



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00031**

(22) Data de depozit: **17/01/2014**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/07/2020** BOPI nr. **7/2020**

(30) Prioritate:
18/01/2013 US 61/754 021

(41) Data publicării cererii:
26/02/2016 BOPI nr. **2/2016**

(73) Titular:
• **CANDU ENERGY INC., 2285 SPEAKMAN
DRIVE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA**

(72) Inventatori:
• **BEN BINGYL ZHAI, 192 SPRING AZURE
CRES., OAKVILLE, ONTARIO, CA**

(74) Mandatar:
**NESTOR NESTOR DICULESCU
KINGSTON PETERSEN - CONSILIERE ÎN
P.I. S.R.L., ȘOS. BUCUREȘTI PLOIEȘTI
NR. 1A, BUCHAREST BUSINESS PARK,
CORP A, ET. 1, CAMERELE 9 ȘI 10,
BUCUREȘTI**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**RO 120512 B1; RO 122429 B1;
CA 2533625 A1; US 4986112**

(54) **SISTEM ȘI METODĂ DE DETECTARE A UNUI CANAL
DE COMBUSTIBIL CARE PREZINTĂ SCURGERE
DINTR-UN REACTOR NUCLEAR**



1 Invenția se referă la o metodă și un sistem de identificare a unui canal de combustibil
individual din care se produc scurgeri dintr-un reactor nuclear de tip CANDU. Reactorul
3 CANDU (CANada Deuterium Uranium) este un reactor de fisiune moderat cu apă grea, răcit
cu apă grea sau cu apă ușoară, capabil de a folosi combustibili formați din uraniu natural,
5 uraniu ușor îmbogățit, uraniu reciclat, oxizi micști, actinide fisionabile și fertile, și combinații
ale acestora.

7 Se cunoaște, din cererea de brevet **RO 120512 B1**, având data publicării 20.09.2000,
cu titlul "*Ansamblu de canale de combustibil și metodă de creștere a puterii de canal critice,*
9 *într-un reactor nuclear presecurizat*", un sistem de ameliorare a puterii de canal critice (CCP),
destinat unui reactor nuclear presurizat, răcit cu apă, cu canal de combustibil, conceput
11 pentru a fi reaprovisionat direct, prin introducerea și retragerea barelor de combustibil, în sau
pornind de la o pluralitate de ansambluri de canale de combustibil. Elementele servesc la
13 asamblarea barelor de combustibil în perechi, astfel încât elementele lor de combustibil să
se afle aliniate, ceea ce permite diminuarea rezistenței hidraulice în canalul de combustibil
15 și ameliorarea puterii de canal critice. Elementul de asamblare permite evitarea unei alinieri
greșite a barelor regrupate în perechi, pe durata timpului lor de ședere în interiorul
17 reactorului, nealinieria având loc datorită oscilației și vibrației continue a barelor de
combustibil, supuse la debite masice de agent termic și datorate separării axiale a barelor,
19 atunci când acestea vin în impact unele cu altele, în timpul operației de aprovizionare.

21 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția se referă la identificarea cu rapiditate a
unei scurgeri dintr-un canal de combustibil al unui reactor nuclear.

23 Sistemul de detectare a scurgerilor individuale dintr-un canal de combustibil aflat
într-un reactor rezolvă problema de mai sus prin aceea că acesta cuprinde:

25 - o primă multitudine de canale de intrare, fiecare canal de intrare fiind alimentat, în
paralel, cu un fluid circular la un spațiu circular al fiecărei multitudini de canale de combustibil
din reactor;

27 - o multitudine de canale de ieșire, fiecare canal de ieșire colectând, în paralel, fluidul
circular care iese din spațiul circular al fiecărei a doua multitudine de canale de combustibil
29 din reactor.

Sistemul mai cuprinde:

31 - un detector poziționat la o ieșire a fiecăreia din multitudinea de căi de ieșire;
33 - o vană de izolare poziționată la o intrare a fiecăreia din multitudinea de căi de
intrare;

35 - un fluid circular ce include un gaz;

37 - un fluidul circular ce include cel puțin unul dintre elementele chimice dioxid de
carbon, heliu, azot și aer în formă condensată;

39 - multitudinea de căi de intrare pătrund orizontal în cupola reactorului;

41 - multitudine de căi de ieșire ies vertical din cupola reactorului;

43 - multitudinea de căi de intrare pătrund vertical în cupola reactorului;

45 - multitudinea căilor de ieșire ies orizontal din cupola reactorului;

47 - fiecare din prima multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din
multitudinea de căi de intrare este localizată în reactor într-o primă poziție comună;

49 - prima poziție comună include o poziție orizontală comună;

51 - fiecare din a doua multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din
multitudinea de căi de ieșire este localizată în reactor într-o a doua poziție comună;

53 - a doua poziție comună include o poziție verticală comună;

55 - fiecare din prima multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din
multitudinea de căi de intrare este localizată într-o primă secțiune a reactorului;

RO 130947 B1

- fiecare din a doua multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de ieșire este localizată în prima secțiune a reactorului;	1
- cuprinde, în plus, o a doua multitudine de căi de intrare, legate în serie cu prima multitudine de căi de ieșire, prin fiecare din a doua multitudine de căi de intrare circulând fluid circular, în paralel, printr-un spațiu circular al fiecăreia din a treia multitudine de canale de combustibil localizată într-o a doua secțiune a reactorului;	3
- cuprinde și o a doua multitudine de căi de ieșire legate în serie cu prima multitudine de căi de intrare, fiecare din a doua multitudine de căi de ieșire colectând, în paralel, fluid circular care iese dintr-un spațiu circular al fiecăruia din a treia multitudine de canale de combustibil localizate într-o a doua secțiune a reactorului;	7
- prima multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de intrare diferă de a doua multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de ieșire.	9
Metoda de detectare a scurgerilor individuale dintr-un canal de combustibil aflat într-un reactor cuprinde următoarele etape:	11
- alimentarea cu fluid circular a reactorului printr-o multitudine de căi de intrare, fiecare din multitudinea de căi de intrare alimentând cu fluid circular într-un spațiu circular al unei multitudini de canale de combustibil din reactor;	13
- colectarea fluidului circular care iese din reactor, printr-o multitudine de căi de ieșire, fiecare din multitudinea de căi de ieșire primind, în paralel, fluidul circular care iese dintr-un spațiu circular aflat într-o a doua multitudine de canale de combustibil din reactor.	15
Metoda mai cuprinde:	17
- detectarea umezelii din fluidul circular la o ieșire a uneia din multitudinea de căi de ieșire pentru a identifica o primă poziție a unui canal de combustibil individual care are o scurgere;	19
- stoparea succesivă a fluidului circular de a circula prin fiecare din multitudinea de căi de intrare, după detectarea umidității în fluidul circular, pentru a identifica o a doua poziție a canalului de combustibil individual în care are loc scurgerea;	21
- detectarea umidității din fluidul circular, pentru a identifica o primă poziție a unui canal de combustibil în care are loc scurgerea, include detectarea umidității din fluidul circular pentru a identifica o poziție verticală a canalului de combustibil la care are loc scurgere din reactor;	23
- stoparea succesivă a fluidului circular pentru a identifica o a doua poziție a canalului de combustibil la care are loc scurgere presupune identificarea unei poziții orizontale a canalului de combustibil la care are loc scurgere din reactor;	25
- alimentarea fluidului circular în reactor printr-o multitudine de căi de intrare, în care fiecare din multitudinea de căi de intrare alimentează fluid circular la un spațiu circular al unei multitudini de canale de combustibil din reactor din poziție orizontală comună;	27
- colectarea fluidului circular ce iese din reactor într-o multitudine de căi de ieșire, fiecare din multitudinea de căi de ieșire primind, în paralel, fluid circular care iese dintr-un spațiu circular al fiecăruia din a doua multitudine de canale de combustibil din reactor din poziție verticală comună;	29
- alimentarea cu fluid circular include alimentarea cu un gaz;	31
- alimentarea cu fluid circular include alimentarea cu cel puțin unul dintre elementele chimice dioxid de carbon, heliu, azot și aer în formă condensată.	33
Soluția tehnică, conform invenției, implică următorul avantaj major: timp minim de răspuns în cazul unei scurgeri dintr-un canal reactor.	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

1 Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu:
- fig. 1, care reprezintă o vedere în perspectivă a unui miez de reactor al unui reactor
3 nuclear de tip CANDU;
- fig. 2, care ilustrează schematic canalele de combustibil ale unui reactor nuclear de
5 tip CANDU;
- fig. 3, care reprezintă o vedere în secțiune a unui canal de combustibil al reactorului
7 nuclear de tip CANDU;
- fig. 4, care ilustrează schematic o porțiune a unui sistem de fluid circular existent;
9 - fig. 5, care ilustrează o porțiune a două linii pentru o coloană de canale de
combustibil;
11 - fig. 6, care ilustrează opt rânduri și opt canale de combustibil din coloană;
- fig. 7, care ilustrează sistemul de fluid circular;
13 - fig. 8, care ilustrează sistemul de fluid circular cu detector de umiditate instalat la
capătul fiecărui tub de ieșire din cupolă;
15 - fig. 9a, b, care ilustrează un sistemul de fluid circular modificat;
- fig. 10, care ilustrează schematic un alt sistem de fluid circular modificat pentru un
17 reactor nuclear de tip CANDU.

Înainte de explicarea în detaliu a oricărei forme de realizare a invenției, trebuie să se
19 înțeleagă că invenția nu se limitează în aplicarea acesteia la detaliile constructive și la
dispunerea componentelor așa cum sunt prezentate în descrierea care urmează sau cum
21 sunt ilustrate în desenele care urmează. Invenția poate fi realizată și în alte forme, și aplicată
sau efectuată în diferite moduri.

23 Fig. 1 este o vedere în perspectivă a unui miez de reactor al unui reactor **6** de tip
CANDU. Miezul reactorului este, de regulă, într-o cupolă **8** care este închisă cu o închidere
25 pneumatică pentru controlul radiației și pentru protecție. Un vas **10**, în general cilindric,
cunoscut drept calandria, conține un moderator apă grea. Calandria **10** are o manta **14**
27 circulară și o placă **18** de tuburi la un prim capăt **22** și la un al doilea capăt **24**. Placa **18** de
tuburi include o multitudine de găuri, în fiecare dintre acestea fiind un canal **28** de
29 combustibil. După cum se vede în fig. 1, un număr de canale **28** de combustibil trece prin
plăcile **18** de tuburi ale calandriei **10** de la primul capăt **22** la al doilea capăt **24**. De exemplu,
31 după cum este ilustrat schematic în fig. 2, un reactor de tip CANDU poate avea 380 de
canale **28** de combustibil și canalele de combustibil pot fi poziționate în calandria **10** într-o
33 multitudine de rânduri sau poziții orizontale (de exemplu: 22 de rânduri notate de la A la W
în fig. 2) și o multitudine de coloane sau poziții verticale (de exemplu: 22 de coloane notate
35 de la 1 la 22 în fig. 2).

Fig. 3 este o vedere în secțiune a unui canal **28** de combustibil. După cum se vede
37 din fig. 3, fiecare canal de combustibil este înconjurat de un tub **32** calandria ("TC"). TC **32**
formează o primă separație între moderatorul apă grea al calandriei **10** și canalele **28** de
39 combustibil. TC **32** sunt poziționate în găurile din placa **18** de tuburi. Un tub **36** de presiune
("TP") formează un perete interior al canalului **28** de combustibil. TP **36** asigură o conductă
41 pentru agentul de răcire al reactorului și fasciculele sau ansamblurile **40** de combustibil. TP
36 ține, de exemplu, două sau mai multe ansambluri **40** de combustibil și acționează ca o
43 conductă pentru agentul de răcire al reactorului care trece prin fiecare ansamblu **40** de
combustibil.

Un spațiu **44** circular este definit de golul dintre TP **36** și TC **32**. Spațiul **44** circular poate fi umplut cu un fluid circular în circulație. Fluidul circular poate include un gaz sau un lichid. De exemplu, fluidul circular poate include dioxid de carbon, heliu, azot, aer sau combinații ale acestora, uscate. Spațiul **44** circular și fluidul circular sunt parte a unui sistem de fluid circular ("AFS"). Sistemul de fluid circular formează o separație între TC **32** și TP **36** care asigură izolația termică dintre agentul de răcire al reactorului fierbinte și fasciculele **40** de combustibil din TP **36** și TC-urile **32** relativ reci. Sistemul de fluid circular poate furniza și o indicație a unui TP **36** care are scurgeri prin prezența umidității, deuteriului sau a ambelor în fluidul circular. Între TC **32** și TP **36** poate fi dispus un distanțier **48** circular sau un arc garter. Distanțierul **48** circular menține spațiul dintre TP **36** și TC-ul **32** corespunzător, permițând trecerea fluidului circular prin și în jurul spațiului **44** circular.

Fig. 4 ilustrează o porțiune a unui sistem **50** de fluid circular existent. Agentul de răcire (de exemplu: apă grea, D_2O) din interiorul PT-urilor **36** este la presiune ridicată (de exemplu: aproximativ 10 Mpa sau mai mare), o temperatură ridicată (de exemplu: aproximativ 260°C sau mai mare) și este înalt radioactiv în timpul funcționării normale a reactorului. După cum s-a descris mai sus, TP-urile **36** sunt plasate în interiorul TC-urilor **32**, care formează spațiul **44** circular dintre fiecare TP **36** și fiecare TC **32**. Un fluid circular, cum ar fi dioxidul de carbon (CO_2), este circulat apoi prin spațiile **44** circulare din fiecare canal **28** de combustibil de la un tub **52** de intrare. Dacă agentul de răcire se scurge în spațiul **44** circular dintr-un TP **36**, agentul de răcire se evaporă și umiditatea rezultată trece, împreună cu fluidul circular, la un tub **54** de ieșire. Așa cum se descrie mai jos, în aval de tuburile **54** de ieșire sunt conectate detectoare de umiditate și analizoare de punct de rouă, pentru a detecta umiditatea din fluidul circular în circulație, care indică un canal **28** de combustibil din care se produce scurgere.

După cum s-a descris mai sus, în legătură cu fig. 1, calandria **10** este localizată în interiorul unei cupole **8**. De aceea, instalarea unui tub **52** de intrare și a unui tub **54** de ieșire pentru fiecare canal **28** de combustibil necesită 380 de penetrări de intrare și 380 de penetrări de ieșire prin pereții cupolei **8**. Ca urmare, în unele forme de realizare, spațiul **44** circular asociat unui canal **28** de combustibil este legat în serie cu spațiul **44** circular asociat unuia sau mai multor altor canale **28** de combustibil pentru a forma un "șir" sau "linie". De aceea, fluidul circular poate fi circulat printr-o linie pentru a ajunge la canalele de combustibil multiple în serie, ceea ce reduce numărul tuburilor **52** de intrare și al tuburilor **54** de ieșire. De exemplu, fig. 5 ilustrează o porțiune a două linii **55a** și **55b** pentru o coloană de canale **28** de combustibil. După cum se prezintă în fig. 5, fiecare linie **55a** și **55b** leagă rândurile alternante ale canalelor de combustibil dintr-o anumită coloană.

Ca exemplu suplimentar, când reactorul **6** are 380 de canale **28** de combustibil dispuse ca în fig. 2, prima linie pentru canalele **28** de combustibil poziționate în coloana 1 leagă spațiile **44** circulare asociate canalelor **28** de combustibil poziționate în rândurile J, L și N. A doua linie leagă spațiile **44** circulare asociate canalelor **28** de combustibil din coloana 1 și rândurile K, M și O. În mod similar, prima linie pentru coloana 11 leagă spațiile **44** circulare asociate canalelor **28** de combustibil poziționate în rândurile A, C, E, G, J, L, N, P, R, T și V ale coloanei 11, și a doua linie leagă spațiile **44** circulare asociate canalelor **28** de combustibil poziționate în rândurile B, D, F, H, K, M, O, Q, S, U și W ale coloanei 11. De aceea, când reactorul are 380 de canale de combustibil dispuse ca în fig. 2, fiecare linie leagă spațiul **44** circular a 3 până la 11 canale **28** de combustibil. Ca urmare, după cum este ilustrat în mod schematic în fig. 6, deoarece AFS **50** include 44 tuburi **52** de intrare și 44 de tuburi **54** de ieșire (și nu 380 de tuburi de intrare și 380 de tuburi de ieșire), sunt necesare

numai 44 de penetrări de intrare și 44 de penetrări de ieșire prin cupola **8** a calandriei. Mai mult, în unele forme de realizare, după cum se prezintă în fig. 6, tuburile **54** de ieșire sunt combinate într-o singură linie și aceasta este trecută prin cupola **8**. Ca urmare, este necesară numai o singură penetrare de ieșire prin cupola **8** a calandriei pentru AFS **50**. Se înțelege că, pentru a simplifica fig. 6, sunt ilustrate numai opt rânduri și opt coloane ale canalelor **28** de combustibil.

Se înțelege că, în unele realizări, în locul legării în serie a rândurilor alternante a canalelor de combustibil dintr-o anumită coloană, sistemele de fluid circular existente utilizează o primă linie care leagă în serie o primă jumătate a canalelor **28** de combustibil dintr-o anumită coloană și o a doua linie care leagă în serie a doua jumătate a canalelor **28** de combustibil din coloană. De asemenea, unele sisteme de fluid circular existente utilizează mai mult de două linii per coloană pentru a lega în serie canalele **28** de combustibil din coloană.

Fig. 7 ilustrează AFS **50** existent care include o porțiune a sistemului **50** exterior calandriei **10**. După cum se vede din fig. 7, cele 44 de tuburi de ieșire **54** sunt conectate la două indicatoare **56** de scurgere. Agentul de răcire care se scurge în fluidul circular se colectează în indicatoarele **56** de scurgere și se poate vedea prin ferestre (de exemplu, ferestre din sticlă) în indicatoarele **56** de scurgere. Apa colectată curge apoi în unitatea **57** care generează o alarmă când apare lichid în apa colectată. După indicatoarele **56** de scurgere, fluidul circular (adică vaporii și CO₂ gaz, dar nu apă) se combină într-o singură linie **58** care penetrează peretele cupolei **8** a calandriei.

Fluidul circular din linia **58** combinată trece printr-un schimbător **60** de căldură care reduce temperatura fluidului circular. Fluidul circular răcit trece apoi printr-un debitmetru **62** și prin unul sau mai multe analizoare **64** de punct de rouă. Analizoarele **64** de punct de rouă pot detecta umiditatea, deuteriul (de exemplu în formă de vaporii) sau ambele din fluidul circular. Fluidul circular care trece prin analizoarele **64** de punct de rouă este apoi presurizat de un compresor **66**, divizat în 44 de ramificații și alimentat în 44 de tuburi **52** de intrare. În unele forme de realizare, se utilizează multiple analizoare **64** de punct de rouă pentru a detecta umiditatea, deuteriul sau ambele din fluidul circular, furnizat de una sau mai multe linii. Vanele de izolare instalate pe căile **54** de ieșire pot fi folosite și pentru a controla debitul fluidului circular la unul sau mai multe analizoare **64** de punct de rouă.

Deși liniile care leagă spațiile **44** circulare ale canalelor **28** de combustibil multiple și linia **58** singulară combinată reduc numărul de penetrări necesare prin cupola **8** a calandriei, folosirea acestor linii combinate împiedică AFS **50** de a identifica canalul de combustibil individual din care are loc scurgerea (de exemplu, prin poziția rândului și a coloanei). În particular, când tuburile **54** de ieșire sunt combinate într-o singură cale **58** de ieșire, după cum este ilustrat în fig. 6 și 7, analizoarele **64** de punct de rouă pot identifica numai dacă există sau nu o scurgere în calandria **10**, dar nu se poate identifica canalul de combustibil individual, particular, din care se produce scurgerea.

Pentru a rezolva această problemă, în unele forme de realizare, se instalează un detector **67** de umiditate la capătul fiecărui tub **54** de ieșire din cupola **8**, după cum este ilustrat în fig. 8. Folosind această configurație, dacă are loc o scurgere dintr-un anumit canal **28** de combustibil (de exemplu, așa cum este indicat cu steluță în fig. 8) aceasta se detectează de detectorul **67** de umiditate din aval. Ca urmare, detectorul **67** de umiditate care detectează scurgerea identifică linia particulară care include canalul **28** de combustibil din care are loc scurgerea. Totuși, AFS **50** nu poate încă identifica un anumit canal de combustibil (de exemplu, prin poziția rândului și a coloanei) din linia identificată în care are loc scurgerea.

Ca alternativă sau în plus, AFS **50** poate include o vană **68** de izolare asociată fiecărui tub **52** de intrare (vezi fig. 6 și 8). Vana **68** de izolare poate fi deschisă pentru a permite fluidului circular să curgă prin linie și poate fi închisă pentru a stopa curgerea fluidului circular prin linie. După detectarea inițială a unei scurgeri, AFS **50** poate închide succesiv fiecare vană **68** de izolare. Când vana **68** de izolare asociată liniei care conține canalul de combustibil din care are loc scurgerea este închisă, AFS **50** nu va mai detecta o scurgere, deoarece fluidul circular nu va mai circula prin linia care conține canalul **28** de combustibil din care are loc scurgerea. De aceea, AFS **50** poate utiliza vane **68** de izolare pentru a identifica linia particulară care include canalul **28** de combustibil din care are loc scurgerea. Din nou, chiar când se folosesc vane **68** de izolare, AFS **50** existent poate identifica numai o linie particulară care include un canal de combustibil din care are loc scurgere și nu poate identifica canalul **28** de combustibil individual (de exemplu, prin poziția rândului și a coloanei) din linia identificată din care are loc scurgerea.

Fig. 9a, b ilustrează un AFS **70** modificat. În acest AFS **70**, porțiunea AFS **70** din afara cupolei **8** a calandriei este, în general, aceeași ca AFS **50** existent ilustrat în fig. 7. Similar AFS **50**, AFS **70** modificat poate fi folosit cu un reactor de tip CANDU care include 380 de canale de combustibil dispuse așa cum este ilustrat în fig. 2 (adică 22 de coloane și 22 de rânduri) (totuși, pentru a simplifica fig. 9a, sunt ilustrate numai opt coloane și opt rânduri). Pe baza acestei configurații, AFS **70** include 22 de căi **72** de ieșire și 22 de căi **74** de intrare. În unele forme de realizare, căile **74** de intrare sunt furnizate orizontal în reactorul **6** printr-un perete al cupolei **8** și căile **72** de ieșire ies vertical din reactorul **6** printr-un perete diferit al cupolei **8**.

Fluidul circular curge prin 44 de căi de intrare și 44 de căi de ieșire în paralel. În particular, fiecare cale **74** de intrare alimentează fluid circular, în paralel, în spațiul **44** circular al fiecărui canal **28** de combustibil având o poziție orizontală comună (adică fiecare canal **28** de combustibil din același rând). De aceea, fluidul circular de la aceeași cale **74** de intrare curge prin fiecare canal **28** de combustibil din același rând în paralel. Deoarece fluidul circular curge prin fiecare canal **28** de combustibil, fluidul circular iese din fiecare canal **28** de combustibil și intră în una din căile **72** de ieșire. În special, fluidul circular care iese din fiecare canal **28** de combustibil, având o poziție verticală comună (adică fiecare canal **28** de combustibil în aceeași coloană), curge, în paralel, în aceeași cale **72** de ieșire. Ca urmare, fiecare cale **72** de ieșire colectează, în paralel, fluidul circular care iese din canalele **28** de combustibil din aceeași coloană.

După cum se vede în fig. 9a, este instalat un detector **67** de umiditate la ieșirea căii **72** de ieșire verticale care poate detecta umiditatea și/sau deuteriul din calea **72** de ieșire. O vană **68** de izolare este, de asemenea, instalată pe fiecare cale **74** de intrare. După cum s-a descris mai sus, fiecare vană **68** de izolare poate fi închisă pentru a stopa fluidul circular de a circula printr-o anumită cale **74** de intrare.

În timpul funcționării AFS **70**, dacă există o scurgere dintr-un canal **28** de combustibil (de exemplu, indicat cu o steluță în fig. 9a), scurgerea se detectează cu detectorul **67** de umiditate de pe calea **72** de ieșire, care primește fluidul circular de la canalul **28** de combustibil la care are loc scurgerea. De aceea, poziția verticală (coloana) a canalului care are scurgere este identificată de detectorul **67** de umiditate. După identificarea poziției verticale a canalului **28** de combustibil la care are loc scurgerea, rândul canalului **28** de combustibil la care are loc scurgerea poate fi determinat folosind vanele **68** de izolare instalate pe căile **74** de intrare. În special, vanele **68** de izolare asociate fiecărei căi **74** de intrare pot

1 fi închise succesiv. Când vana **68** de izolare asociată căii **74** de intrare care alimentează
fluidul circular în canalul **28** de combustibil la care are loc scurgere este închisă, detectorul
3 **67** de umiditate, care inițial a detectat scurgerea, nu va mai detecta o scurgere. În special,
deoarece fluidul circular nu curge prin spațiul **44** circular al canalului **28** de combustibil la
5 care are loc scurgerea (adică deoarece vana **68** de izolare este închisă), nu va mai fi
deuteriu sau umiditate transportat(ă) și detectat(ă) de detectorul **67** de umiditate. În unele
7 forme de realizare, poate fi instalată o vană de izolare pe fiecare cale **74** de ieșire, pentru a
contribui la identificarea canalului de combustibil la care are loc scurgere și pentru a preveni
9 exsudația prin rețeaua de canale de combustibil (de exemplu, datorită unei vane de izolare
a scurgerii).

11 Ca urmare, spre deosebire de AFS **50** existent, ASF **70** identifică canalul **28** de
combustibil individual (adică, prin poziția orizontală sau a rândului și prin poziția verticală sau
13 a coloanei) care prezintă scurgere. În plus, AFS **70** poate identifica mai rapid un canal de
combustibil care prezintă scurgere decât sistemele existente. De exemplu, când apare o
15 scurgere, umiditatea rezultată de la agentul de răcire care se scurge circulă cu fluidul circular
la detectorul **67** de umiditate din aval, ceea ce durează. Pentru AFS **50** existent, fiecare linie
17 include multiple canale de combustibil legate în serie. De aceea, în AFS **50** existent,
umiditatea asociată unei scurgeri deseori circulă prin canalele de combustibil multiple înainte
19 de a ajunge la un detector **67** de umiditate. În AFS **70** modificat, totuși, deoarece canalele
de combustibil sunt alimentate cu fluid circular în paralel, umiditatea trece numai printr-un
21 singur canal **28** de combustibil înainte de a fi detectată de un detector **67** de umiditate. Ca
urmare, timpul de răspuns al AFS **70** modificat este mai rapid decât cel al AFS **50** existent.

23 Mai mult, deoarece AFS **70** modificat include numai 22 de detectoare de umiditate
67 și 22 de vane de izolare (comparativ cu 44 de detectoare de umiditate și 44 de vane de
25 izolare **68** din ASF **50**), AFS **70** modificat este mai puțin costisitor decât AFS **50** existent.

De asemenea, trebuie înțeles că orientările căilor de intrare și de ieșire, ilustrate în
27 fig. 9a, b, pot fi comutate astfel că rândul canalului **28** de combustibil care are scurgere este
identificat inițial și apoi vanele **68** de izolare sunt folosite pentru a identifica coloana canalului
29 **28** de combustibil care prezintă scurgere. În acest aranjament, căile **74** de intrare pot fi
furnizate vertical în cupola **8** și căile **72** de ieșire pot ieși orizontal din cupolă **8**.

31 Fig. 10 ilustrează alt AFS **80** modificat. AFS **80** modificat poate fi folosit și cu un
reactor de tip CANDU care include 380 canale de combustibil dispuse așa cum s-a ilustrat
33 în fig. 2 (adică 22 de coloane și 22 de rânduri) (totuși, pentru a simplifica fig. 10, sunt ilustrate
numai opt coloane și opt rânduri). Așa cum se prezintă în fig. 10, canalele **28** de combustibil
35 sunt împărțite în secțiuni, cum ar fi în patru cvadrante **82a**, **82b**, **82c** și **82d**. Fiecare cvadrant
include 11 căi **84** de ieșire și 11 căi **86** de intrare. Căile **86** de intrare pot fi furnizate în
37 reactorul **6** printr-un perete al cupolei **8**, și căile **84** de ieșire pot ieși din reactor printr-un
perete diferit al cupolei **8**. Folosind căile **86** de intrare, fluidul circular curge prin canalele **28**
39 de combustibil din fiecare cvadrant în paralel. De asemenea, căile **84** de ieșire ale fiecărui
cvadrant sunt legate în serie cu căile **86** de intrare ale altui cvadrant, cu excepția ultimului
41 cvadrant (de exemplu cvadrantul **82c**), în care fluidul circular iese din cupola **8** pentru a fi
procesat, așa cum s-a descris mai sus la fig. 7.

43 După cum se vede din fig. 10, pentru un prim cvadrant **82a**, fiecare cale **86** de intrare
alimentează fluid circular, în paralel, în spațiul **44** circular al fiecărui canal **28** de combustibil
45 din același rând din cvadrantul **82a**. Pe măsură ce fluidul circular curge prin fiecare canal **28**
de combustibil, fluidul circular iese din canalul **28** de combustibil și intră în una din căile **84**
47 de ieșire. În special, fluidul circular care iese din fiecare canal **28** de combustibil din aceeași

coloană din cvadrantul **82a** curge, în paralel, în aceeași cale **84** de ieșire. Ca urmare, fiecare cale **84** de ieșire colectează fluidul circular care iese din canalele **28** de combustibil din aceeași coloană din același cvadrant al reactorului **6**.

După cum se vede din fig. 10, pentru a detecta umiditatea sau vaporii din linie este instalat un detector **67** de umiditate la capătul fiecărei căi **84** de ieșire din cvadrantul **82a**. O vană **68** de izolare este instalată, de asemenea, pe fiecare cale **86** de intrare din cvadrantul **82a**. După cum s-a descris mai sus, fiecare vană **68** de izolare poate fi închisă pentru a stopa fluidul circular de a circula printr-o cale **86** de intrare particulară.

După cum se vede din fig. 10, orientările căilor **84** de ieșire și a căilor **86** de intrare pot varia de la un cvadrant la altul. De exemplu, pentru cvadrantul **82a**, căile **86** de intrare alimentează orizontal fluidul circular în canalele **28** de combustibil din aceeași coloană a cvadrantului **82a** și căile **84** de ieșire colectează vertical fluidul circular care iese din canalele **28** de combustibil din același rând al cvadrantului **82a**. Ca alternativă, pentru cvadrantul **82b**, căile **86** de intrare alimentează fluidul circular vertical în canalele **28** de combustibil din aceeași coloană a cvadrantului **82b** și căile **84** de ieșire colectează orizontal fluidul circular care iese din canalele **28** de fluid din același rând al cvadrantului **82b**.

În timpul funcționării, fiecare cvadrant funcționează ca sistemul AFS **70** descris mai sus. În special, dacă se produce o scurgere într-un canal **28** de combustibil, indicat cu o stea în fig. 10, aceasta este detectată de detectorul **67** de umiditate din aval de pe calea **84** de ieșire asociată respectivului cvadrant. De aceea, detectorul **67** de umiditate identifică cvadrantul canalului de combustibil la care are loc scurgerea și coloana sau rândul canalului de combustibil la care are loc scurgerea din cvadrant. De exemplu, pentru canalul **28** de combustibil la care are loc scurgere, ilustrat în fig. 10, detectorul **67** de umiditate, care detectează scurgerea, identifică cvadrantul canalului **28** de combustibil la care are loc scurgerea (adică cvadrantul **82b**) și rândul canalului **28** de combustibil la care are loc scurgerea. În mod similar, după identificarea cvadrantului și a rândului canalului **28** de combustibil la care are loc scurgerea, 11 vane **68** de izolare la capătul din amonte al cvadrantului sunt utilizate pentru a identifica rândul canalului de combustibil la care are loc scurgerea, așa cum s-a descris mai sus, pentru AFS **70**. De aceea, AFS **80** identifică canalul de combustibil individual (adică poziția orizontală sau rândul și poziția verticală sau coloana) la care are loc scurgerea.

Similar AFS **70** modificat, în AFS **80** modificat, umiditatea produsă de un canal **28** de combustibil la care are loc scurgerea trece numai printr-un canal **28** de combustibil înainte de a ajunge la detectorul **67** de umiditate din aval, comparativ cu canalele **28** de combustibil multiple din AFS 50. De aceea, timpul de răspuns al AFS **80** modificat este mai rapid decât al AFS 50 existent. În plus, AFS **80** modificat include 95 de linii paralele (380 de canale de combustibil împărțite în patru cvadrante), comparativ cu 380 de linii paralele din AFS **70** modificat. Ca urmare, debitul fluidului circular dintr-o linie a AFS **80** modificat este de aproximativ patru ori mai mare decât debitul fluidului circular dintr-o linie a AFS **70** modificat. Aceasta înseamnă că umiditatea circulă mai repede în AFS **80** modificat decât în AFS **70** modificat, ceea ce mărește timpul de răspuns al AFS **80**. Mai mult, folosind AFS **70** modificat se efectuează aproximativ 22 de operații pentru a identifica un canal **28** de combustibil individual la care are loc scurgerea, în timp ce cu AFS **80** modificat sunt necesare numai aproximativ 11 operații pentru a identifica un canal **28** de combustibil la care are loc scurgere. Ca urmare, timpul de răspuns al AFS **80** modificat este mai rapid decât timpul de răspuns al AFS **70** modificat.

1 Ca urmare, în sistemele de fluid circular modificate, detectoarele **67** de umiditate pot
răspunde la scurgeri mult mai rapid decât unitățile **57** din sistemele de fluid circular existente,
3 ceea ce mărește limita de detecție a unei scurgeri înainte să aibă loc o rupere. În plus,
deoarece atât AFS **70** cât și AFS **80** identifică canalul de combustibil individual la care are
5 loc scurgerea, o scurgere identificată poate fi abordată mai rapid și mai eficient folosind AFS
70 sau AFS **80** decât folosind sistemele de fluid circular existente. Mai mult, deoarece
7 sistemele **70** și **80** de fluid circular modificate includ aceleași sau mai puține detectoare **67**
de umiditate și/sau vane **68** de izolare, costul sistemelor **70** și **80** de fluid circular modificate
9 este același sau mai mic decât al sistemelor **50** de fluid circular existente.

Astfel, formele de realizare ale invenției oferă, printre altele, metode și sisteme de
11 detecție a unui canal de combustibil individual la care are loc scurgere dintr-un reactor
nuclear. Trebuie înțeles că, deși în fig. 1...10 este ilustrat un reactor de tip CANDU, metodele
13 și sistemele de detecție a scurgerii pot fi aplicate și la alte tipuri de reactoare care conțin
componente similare celor ilustrate în fig. 1...10. De exemplu, metodele și sistemele de
15 detecție a unui canal de combustibil individual care prezintă scurgere, descrise în prezenta
cerere, se pot utiliza cu un reactor care include numere diferite de canale de combustibil,
17 numere diferite de fascicule de combustibil în fiecare canal de combustibil (de exemplu 12
sau 13 fascicule de combustibil) și diferite tipuri de mecanisme de transport a căldurii. În
19 special, metodele și sistemele dezvăluite se pot folosi la reactoare care folosesc apă ușoară
ca principal mecanism de transport al căldurii, comparativ cu apa grea.

21 De asemenea, detalii ale metodelor și sistemelor pot fi modificate în funcție de
configurația specifică a reactorului de monitorizat în ceea ce privește scurgerile (de exemplu,
23 configurația specifică a canalelor de combustibil din reactor). De exemplu, canalele de
catalizator pot fi împărțite în mai multe sau mai puține secțiuni și pot avea mai multe sau mai
25 puține căi de intrare și/sau de ieșire. În special, trebuie înțeles că cele 44 de căi de intrare
și de ieșire, descrise mai sus pentru AFS **70**, reprezintă o formă de realizare a AFS **70** și pot
27 fi folosite numere diferite de căi de intrare și de ieșire în funcție de mărimea miezului
reactorului și de numărul și dispunerea în reactor a rândurilor și a coloanelor canalelor de
29 combustibil. În plus, în unele forme de realizare, canalele de combustibil pot fi legate în
diferite feluri de-a lungul liniilor, cum ar fi linii orizontale. De exemplu, în general, poate fi
31 folosit orice model de construcție a căilor de intrare și de ieșire ale AFS **70** sau ale AFS **80**,
în care fiecare cale de intrare este asociată unui set de canale de combustibil care diferă (de
33 exemplu, prin cel puțin un canal de combustibil) de setul de canale de combustibil asociat
cu oricare altă cale de ieșire.

35 Diferite caracteristici ale invenției sunt menționate în revendicările următoare.

1. Sistem de detectare a scurgerilor individuale dintr-un canal de combustibil aflat într-un reactor, **caracterizat prin aceea că** sistemul cuprinde: 3
- o primă multitudine de canale de intrare, fiecare canal de intrare fiind alimentat, în paralel, cu un fluid circular la un spațiu circular al fiecărei multitudini de canale de combustibil din reactor; 5 7
 - o multitudine de canale de ieșire, fiecare canal de ieșire colectând, în paralel, fluidul circular care iese din spațiul circular al fiecărei a doua multitudine de canale de combustibil din reactor. 9
2. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** mai cuprinde și un detector poziționat la o ieșire a fiecăreia din multitudinea de căi de ieșire, care este configurat pentru a detecta umiditatea din fluidul circular și de a identifica o primă poziție a unui canal de combustibil individual unde are loc scurgere. 11 13
3. Sistem, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** mai cuprinde și o vană de izolare poziționată la o intrare a fiecăreia din multitudinea de căi de intrare, care funcționează pentru a opri fluidul circular să circule prin una din multitudinea de căi de intrare și identifică o a doua poziție a canalului de combustibil individual în care are loc scurgerea. 15 17
4. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** fluidul circular include un gaz. 19
5. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** fluidul circular include cel puțin unul dintre elementele chimice dioxid de carbon, heliu, azot și aer în formă condensată. 21 23
6. Sistem conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** multitudinea de căi de intrare pătrund orizontal în cupola reactorului. 25
7. Sistem, conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că** multitudine de căi de ieșire ies vertical din cupola reactorului. 27
8. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** multitudinea de căi de intrare pătrund vertical în cupola reactorului. 29
9. Sistem, conform revendicării 8, **caracterizat prin aceea că** multitudinea căilor de ieșire ies orizontal din cupola reactorului. 31
10. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** fiecare din prima multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de intrare este localizată în reactor într-o primă poziție comună. 33
11. Sistem, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că** prima poziție comună include o poziție orizontală comună. 35
12. Sistem, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că** fiecare din a doua multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de ieșire este localizată în reactor într-o a doua poziție comună. 37 39
13. Sistem, conform revendicării 12, **caracterizat prin aceea că** a doua poziție comună include o poziție verticală comună. 41
14. Sistem, conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că** fiecare din prima multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de intrare este localizată într-o primă secțiune a reactorului. 43
15. Sistem, conform revendicării 14, **caracterizat prin aceea că** fiecare din a doua multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de ieșire este localizată în prima secțiune a reactorului. 45 47

1 16. Sistem, conform revendicării 15, **caracterizat prin aceea că** mai cuprinde, în
plus, o a doua multitudine de căi de intrare legate în serie cu prima multitudine de căi de
3 ieșire, prin fiecare din a doua multitudine de căi de intrare circulând fluid circular, în paralel,
printr-un spațiu circular al fiecăreia din a treia multitudine de canale de combustibil localizată
5 într-o a doua secțiune a reactorului.

17. Sistem, conform revendicării 15, **caracterizat prin aceea că** mai cuprinde și o
7 a doua multitudine de căi de ieșire legate în serie cu prima multitudine de căi de intrare,
fiecare din a doua multitudine de căi de ieșire colectând, în paralel, fluid circular care iese
9 dintr-un spațiu circular al fiecăreia din a treia multitudine de canale de combustibil localizate
într-o a doua secțiune a reactorului.

11 18. Sistem, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** prima multitudine de
canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de intrare diferă de a doua
13 multitudine de canale de combustibil asociate cu fiecare din multitudinea de căi de ieșire.

19. Metodă de detectare a scurgerilor individuale dintr-un canal de combustibil aflat
15 într-un reactor, **caracterizată prin aceea că** va cuprinde următoarele etape:

17 - alimentarea cu fluid circular a reactorului printr-o multitudine de căi de intrare,
fiecare din multitudinea de căi de intrare alimentând cu fluid circular într-un spațiu circular
al unei multitudini de canale de combustibil din reactor;

19 - colectarea fluidului circular care iese din reactor, printr-o multitudine de căi de ieșire,
21 fiecare din multitudinea de căi de ieșire primind, în paralel, fluidul circular care iese dintr-un
spațiu circular aflat într-o a doua multitudine de canale de combustibil din reactor.

23 20. Metodă, conform revendicării 19, **caracterizată prin aceea că** mai cuprinde și
detectarea umezelii din fluidul circular la o ieșire a uneia din multitudinea de căi de ieșire,
25 pentru a identifica o primă poziție a unui canal de combustibil individual care are o scurgere.

27 21. Metodă, conform revendicării 20, **caracterizată prin aceea că** presupune
stoparea succesivă a fluidului circular de a circula prin fiecare din multitudinea de căi de
intrare, după detectarea umidității în fluidul circular, pentru a identifica o a doua poziție a
canalului de combustibil individual în care are loc scurgerea.

29 22. Metodă conform revendicării 21, **caracterizată prin aceea că** presupune și
detectarea umidității din fluidul circular pentru a identifica o primă poziție a unui canal de
31 combustibil în care are loc scurgerea, include detectarea umidității din fluidul circular pentru
a identifica o poziție verticală a canalului de combustibil la care are loc scurgere din reactor.

33 23. Metodă, conform revendicării 22, **caracterizată prin aceea că** presupune și
stoparea succesivă a fluidului circular pentru a identifica o a doua poziție a canalului de
35 combustibil la care are loc scurgere presupune identificarea unei poziții orizontale a canalului
de combustibil la care are loc scurgere din reactor.

37 24. Metodă, conform revendicării 23, **caracterizată prin aceea că** presupune și
alimentarea fluidului circular în reactor printr-o multitudine de căi de intrare, în care fiecare
39 din multitudinea de căi de intrare alimentează fluid circular la un spațiu circular al unei
multitudini de canale de combustibil din reactor din poziție orizontală comună.

41 25. Metodă, conform revendicării 24, **caracterizată prin aceea că** presupune și
colectarea fluidului circular ce iese din reactor într-o multitudine de căi de ieșire, fiecare din
43 multitudinea de căi de ieșire primind, în paralel, fluid circular care iese dintr-un spațiu circular
al fiecăreia din a doua multitudine de canale de combustibil din reactor din poziție verticală
45 comună.

26. Metodă, conform revendicării 19, **caracterizată prin aceea că** mai cuprinde și
47 alimentarea cu fluid circular include alimentarea cu un gaz.

27. Metodă, conform revendicării 19, **caracterizată prin aceea că** mai cuprinde și
49 alimentarea cu fluid circular include alimentarea cu cel puțin unul dintre elementele chimice
dioxid de carbon, heliu, azot și aer în formă condensată.

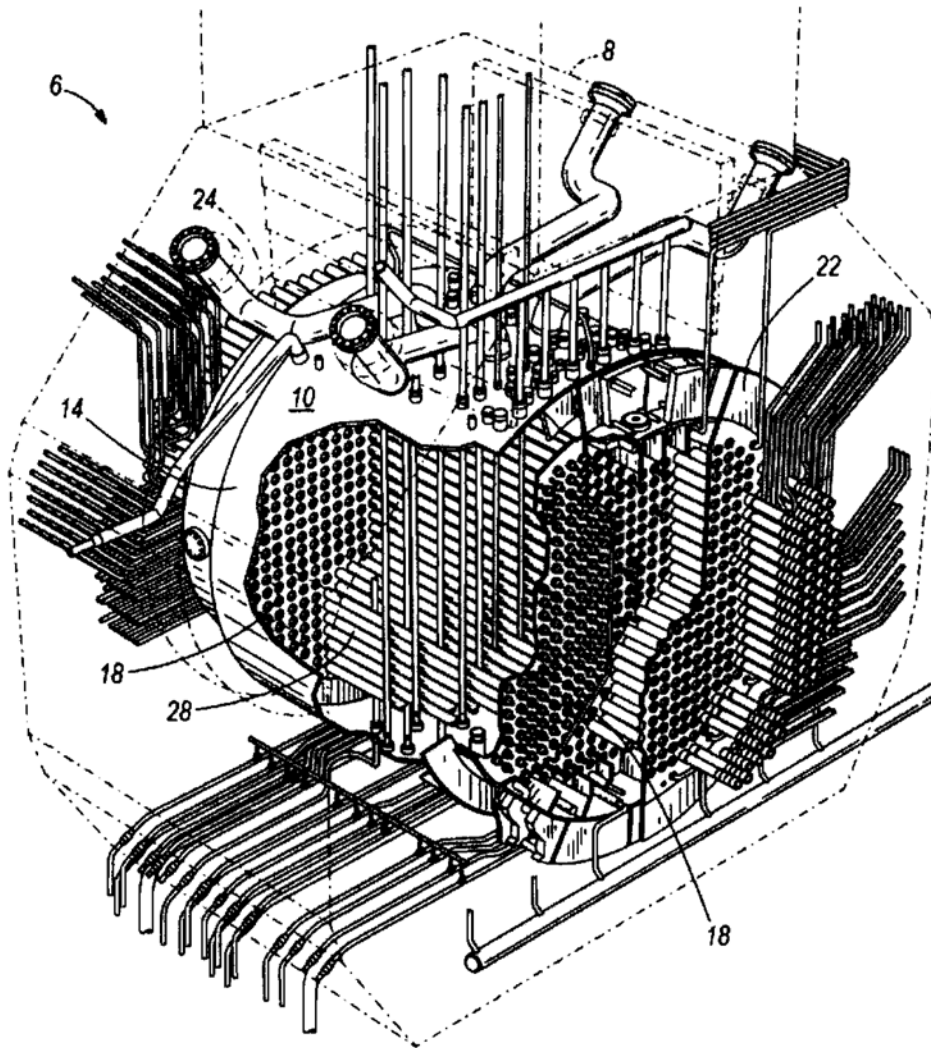


Fig. 1

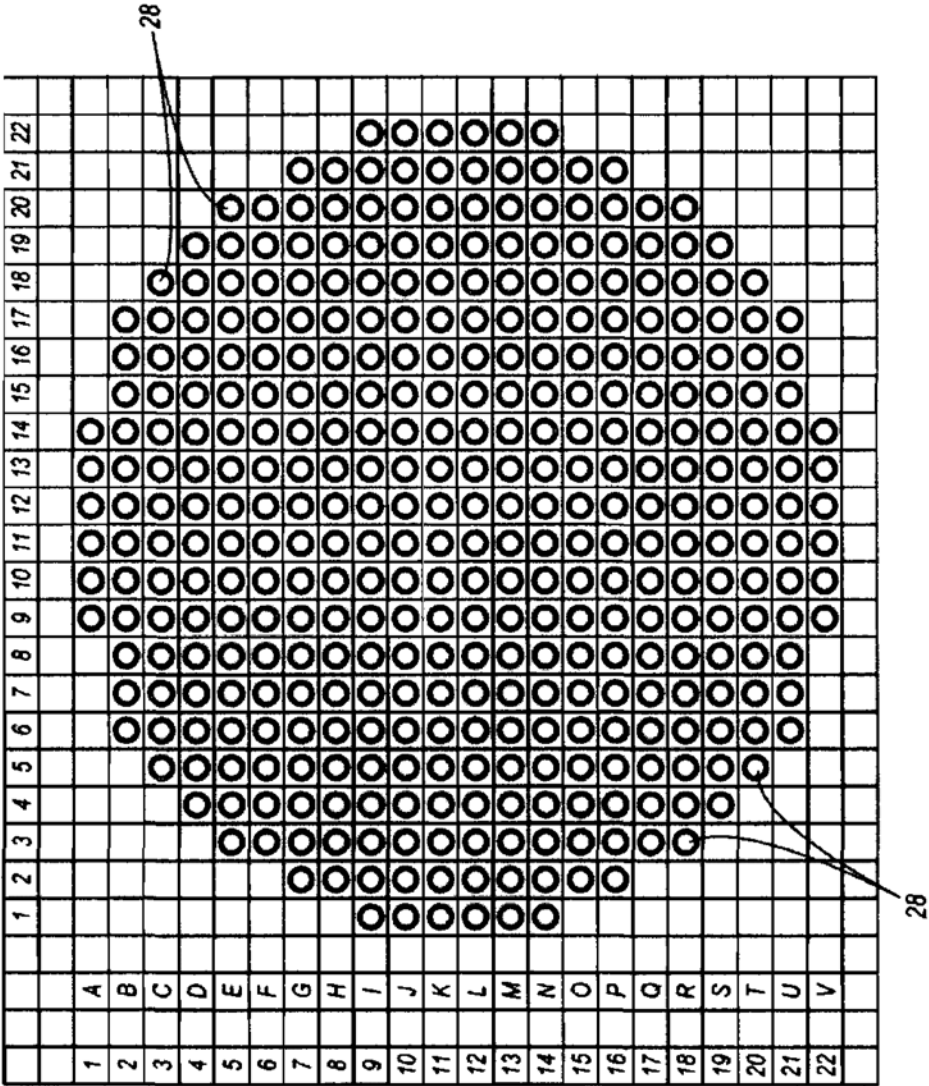


Fig. 2

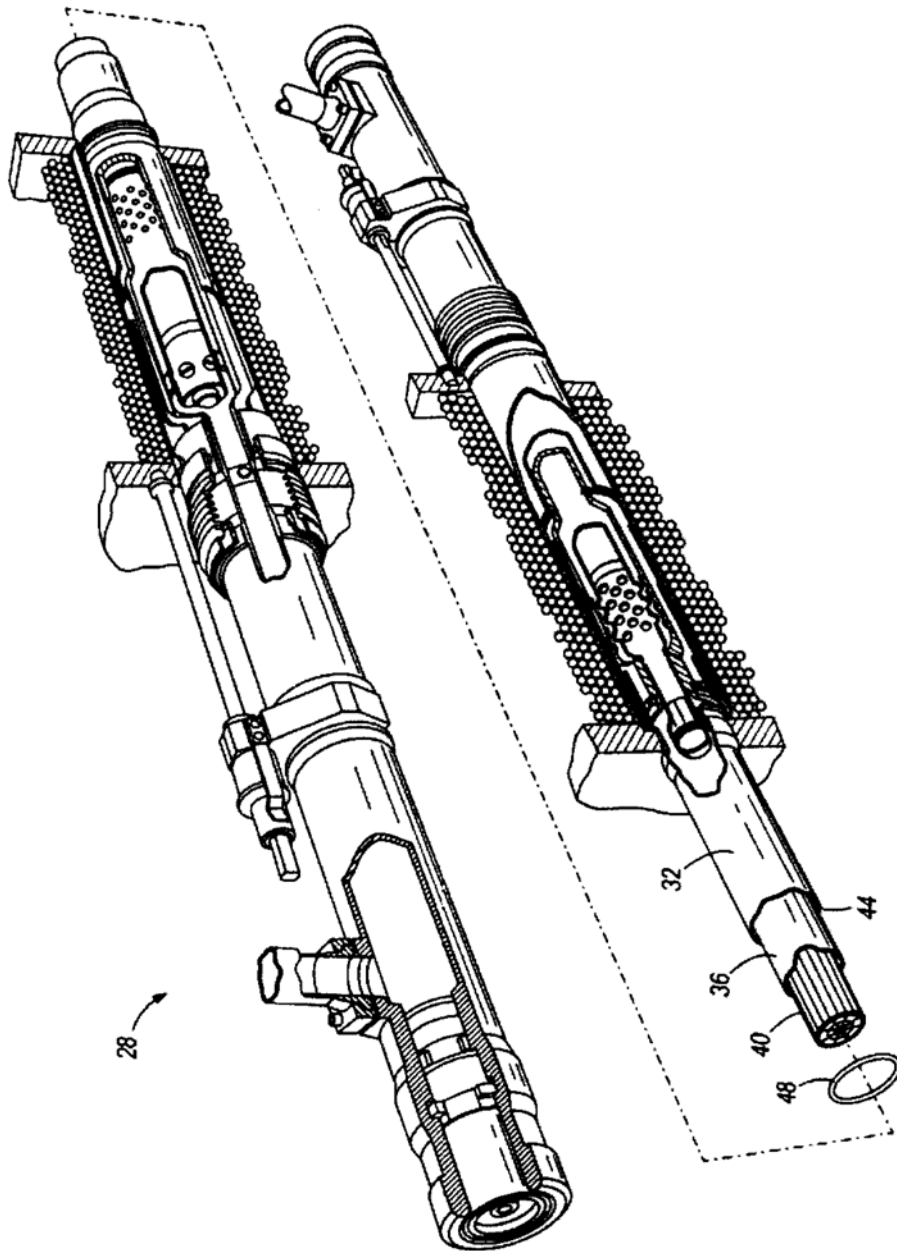


Fig. 3

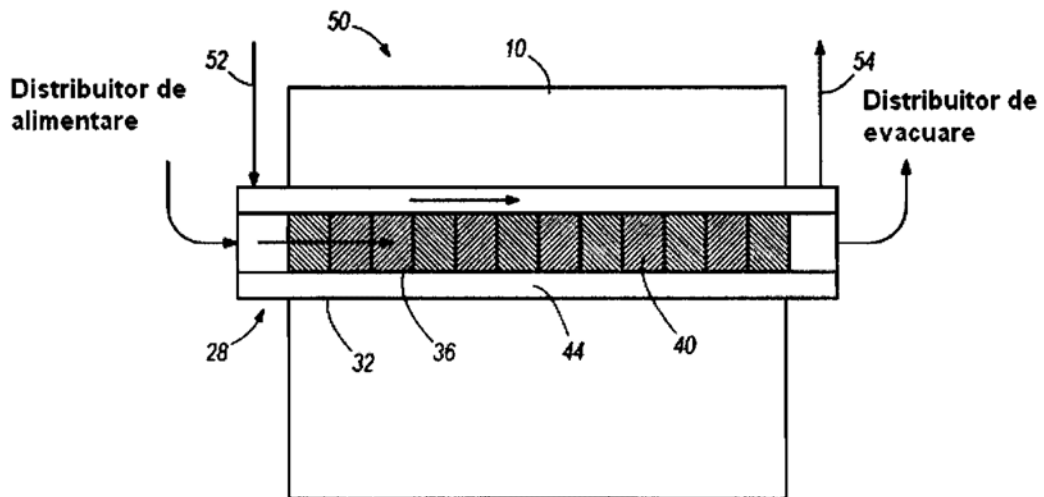


Fig. 4

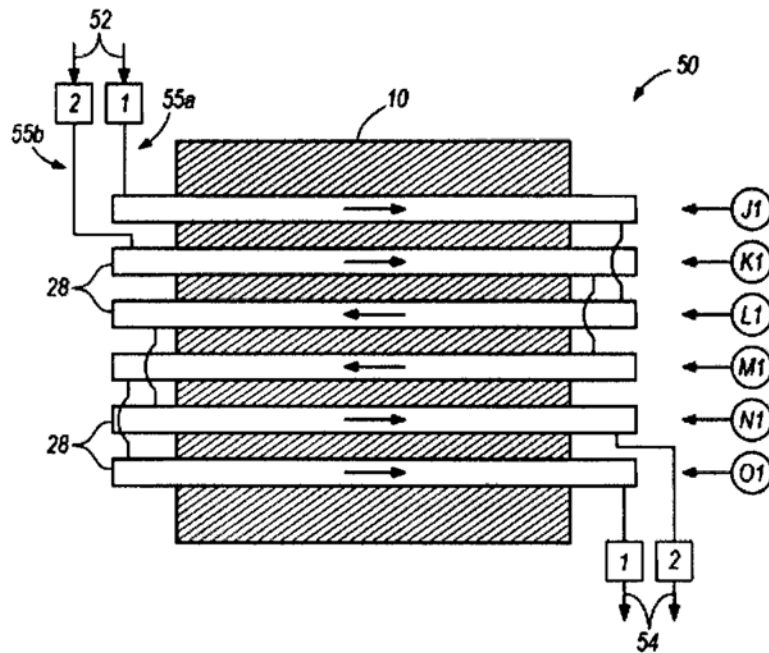


Fig. 5

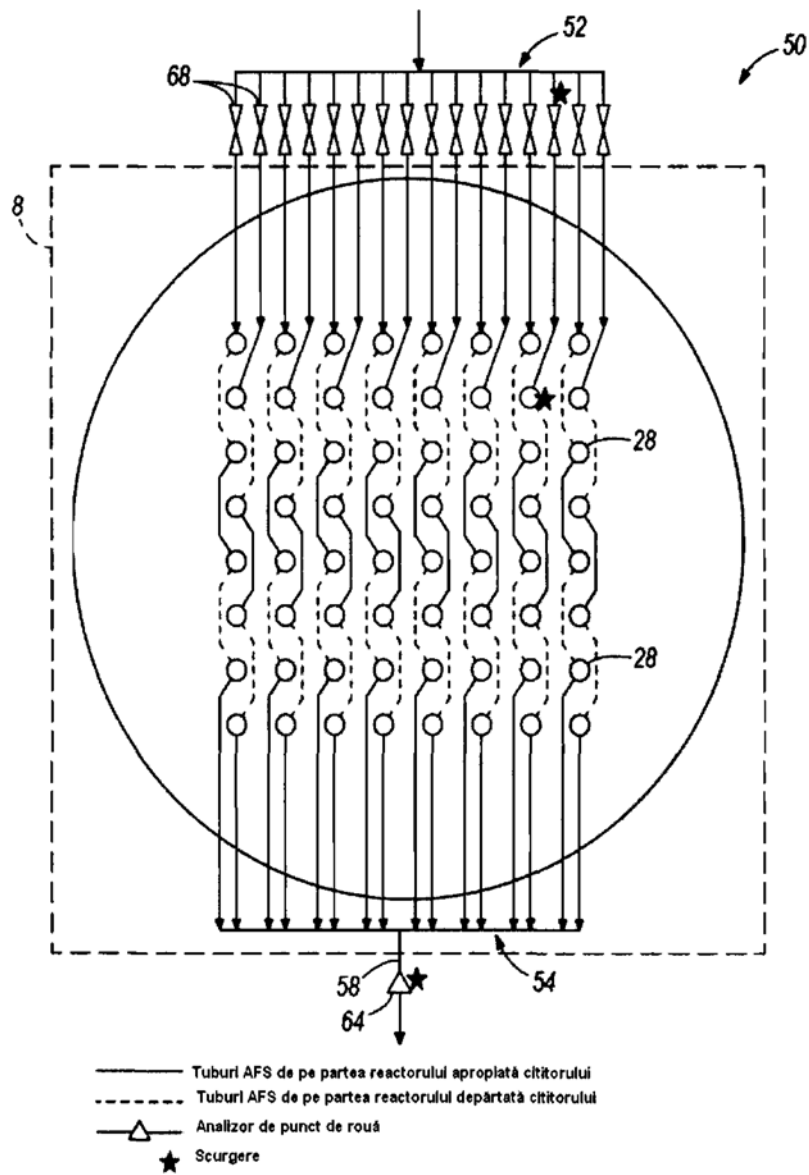


Fig. 6

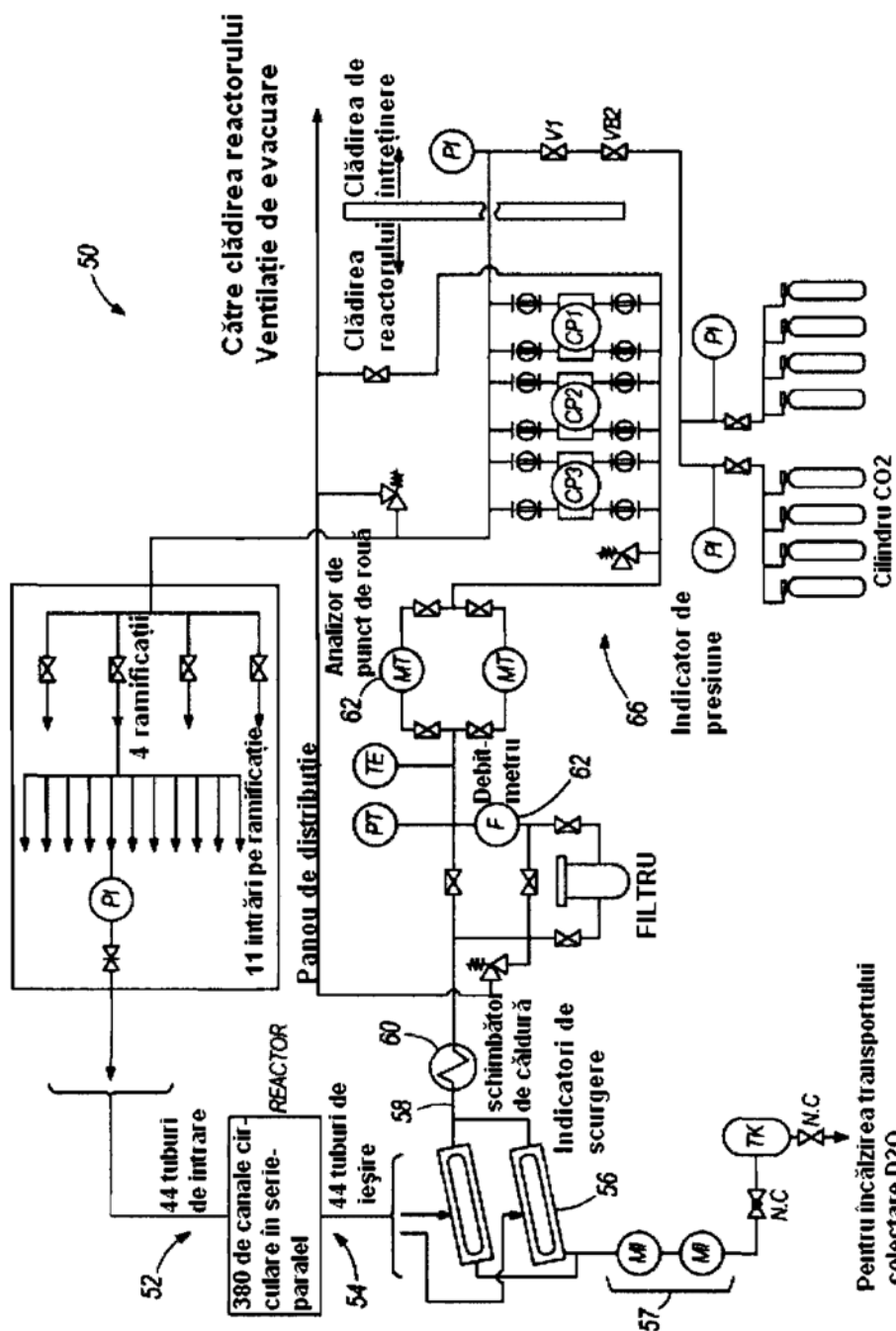


Fig. 7

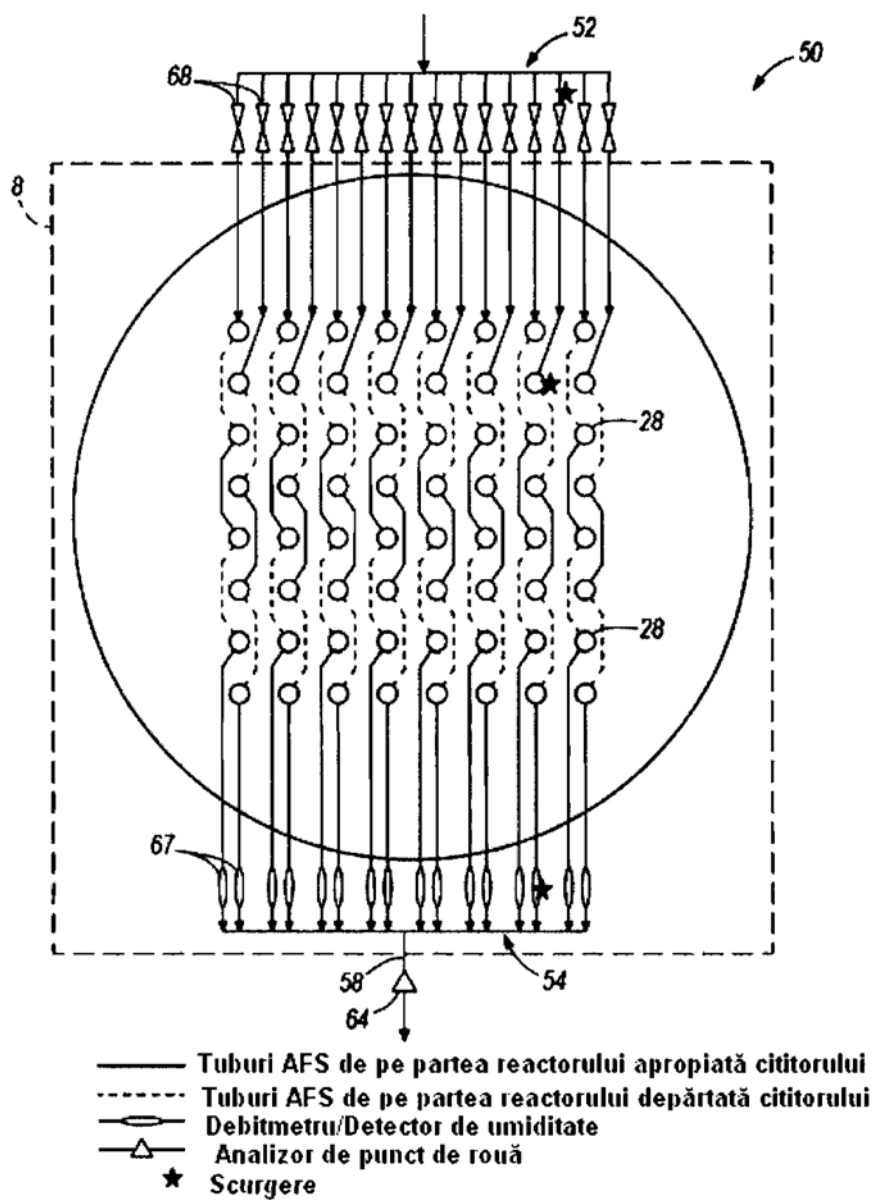


Fig. 8

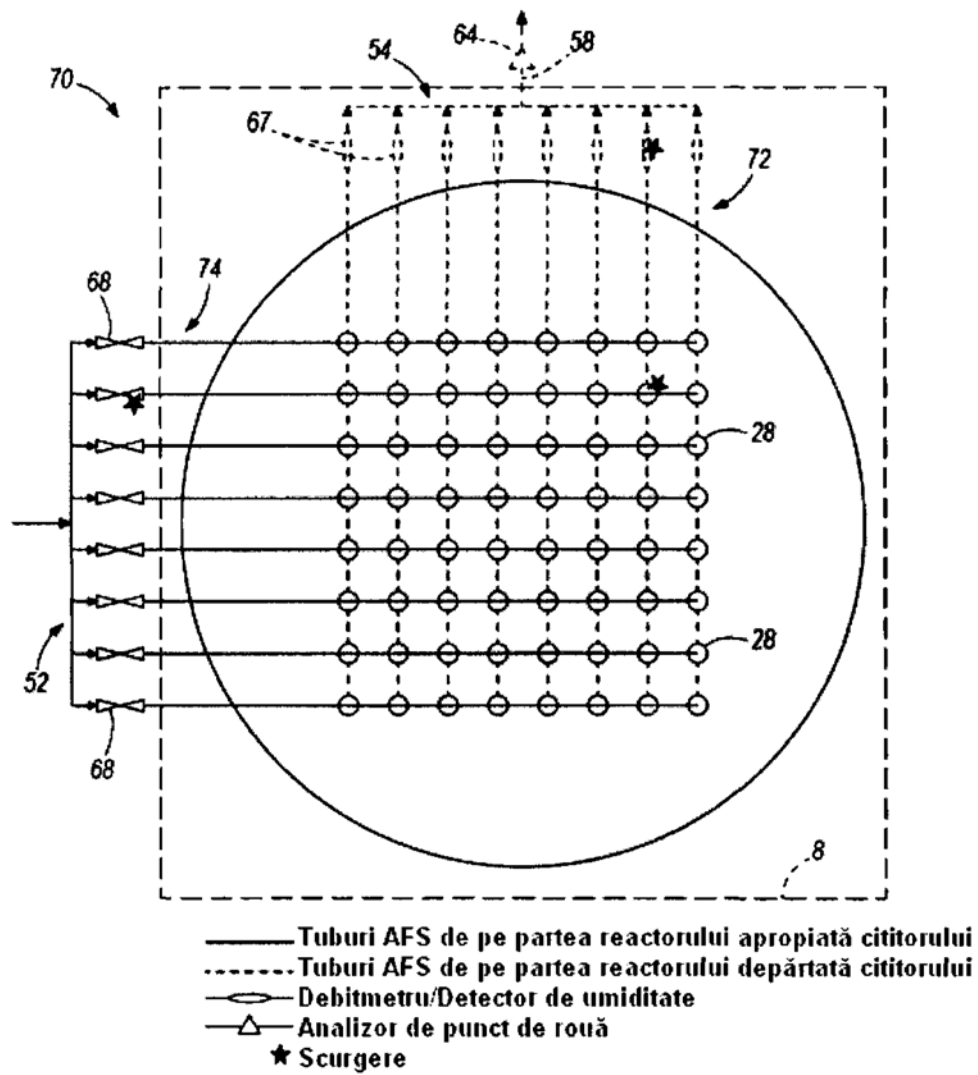


Fig. 9A

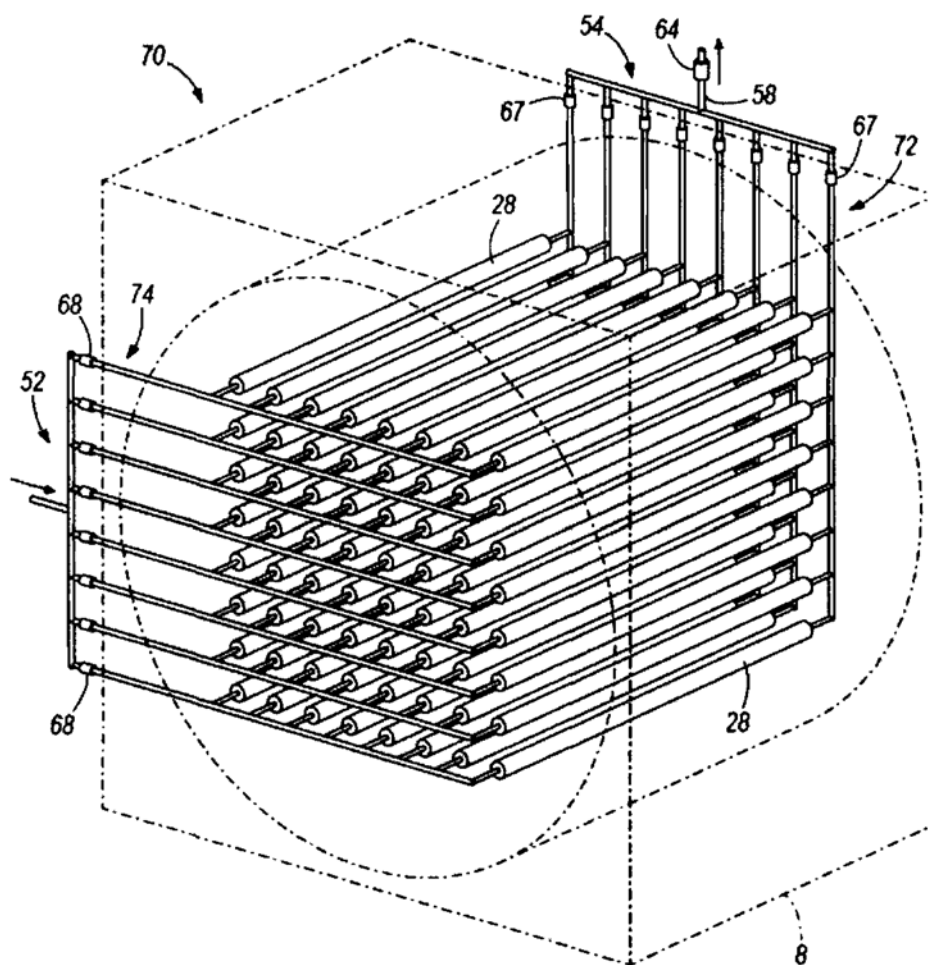


Fig. 9B

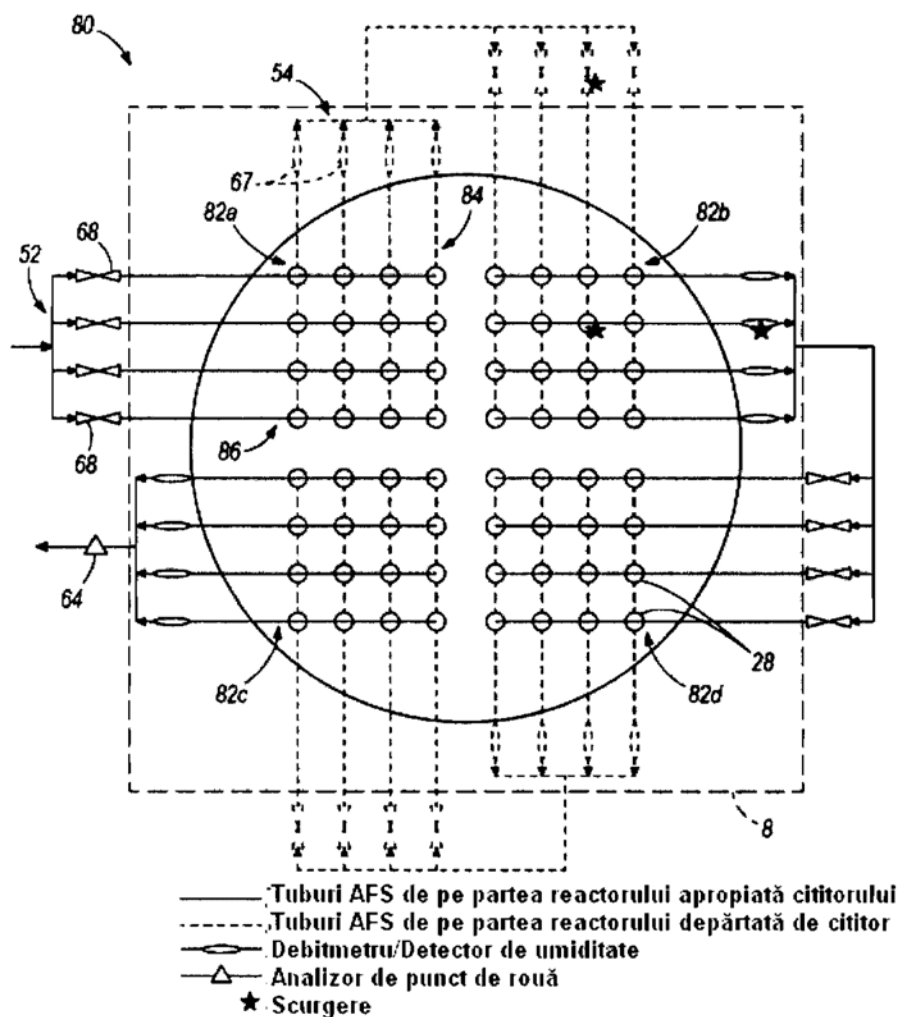


Fig. 10

