apei si procesele de fotocataliza la interfata membranei ultrafiltrante fotocatalitice (3). Membrana ultrafiltranta fotocatalitica este, de asemenea, dispusa coaxial, apa tratata fiind separata in compartimentul (camera) de apa tratata (1). La interfata si in volumul membranei se deruleaza procese hibride simultane de fotocataliza si separare mecanica prin filtrare transmbranara. Circulatia hidraulica in reactorul hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica este de tip laminar, cu asigurarea timpului necesar derularii eficiente a reactiilor de fotocataliza si fotocataliza, circulatie asigurata si de prezenta si configuratia camerei de colectare a apei tratate (5).

Procesele hibride cuplate ce au loc in camera de admsie , fotocataliza/fotocataliza, la interfata membranei fotocatalitice ultrafiltrante si in zona transmbranara sunt reprezentate schematic in Figura 1. Apa tratata prin procese hibride se separa in camera de apa tratata (1), de unde este preluata in camera de apa tratata (5) si reintrodusa in circuitul de recirculare si tratare. Volumul de apa din RT poate fi supus unor procese succesive, iterative de decontaminare, pana la obtinerea unui prag minim acceptabil de concentratie a poluantilor din apa. Reactorul U-RF este prevazut la partea superioara cu o supapa automata de degazare (SAD2) care colecteaza eventualele debite de oxigen/ozon degazat si il dirijeaza catre distrugatorul termocatalitic de ozon (DO3).

Membrana coaxiala ultrafiltranta fotocatalitica asigura nucleul de derulare a proceselor hibride de decontaminare. Ea este realizata pe baza de polyvinylidene fluoridă (PVDF), care este un polimer semicristalin caracterizat printr-o buna rezistenta chimica, stabilitate termica si rezistenta excelenta la imbatranire, cerinte foarte importante pentru aplicatii practice [F. Liu, N. A. Hashim, Y. T. Liu, M. R. M. Abed, and K. Li, Progress in the production and modification of PVDF membranes." J. Membr. Sci. 375 (2011) 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.03.014>]. PVDF este solubil in solventi obisnuiti, cum ar fi dimetilacetamida (DMAc), N, N-dimetilformamida (DMF) și N-metil-2-pirolidona (NMP), aceste membrane putand fi produse la scara larga din solutie prin procesul de inversie al fazelor [J. Hong, Y. He, Polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane blended with nano-ZnO particle for photo-catalysis self-cleaning, Desalination 332 (2014) 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.10.026>; Argurio, E. Fontananova, R. Molinari, E. Drioli, Photocatalytic membranes in photocatalytic membrane reactors, Processes 6 (2018) 162. <https://doi.org/10.3390/pr6090162>.]. Membranele PVDF utilizate au fost produse in laborator prin metoda inversiei de faza utilizandu-se un amestec PVDF, -Poly(ethylene glycol) - PEG400, DMF, MWCNTs decorate cu nanoparticule de ZnO. Noutatea metodei de prepararea consta in utilizarea refluxarii pentru omogenizarea amestecului, acesta fiind menținut la 60°C pe o plită magnetică la viteza de rotatie de 100 rpm timp de 24h. Pasul urmator consta in evaporarea solventului la temperatura de 60°C (fără amestecare) timp de 5h. Amestecul astfel obținut se întinde uniform pe o foița de aluminiu utilizându-se un aplicator de filme de grosime ajustabilă. Viteza de întindere folosită este de 0.15 mm/s, grosimea filmului obținut e de 160 μm, lungimea filmului ajustabilă între 10-250 mm iar lățimea e de max 150mm. O alta noutate a metodei consta in utilizarea unei temperature scazute (16C) in baia de coagulare pentru a se minimiza procesul de colapsare a porilor.

Membrana PVDF este alcatuita dintr-un amestec de faze polimorfe α , β și γ iar prin introducerea MWCNT decorate cu nanoparticule de ZnO, are loc o stabilizare a fazei polimorfe γ . Imaginile de microscopie SEM indica prezenta in interiorul membranei a unor pori de dimensiuni mari, distribuiti uniform, imaginea transversala aratand formarea unei structuri de tip "burete". Structura poroasa obtinuta este una complexa, existand mezopori cu diametrul cuprins intre 2 ÷ 17 nm, precum si macropori cu diametrul mediu de 90 nm.

Inglobarea in masa si la suprafata a nanostructurilor pe baza de nanotuburi de carbon si nanoparticule genereaza simultan procese de fotocataliza (sub actiunea radiatiei VIS/UV) in paralel cu procese de separare mecanica transmembranara.

Sistemul de comanda si control este bazat pe o arhitectura PLC (PLC Siemens S7-1500 si HMI SIMATIC KTP 900) care comanda debitele de recirculare si injectie prin comanda pompelor Pc si Pinj (variator de turatie-convertizor de frecventa), functionarea generatorului de ozon si a sursei de radiatie UV/VIS (lampa UV sau arie LED UV/VIS) si preia semnalele de la traductoarele de debit (F1,F2) si traductorul de presiune (P), traductoarele de concentratie de ozon dizolvat (CO3).

REVENDICARI

- (1) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate, care implica procese simultane de oxidare directa cu ozon, oxidare avansata prin fotoliza ozonului si fotocataliza la interfata unor membrane, si procese de separare transmembranara.
- (2) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabilii in matrici dizolvate care utilizeaza membrane ultrafiltrante, la interfata carora se genereaza, sub actiunea radiatiei UV/VIS procese de degradare fotocatalitica, iar in volumul acestora procese de filtrare transmembranara
- (3) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate in care membranele utilizate sunt membrane ultrafiltrante din PVDF impregnate cu nanostructuri pe baza de nanotuburi de carbon (MWCNTs) decorate cu nanoparticule de oxid de Zn, omogenizarea amestecului realizandu-se prin refluxare la 60C iar inversia fazelor avand loc intr-o baie de coagulare la temperatura scazuta (16C)
- (4) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate compus dintr-un rezervor tampon si de oxidare directa cu ozon (RT), o pompa de circulatie si ridicare presiune (Pc), un filtru mecanic cu cartus de inox de 10 microni (FMC), un reactor hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica (U-RF), si un circuit de recirculare si injectie ozon alcatuit dintr-o pompa de recirculare si injectie ozon (Pinj), un modul de injectie ozon (HF-MI) si un generator de ozon (GO3).
- (5) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate care include un reactor hibrid cu membrana filtranta fotocatalitica (U-RF) care este conceput intr-o structura coaxiala ce include o camera de admisie, fotoliza/fotocataliza (1) in care au loc procese de fotoliza ozonului dizolvat si fotocataliza la interfata membranei fotocatalitice, o sursa de radiatie UV/VIS (4), o membrana fotocatalitica ultrafiltranta dispusa coaxial, o camera apa tratata (1) cu sistem de colectare al apei tratate (5).
- (6) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate caracterizat prin aceea ca injectia si dizolvarea ozonului in fluxul de apa tratata se face prin recirculare, prin intermediul unui modul de injectie apa/ozon cu membrana de tip "hollow fibre", ce evita formarea macrobulelor si a turbulentei hidraulice.
- (7) Procedeu hibrid pentru decontaminarea apei cu continut de compusi organici greu biodegradabili in matrici dizolvate in care controlul procesului de decontaminare se face controland procesele de oxidare directa, fotoliza, fotocataliza si separare transmembranara prin controlul automat al pompelor de circulatie (Pc) si injectie ozon (Pinj) si al generatorului de ozon (GO3) in functie de debitele, presiunea si concentratiile de ozon dizolvat la intrarea si iesirea din reactorul hibrid cu membrana ultrafiltranta fotocatalitica (U-RF).

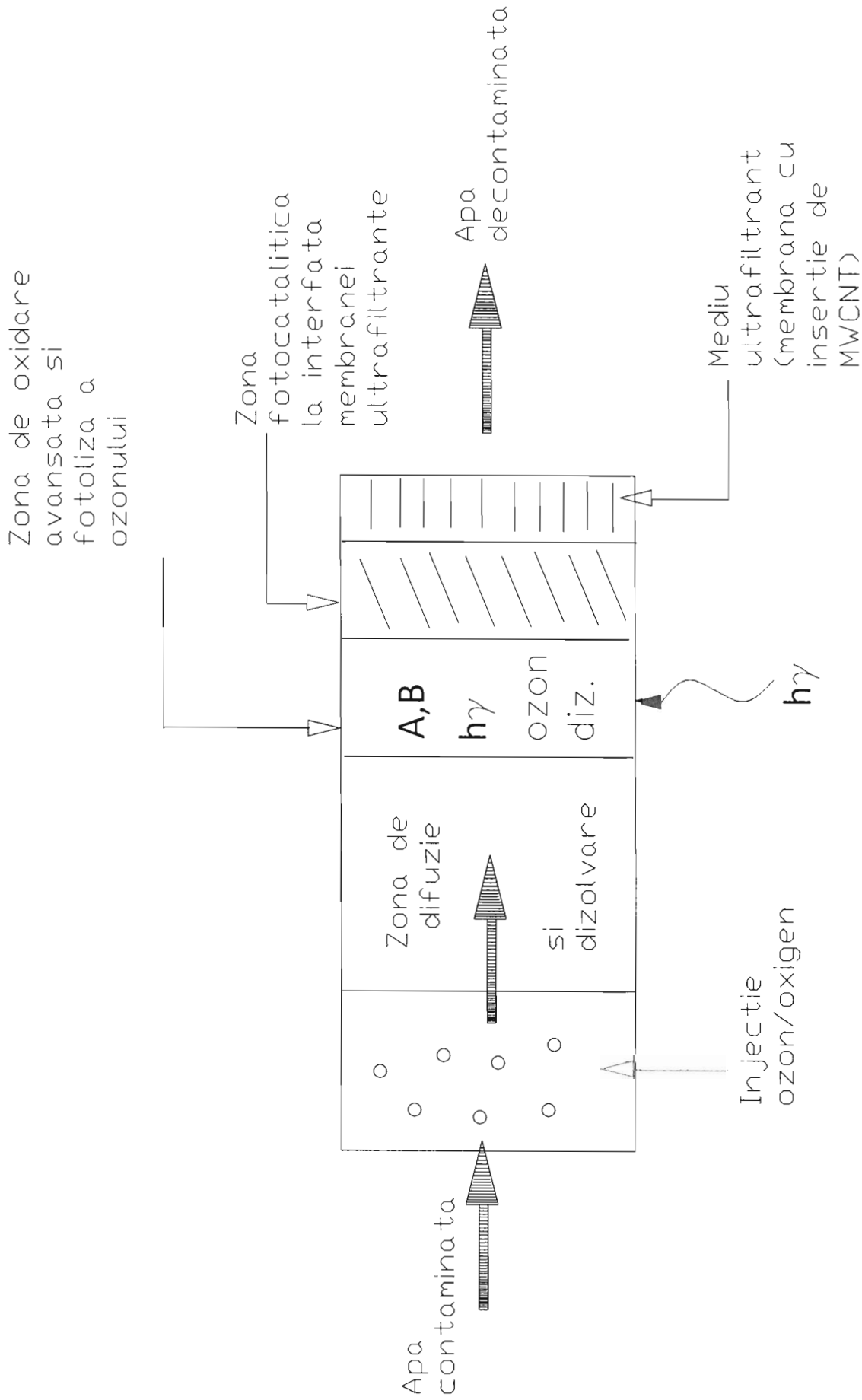


Fig.1. Procese cuplate de oxidare avansata, fotoliza/fotocataliza si separare transmembrana la interfata membranei ultrafiltrante cu inglobare de nanotuburi de carbon decorate

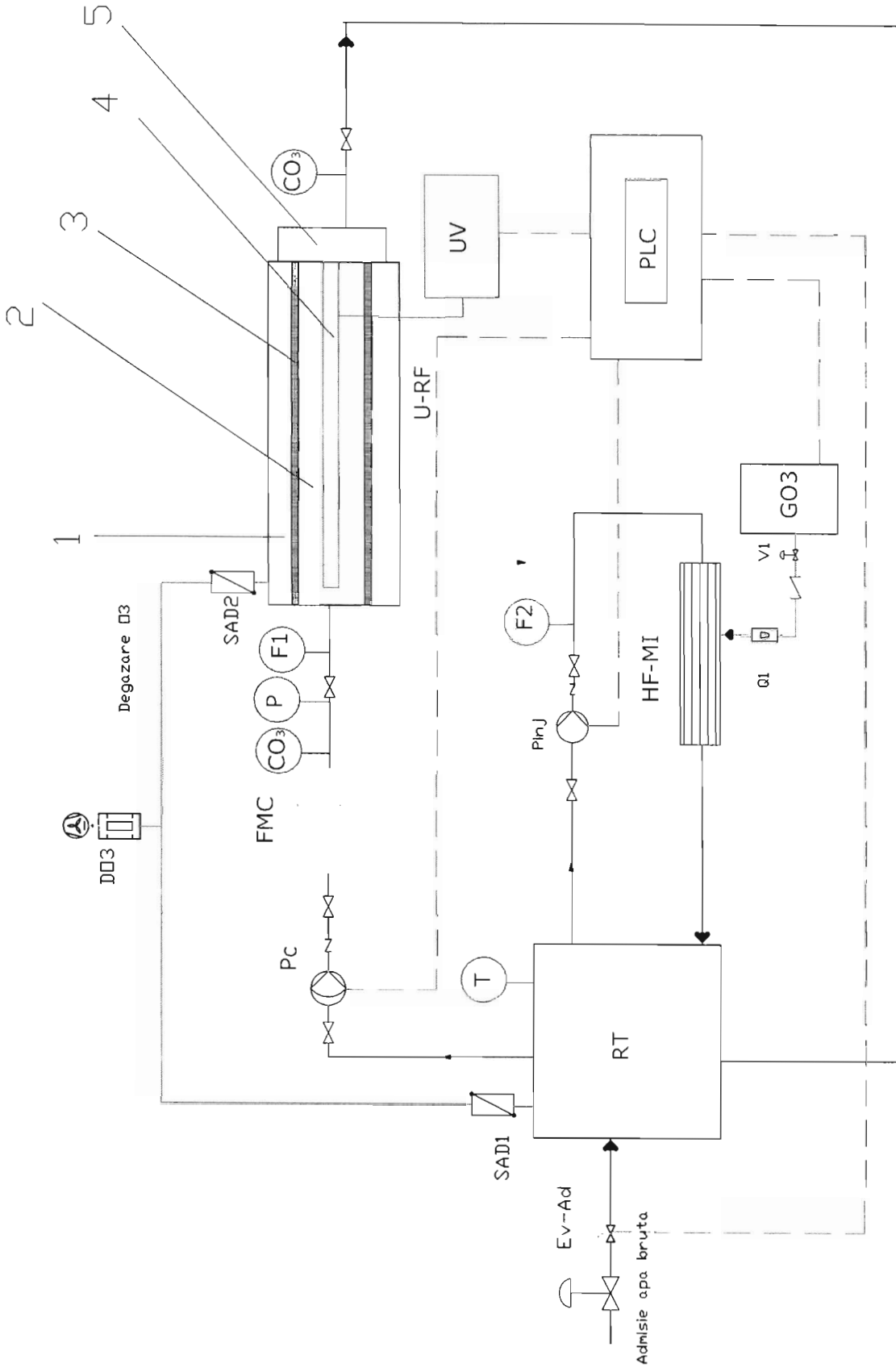


Fig. 2. Schema de proces-modul de decontaminare