



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00360**

(22) Data de depozit: **15/11/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/08/2019** BOPI nr. **8/2019**

(30) Prioritate:

**15/11/2010 US 61/413 803**

(41) Data publicării cererii:

**30/01/2014** BOPI nr. **1/2014**

(86) Cerere internațională PCT:

Nr. **CA 2011/001262** **15/11/2011**

(87) Publicare internațională:

Nr. **WO 2012/065249** **24/05/2012**

(73) Titular:

• **ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,**  
**2251 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,**  
**ONTARIO, CA**

(72) Inventatori:

• **BOUBCHER MUSTAPHA,**  
**4680 BRACKNELL ROAD, BURLINGTON,**  
**ONTARIO, CA;**

• **KURAN SERMET, 946 PORCUPINE**  
**AVENUE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA;**  
• **COTTRELL CATHY, 79 THOROUGHbred**  
**BOULEVARD, ANCASTER, ONTARIO, CA,**  
**CA;**  
• **BODNER ROBERT R., 2458 BLUE HOLLY**  
**CRESCENT, 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:

**US 5852645; US 4649020; US 4587090**

(54) **COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND UN ABSORBANT  
DE NEUTRONI**



# RO 129195 B1

1           Invenția se referă la un fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear, și la o  
metodă de punere în funcțiune a unui reactor nuclear cu apă grea sub presiune.

3           Reactoarele nucleare generează energie dintr-o reacție nucleară în lanț (de exemplu,  
fisiune nucleară), în care un neutron liber este absorbit de nucleul unui atom fisionabil, cum  
5 ar fi Uraniu-235 ( $^{235}\text{U}$ ). Când neutronul liber este absorbit, atomul fisionabil se scindează în  
7 atomi mai ușori, și eliberează mai mulți neutroni liberi care se absorb de către alți atomi  
fisionabili, rezultând o reacție nucleară în lanț, după cum este bine cunoscut din stadiul  
tehnicii. Energia termică eliberată din reacția nucleară în lanț este convertită în energie  
9 electrică printr-un număr de alte procese, de asemenea, cunoscute specialiștilor în domeniu.

11           Apariția reactoarelor cu putere nucleară adaptate să ardă combustibil nuclear cu nivel  
de conținut fisionabil scăzut (de exemplu, atât de scăzut cât cel al uraniului natural) a  
generat multe noi surse de combustibil nuclear inflamabil. Aceste surse includ deșeuri de  
13 uraniu sau uraniu reciclat din alte reactoare. Acest lucru nu este numai atractiv din punct de  
vedere al costurilor, ci și din punct de vedere al capacității de a recicla, în esență, uraniul  
15 uzat înapoi în ciclul combustibilului. Reciclarea combustibilului nuclear uzat reprezintă un  
contrast puternic față de stocarea în instalații valoroase și cu contaminare limitată cu deșeuri  
17 nucleare.

19           Pentru aceste motive, precum și pentru orice alte motive, combustibilul nuclear și  
tehnologiile de procesare a combustibilului nuclear care susțin practicile de reciclare a  
combustibilului nuclear și de ardere a respectivului combustibil în reactoare nucleare  
21 continuă să reprezinte o dezvoltare binevenită a stadiului tehnicii.

23           În unele exemple de realizare a prezentei invenții se asigură un fascicul de com-  
bustibil pentru un reactor nuclear, care cuprinde o multitudine de elemente de combustibil,  
fiecare incluzând o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat, și o a doua com-  
25 ponentă de combustibil din cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, amestecate  
cu prima componentă de combustibil, în care prima și cea de a doua componentă  
27 amestecate au un prim conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

29           Unele exemple de realizare a prezentei invenții asigură un fascicul de combustibil  
pentru un reactor nuclear, în care fasciculul de combustibil cuprinde un prim element de  
combustibil care include uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim  
31 conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate de  $^{235}\text{U}$ , și un al doilea element de  
combustibil, care include cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, cel de-al doilea  
33 element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil nu mai mare de 0,71% în  
greutate de  $^{235}\text{U}$ .

35           Unele exemple de realizare a prezentei invenții asigură un combustibil nuclear pentru  
un reactor nuclear în care combustibilul nuclear cuprinde elemente de combustibil având un  
37 conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$ , și fiecare dintre elementele de combustibil are un conținut  
fisionabil de  $^{235}\text{U}$  între aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$  și 5,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Mai mult  
39 decât atât, cel puțin unul dintre elementele de combustibil este un element de combustibil  
cu uraniu slab îmbogățit, otrăvit, care include o otravă de neutroni într-o concentrație mai  
41 mare de aproximativ 5,0 vol%.

43           Anumite exemple de realizare a prezentei invenții asigură o metodă de operare a unui  
reactor cu apă grea sub presiune, în care este prevăzut un prim fascicul de combustibil ce  
este realizat dintr-o multitudine de elemente de combustibil, fiecare având un conținut  
45 fisionabil de  $^{235}\text{U}$  între aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  și 5,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ , cel puțin  
unul dintre elementele de combustibil fiind un element de combustibil cu uraniu slab  
47 îmbogățit, otrăvit, incluzând o otravă de neutroni într-o concentrație mai mare de aproximativ  
5,0 vol%. Primul fascicul de combustibil este inserat într-un tub de presiune al reactorului  
49 nuclear cu apă grea sub presiune. Reactorul nuclear cu apă grea sub presiune funcționează

# RO 129195 B1

pentru a arde elementele de combustibil, producând o putere utilă cel puțin la fel de mare ca un fascicul de combustibil din uraniu natural, în timp ce produce un coeficient negativ de temperatură al combustibilului (FTC), un coeficient negativ de putere (PC) și un coeficient de vid al agentului de răcire (CVR) care este mai mic decât acela dat de funcționarea reactorului nuclear cu apă grea sub presiune, cu combustibil de uraniu natural.

În unele exemple de realizare sunt utilizate oricare dintre fasciculele de combustibil și metodele descrise anterior într-un reactor cu apă grea sub presiune, în care fasciculele de combustibil sunt localizate într-unul sau mai multe tuburi cu apă sub presiune, care trece peste fasciculele de combustibil, absorb căldura din fasciculele de combustibil și funcționează în aval de fasciculele de combustibil.

Alte aspecte ale prezentei invenții vor deveni evidente prin analiza descrierii detaliate și a desenelor însoțitoare.

Desenele reprezintă:

- fig. 1, o vedere în secțiune transversală a unui prim exemplu de realizare a unui fascicul nuclear conform invenției, care prezintă un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil;

- fig. 2, o vedere în secțiune transversală a unui al doilea exemplu de realizare a unui fascicul nuclear conform invenției, care, de asemenea, prezintă un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil;

- fig. 3, o vedere în secțiune transversală a unui al treilea exemplu de realizare a unui fascicul nuclear conform invenției, care, de asemenea, prezintă un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil;

- fig. 4, o vedere în secțiune transversală a unui al patrulea exemplu de realizare a unui fascicul nuclear conform invenției, de asemenea, care prezintă un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil;

- fig. 5, o diagramă schematică a unui reactor nuclear care utilizează oricare dintre fasciculele de combustibil din fig. 1...4.

Înainte ca fiecare dintre exemplele de realizare a invenției să fie explicate în detaliu, trebuie să se înțeleagă că invenția nu este limitată în aplicarea sa la detaliile modului de realizare și a aranjamentelor prezentate în descrierea următoare, sau ilustrate în desenele însoțitoare. Sunt posibile și alte moduri de realizare a invenției, aceasta putând fi pusă în practică sau realizată în diferite feluri.

În prezenta invenție este dezvăluit un număr de combustibili nucleari conform diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții. Acești combustibili pot fi utilizați într-o varietate de reactoare nucleare, și sunt descriși aici prin referință la reactoarele cu apă grea sub presiune. Astfel de reactoare pot avea, spre exemplu, tuburi orizontale sau verticale sub presiune, în care este poziționat combustibilul. Un exemplu de un astfel de reactor este un reactor nuclear Canadian Deuterium Uranium (CANDU), a cărui porțiune este prezentată schematic în fig. 5. Alte tipuri de reactoare pot avea tuburi orizontale sau verticale nepresurizate, cu găuri în ele.

Reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune sunt doar un tip de reactoare nucleare în care se pot arde diferiții combustibili nucleari ai prezentei invenții. Astfel de reactoare sunt descrise aici doar pentru exemplificare, înțelegându-se că diferiții combustibili ai prezentei invenții pot fi arși în alte tipuri de reactoare nucleare.

În mod similar, diferiții combustibili ai prezentei invenții descrise aici pot fi poziționați în orice formă într-un reactor nuclear, pentru a fi arși. Doar pentru exemplificare, combustibilul poate fi încărcat în tuburi, sau poate fi conținut în alte forme alungite (fiecare dintre acestea fiind în mod obișnuit denumită ca „piciorușe” sau „elemente”, la care se face referire

# RO 129195 B1

1 în prezenta, pentru simplitate, doar ca „elemente”). Exemplele de elemente utilizate în  
2 unele moduri de realizare a prezentei invenții sunt indicate cu reperul **22** în fig. 1...4, și sunt  
3 descrise în detaliu mai jos. În cazul combustibilului conținut în tuburi, tuburile pot fi realizate  
4 din, sau pot include zirconiu, un aliaj de zirconiu sau un alt material convenabil, sau o  
5 combinație de materiale care, în unele cazuri, este caracterizată prin absorbție joasă de  
6 neutroni.

7 Împreună, o multitudine de elemente pot defini un fascicul de combustibil într-un  
8 reactor nuclear. Astfel de fascicule de combustibil sunt indicate schematic la reperul **14** în  
9 fig. 5. Elementele fiecărui fasciculul **14** se pot întinde paralel unul cu altul în fascicul. Dacă  
10 reactorul include o multitudine de fascicule **14** de combustibil, fasciculele **14** pot fi plasate  
11 cap la cap în interiorul unui tub **18** de presiune. În alte tipuri de reactoare, fasciculele **14** de  
12 combustibil pot fi aranjate în alte moduri, după cum se dorește.

13 Făcând referire în continuare la fig. 5, când reactorul **10** este în funcțiune, peste  
14 fasciculele **14** de combustibil curge un agent de răcire **14** de tip apă grea, pentru a răci  
15 elementele de combustibil și pentru a îndepărta căldura din procesul de fisiune. Combustibilii  
16 nucleari ai prezentei invenții pot fi, de asemenea, aplicați și reactoarelor cu tuburi sub  
17 presiune cu diferite combinații de lichide/gaze în sistemele lor de moderare și transport de  
18 căldură. În orice caz, agentul de răcire **26** care absoarbe căldura combustibilul nuclear poate  
19 transfera căldura către echipamentul din aval (de exemplu, un generator **30** de abur), pentru  
20 a acționa un motor primar (de exemplu, o turbină **34**), pentru a produce energie electrică.

21 Cererea de brevet de invenție canadiană, nr. 2174983, depusă pe 25 aprilie 1996,  
22 descrie exemple de fascicule de combustibil pentru un reactor nuclear care pot cuprinde  
23 oricare dintre combustibilii nucleari descriși aici. Conținutul cererii de brevet de invenție  
24 canadiene nr. 2174983 este încorporat aici prin referință.

25 Diferenții combustibili nucleari ai prezentei invenții pot fi utilizați (de exemplu,  
26 amestecați) în combinație cu unul sau mai multe alte materiale. Fie că sunt utilizați singuri  
27 sau în combinație cu alte materiale, combustibilii nucleari pot fi sub formă de pelete, sub  
28 formă de pulbere sau în oricare altă formă convenabilă, sau într-o combinație de forme; în  
29 alte moduri de realizare, combustibilii prezentei invenții iau forma unei tije, cum ar fi o tijă de  
30 combustibil presată în forma dorită, o tijă de combustibil conținută într-o matrice a unui alt  
31 material și altele. De asemenea, elementele de combustibil realizate din combustibilii  
32 conform prezentei invenții pot include o combinație de tuburi și tije și/sau alte tipuri de  
33 elemente.

34 După cum este descris în detaliu, în continuare, combustibilii conform diferitelor  
35 exemple de realizare a prezentei invenții pot include diferite combinații de combustibili  
36 nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU) și uraniu reprocessat sau reciclat  
37 (RU). Așa cum se utilizează aici și în revendicările anexate, referirile la „procente” de  
38 componente constituente de material incluse în combustibilul nuclear se referă la procente  
39 în greutate, dacă nu este specificat altfel. De asemenea, după cum se definește aici, DU are  
40 un conținut fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 0,5% în greutate de  
41 <sup>235</sup>U (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate), NU are un  
42 conținut fisionabil de aproximativ de 0,71% în greutate <sup>235</sup>U, și RU are un conținut fisionabil  
43 de aproximativ de la 0,72% în greutate la aproximativ 1,2% în greutate <sup>235</sup>U (incluzând  
aproximativ 0,72% în greutate și aproximativ 1,2% în greutate).

# RO 129195 B1

## *Uraniu Reciclat*

Uraniul reprocessat sau reciclat (RU) este fabricat din combustibil uzat, creat din producerea de putere nucleară, utilizând reactoare cu apă ușoară (LWRs). O fracție de combustibil uzat este fabricată din uraniu. De aceea, o reprocesare chimică a combustibilului uzat lasă în urmă uraniu separat, la care se face referire în industrie ca uraniu reprocessat sau reciclat. Uraniul natural (NU) conține trei izotopi:  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  și  $^{238}\text{U}$ . Cu toate acestea, după iradiere într-un LWR și răcire, RU rezultat are o compoziție izotopică diferită de aceea a uraniului natural. În special, RU include patru tipuri suplimentare de izotopi de uraniu care nu sunt prezenți în uraniul natural:  $^{236}\text{U}$  și  $^{232}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$  și  $^{237}\text{U}$  (în general considerate impurități). Astfel, prezența acestor patru tipuri suplimentare de izotopi poate fi considerată ca semnătură pentru RU.

De asemenea, trebuie înțeles faptul că această compoziție de izotopi a RU depinde de mulți factori, cum ar fi conținutul inițial de  $^{235}\text{U}$  în combustibil dinainte de iradiere (de exemplu, combustibil proaspăt), originea(ile) combustibilului, tipul reactorului în care a fost ars combustibilul, istoricul iradierii combustibilului în reactor (de exemplu, incluzând consumul) și perioadele de răcire și stocare a combustibilului după iradiere. Spre exemplu, combustibilii cei mai iradiați sunt răciți timp de cel puțin cinci ani în bazine special proiectate pentru a asigura siguranța radiologică. Însă perioada de răcire poate fi extinsă la 10 sau 15 ani, sau mai mult.

RU include adesea impurități chimice (de exemplu, gadolinium) cauzate de placarea combustibilului, doparea combustibilului și metodele de separare și purificare utilizate pe RU. Aceste impurități chimice pot include cantități foarte mici de izotopi transuranici, cum ar fi plutoniu-238 ( $^{238}\text{Pu}$ ),  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ , neptuniu-237 ( $^{237}\text{Np}$ ), americium-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), curiu-242 ( $^{242}\text{Cm}$ ), și produși de fisiune, cum ar fi zirconiu-95/niobiu-95 ( $^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$ ), ruteniu-103 ( $^{103}\text{Ru}$ ),  $^{106}\text{Ru}$ , cesiu-134 ( $^{134}\text{Cs}$ ),  $^{137}\text{Cs}$  și tehnetiū-99 ( $^{99}\text{Tc}$ ). Alte impurități prezente adesea în RU includ: aluminiu (Al), bor (B), cadmiu (Cd), calciu (Ca), carbon (C), clor (Cl), crom (Cr), cupru (Cu), disprosiu (Dy), fluor (F), fier (Fe), magneziu (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nichel (Ni), azot (N), fosfor (P), potasiu (K), siliciu (Si), sodiu (Na), sulf (S) și toriu (Th).

## *Uraniu sărăcit*

Așa cum s-a arătat mai sus, uraniul sărăcit (DU) are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 0,5% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate). DU este uraniu compus în principal din izotopi de uraniu-238 ( $^{238}\text{U}$ ) și uraniu-235 ( $^{235}\text{U}$ ). Prin comparație, uraniul natural (NU) este aproximativ 99,28% în greutate  $^{238}\text{U}$ , aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$  și aproximativ 0,0054% în greutate  $^{234}\text{U}$ . DU este un produs secundar al îmbogățirii uraniului, și conține, în general, mai puțin de o treime de  $^{235}\text{U}$  și  $^{234}\text{U}$  față de uraniul natural. DU include, de asemenea, diferite impurități, cum ar fi: aluminiu (Al), bor (B), cadmiu (Cd), calciu (Ca), carbon (C), clor (Cl), crom (Cr), cupru (Cu), disprosiu (Dy), fluor (F), gadolinium (Gd), fier (Fe), magneziu (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nichel (Ni), azot (N), fosfor (P), potasiu (K), siliciu (Si), sodiu (Na), sulf (S) și toriu (Th).

## *Combustibil amestecat*

Se va aprecia că, în multe aplicații, conținutul de uraniu al multor combustibili nucleari este prea mare sau prea scăzut pentru a permite acestor combustibili să fie arși într-un număr de reactoare nucleare. În mod asemănător, componentele constituente ale RU ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  și  $^{238}\text{U}$ ), precum și impuritățile descrise mai sus ( $^{232}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$  și  $^{237}\text{U}$ ), care se găsesc în mod obișnuit în RU, pot împiedica RU să devină un combustibil viabil în multe reactoare.

# RO 129195 B1

1 Cu toate acestea, inventatorii au descoperit că, prin amestecarea RU cu DU, conținutul  
fisionabil de  $^{235}\text{U}$  în combustibilul nuclear rezultat poate fi adus într-un domeniu care este  
3 acceptabil pentru a fi ars ca și combustibil proaspăt în multe reactoare nucleare, incluzând  
fără limitare reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune (de exemplu, reactoare nucleare  
5 cu apă grea sub presiune având tuburi de combustibil orizontale, cum ar fi cele din  
reactoarele CANDU). Rezultate similare pot fi obținute prin amestecarea RU cu NU pentru  
7 a reduce conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  în combustibilul nuclear rezultat, la un domeniu  
acceptabil pentru a fi ars ca și combustibil proaspăt.

9 Fie că este amestecat cu DU sau cu NU, RU poate fi amestecat folosind orice  
metodă cunoscută în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții  
11 acide sau amestecarea uscată.

În unele moduri de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei  
13 invenții include o primă componentă de combustibil de RU și o a doua componentă de  
combustibil de DU care au fost amestecate pentru a avea un conținut fisionabil combinat de  
15 mai puțin de 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$ . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut  
fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte  
17 moduri de realizare, RU în astfel de combustibili au un conținut fisionabil de la aproximativ  
0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,1% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU  
19 în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate  
 $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Și în alte moduri de realizare, RU în astfel de  
21 combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În fiecare  
din aceste moduri de realizare, DU al unor astfel de combustibili poate avea un conținut  
23 fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

Prin urmare, în unele moduri de realizare, prin amestecarea DU cu conținut fisionabil  
25 de  $^{235}\text{U}$  mai scăzut cu RU cu conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  mai ridicat, combustibilul nuclear  
RU/DU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 1,0% în greutate  
27  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/DU amestecat rezultat poate avea  
un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare,  
29 combustibilul nuclear RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72%  
în greutate  $^{235}\text{U}$ . De asemenea, în alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/DU  
31 rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ , rezultând  
astfel un combustibil echivalent cu uraniul natural, generat prin amestecarea RU cu DU.

În unele moduri de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei  
invenții include o primă componentă de combustibil de RU și o a doua componentă de  
35 combustibil de NU care au fost amestecate pentru a avea un conținut fisionabil combinat de  
mai puțin de 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut  
37 fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .  
În alte moduri de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de la  
39 aproximativ 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,1% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri  
de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ  
41 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare,  
RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  
43 de  $^{235}\text{U}$ .

Prin urmare, prin amestecarea NU cu conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  mai scăzut cu RU cu  
45 conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  mai ridicat, în unele moduri de realizare, combustibilul nuclear  
RU/NU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil mai mic de 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ .  
47 În alte moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU amestecat rezultat poate avea un  
conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare,

# RO 129195 B1

combustibilul nuclear RU/NU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$ . De asemenea, în anumite moduri de realizare, combustibilul nuclear RU/NU rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ , rezultând, așadar, într-un combustibil echivalent cu uraniul natural generat prin amestecarea RU și NU.

În anumite moduri de realizare, RU se amestecă atât cu DU, cât și cu NU, pentru a produce combustibili având aceleași conținuturi sau intervale de conținut fisionabile de  $^{235}\text{U}$  cu cele descrise mai sus, în legătură cu combustibilii nucleari RU/DU amestecat și cu RU/NU amestecat. În astfel de cazuri, conținuturile și intervalele de conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  ale RU și conținuturile și intervalele de conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  ale DU pot fi aceleași cu cele descrise mai sus.

Combustibilii nucleari, potrivit diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții, pot include o otravă inflamabilă (BP). De exemplu, oricare dintre combustibilii nucleari descriși în prezenta invenție poate include un amestec de RU și DU cu o otravă inflamabilă (BP), sau un amestec de RU și NU cu o otravă inflamabilă (BP). Otrava inflamabilă se poate amesteca și cu diferite amestecuri de RU/DU, amestecuri de RU/NU, precum și cu amestecurile de RU/DU/NU descrise în prezenta invenție.

## *Construirea fasciculului de combustibil*

Amestecarea combustibilului nuclear (potrivit celor descrise mai sus) este o modalitate puternică de a produce combustibili nucleari proaspeți din RU, de altfel, neutilizabil. Cu toate acestea, o astfel de amestecare reprezintă doar o tehnică prin care RU se poate utiliza pentru ardere în multe tipuri de reactoare, incluzând reactoare cu apă grea sub presiune. În multe moduri de realizare, combustibilii RU amestecați, descriși aici, pot fi utilizați într-un mod extrem de eficient, în fascicule de combustibil, în funcție, cel puțin parțial, de locațiile respectivelor combustibili amestecați din fasciculele de combustibil. De asemenea, RU poate fi utilizat chiar cu succes în fascicule de combustibil fără a fi în mod necesar amestecat potrivit celor descrise mai sus. În schimb, atunci când RU este inclus în anumite locații într-un fascicul de combustibil, are anumite conținuturi fisionabile de  $^{235}\text{U}$ , și/sau este utilizat cu combinațiile vizate de DU și/sau NU, fasciculul de combustibil rezultat prezintă caracteristicile dorite. Aceste caracteristici includ un mai mare control la arderea combustibilului, și un coeficient de vid al agentului de răcire mai scăzut (descriș mai jos).

Fig. 1...4 ilustrează diferite exemple de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear pentru utilizarea într-un reactor nuclear, precum reactorul **10** cu apă grea sub presiune, evidențiat schematic în fig. 5. În special, fiecare dintre fig. 1...4 ilustrează o vedere în secțiune transversală a unui număr de moduri de realizare a unui fascicul **14** de combustibil poziționat într-un tub **18** sub presiune. Aranjamentele de combustibil ilustrate în fiecare dintre fig. 1...4 sunt furnizate ca exemplu, înțelegându-se că alte aranjamente de combustibil în fasciculele de combustibil din fig. 1...4 sunt posibile, și sunt în spiritul și în aria de protecție a prezentei invenții. De reținut, de asemenea, că sunt furnizate mai sus acele caracteristici (incluzând conținuturile fisionabile de  $^{235}\text{U}$  și intervalele de conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$ ) ale diferiților combustibili descriși în raport cu fig. 1...4 de mai jos (RU, DU, NU, amestecuri RU/DU, amestecuri RU/NU și amestecuri RU/DU/NU).

Agentul de răcire **26**, de tip apă grea, este conținut în tubul **18** de presiune, și ocupă subcanalele dintre elementele **22** de combustibil ale fasciculului **14** de combustibil. Elementele **22** de combustibil pot include un element central **38**, o primă multitudine de elemente **42** poziționate radial către exterior față de elementul central **38**, o a doua multitudine de elemente **46** poziționate radial către exterior față de prima multitudine de elemente **42**, și o a treia multitudine de elemente **50** poziționate radial către exterior față de

# RO 129195 B1

1 a doua multitudine de elemente **46**. Se înțelege că, în alte moduri de realizare, fasciculul **14**  
2 de combustibil poate include mai puține sau mai multe elemente, și poate include și  
3 elemente în alte configurații decât acelea ilustrate în fig. 1...4. Spre exemplu, elementele **22**  
4 de combustibil pot fi poziționate în paralel unul cu celălalt într-unul sau mai multe planuri,  
5 elemente aranjate într-o matrice sau serie având formă bloc sau orice altă formă în secțiune  
6 transversală, și elemente în orice alt model sau configurație fără model. Tubul **18** de  
7 presiune, fasciculul **14** de combustibil și/sau elementele **22** de combustibil pot fi, de  
8 asemenea, configurate în diferite forme sau mărimi. Spre exemplu, tuburile **18** de presiune,  
9 fasciculele **14** de combustibil și elementele **22** de combustibil pot avea orice forme în  
10 secțiune transversală (altele decât formele rotunde arătate în fig. 1...5) și mărimi, după cum  
11 se dorește. Ca un alt exemplu, elementele **22** de combustibil în fiecare dintre fasciculele **14**  
12 de combustibil pot avea orice dimensiuni relative (altele decât dimensiunea uniformă sau  
13 versiunile cu două dimensiuni ale elementelor **22** de combustibil arătate în fig. 1...4).

14 În exemplele de realizare din fig. 1 și 2 este ilustrat un fascicul de combustibil cu 37  
15 de elemente, în care toate elementele **22** de combustibil au o dimensiune uniformă în  
16 secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în secțiune  
17 transversală). Prima multitudine de elemente **42** din fiecare dintre fig. 1 și 2 include șase  
18 elemente dispuse paralel unele față de altele, într-un model în general circular. A doua  
19 multitudine de elemente **46** din fiecare dintre fig. 1 și 2 include douăsprezece elemente, de  
20 asemenea, aranjate paralel unele față de altele într-un model, în general, circular. A treia  
21 multitudine de elemente **50** din fiecare dintre fig. 1 și 2 include 18 elemente, de asemenea,  
22 aranjate paralel unele cu altele într-un model, în general, circular. Elementul central **38**,  
23 prima multitudine de elemente **42**, a doua multitudine de elemente **46**, și a treia multitudine  
24 de elemente **50** sunt aranjate concentric, astfel încât toate elementele **22** sunt dispuse  
25 paralel unele cu altele. De asemenea, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în fig. 1...2,  
26 indicând poziția general circulară a elementelor **22**, sunt date doar în scop exemplificativ, și  
27 că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele **22** sunt legate împreună sau sunt altfel  
28 cuplate într-un aranjament special.

29 În modul de realizare din fig. 3 și 4 este ilustrat un fascicul **14** de combustibil cu 43  
30 de elemente. Prima multitudine de elemente **42** din fiecare dintre fig. 3 și 4 include șapte  
31 elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model, în general, circular. A doua  
32 multitudine de elemente **46** din fiecare dintre fig. 3 și 4 include 14 elemente aranjate în  
33 paralel unele cu altele, într-un model în general circular. A treia multitudine de elemente **50**  
34 din fiecare dintre fig. 3 și 4 include 21 de elemente dispuse paralel unele cu altele, într-un  
35 model, în general, circular. Elementul **38** central, prima multitudine de elemente **42**, a doua  
36 multitudine de elemente **46** și a treia multitudine de elemente **50** sunt aranjate concentric,  
37 astfel încât toate elementele **22** sunt paralele unele cu altele. Elementul central **38** și fiecare  
38 dintre prima multitudine de elemente **42** au o primă dimensiune în secțiune transversală (sau  
39 un diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în secțiune transversală), și fiecare  
40 dintre a doua multitudine **46** și a treia multitudine **50** de elemente au o a doua dimensiune  
41 în secțiune transversală (sau un diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în  
42 secțiune transversală) diferită de prima dimensiune transversală. În special, prima  
43 dimensiune în secțiune transversală este mai mare decât a doua dimensiune în secțiune  
44 transversală. În acest sens, termenul "formă în secțiune transversală" face referire la forma  
45 în secțiune transversală generată de un plan care trece prin corpul raportat la o orientare  
46 care este perpendiculară pe o axă longitudinală a corpului. De asemenea, trebuie să se  
47 înțeleagă că liniile incluse în fig. 3 și 4, indicând poziția general circulară a elementelor **22**,  
48 sunt date doar în scop exemplificativ, și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele  
49 sunt legate împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.



# RO 129195 B1

În anumite moduri de realizare, fiecare dintre elementele **22** de combustibil din fig. 1...4 include un tub umplut cu combustibil nuclear. Tubul poate fi realizat din sau poate include zirconiu, un aliaj de zirconiu sau alt material convenabil, sau o combinație de materiale, fiind în anumite cazuri caracterizat prin absorbție mică de neutroni. Tubul poate să fie umplut cu unul sau mai multe materiale, cum ar fi combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale. Materialul(ele) poate(pot) fi sub formă de pelete, sub formă de pulbere sau sub altă formă convenabilă sau combinații de forme. În alte exemple de realizare, fiecare dintre elementele **22** de combustibil include o tijă formată dintr-unul sau mai multe materiale (de exemplu, combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale), cum ar fi combustibil nuclear conținut în matricea unui alt material. De asemenea, în anumite forme de realizare, elementele **22** de combustibil dintr-un fascicul **14** pot include o combinație de tuburi sau tije și/sau alte elemente conținând combustibil, și elementele **22** de combustibil pot lua alte configurații potrivite unei aplicații speciale.

După cum este arătat în fig. 1...4, elementele **22** de combustibil pot include diverse combinații de combustibili nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU), uraniu reprocessat sau reciclat (RU). Făcând mai întâi referire la fig. 1, fasciculul **14** de combustibil ilustrat în aceasta include cele 37 de elemente. Elementul central **38** din fig. 1 include un amestec de RU și DU având un prim conținut fisionabil (adică (RU/DU)<sup>1</sup>) și/sau un amestec de DU și o otravă inflamabilă (BP) și/ sau DU. Potrivit celor descrise mai sus, un amestec (desemnat, în general, în prezenta prin utilizarea unei bare "/") de materiale se poate crea cu ajutorul unei metode cunoscute în stadiul tehnicii, cum ar fi, dar fără a se limita la acestea, utilizarea unei soluții acide, sau amestecarea uscată a materialelor care fac obiectul prezentei invenții. Întorcându-ne la fig. 1, prima multitudine de elemente **42** include un amestec de RU și DU având un al doilea conținut fisionabil (adică (RU/DU)<sup>2</sup>). A doua multitudine de elemente **46** include un amestec de RU și DU având un al treilea conținut fisionabil (adică (RU/DU)<sup>3</sup>) și/sau NU având un prim conținut fisionabil (adică NU<sup>1</sup>). A treia multitudine de elemente **50** include un amestec de RU și DU având un al patrulea conținut fisionabil (adică (RU/DU)<sup>4</sup>) și/sau NU având un al doilea conținut fisionabil (adică NU<sup>2</sup>).

În modurile de realizare ilustrate în fig. 1, precum și cele ale celorlalte figuri din prezenta cerere, se face referire la materialele care au fost amestecate cu bara "/". Cu toate acestea, în fiecare dintre astfel de cazuri, aranjamente alternative de combustibil pentru astfel de elemente includ utilizarea elementelor **22** de combustibil, fiecare având doar unul dintre combustibilii menționați, dar utilizați în combinație cu elementele **22** de combustibil având celălalt combustibil menționat. Utilizarea unor astfel de elemente **22** de diferite tipuri de combustibil (de exemplu, în același inel de elemente **22**) poate fi asigurată în locul sau în plus față de elementele **22** având un amestec de tipuri de combustibil potrivit celor descrise mai sus.

De exemplu, inelul de elemente **22** (RU/DU)<sup>2</sup> din fig. 1 indică faptul că fiecare element **22** ilustrat din prima multitudine de 36 de elemente este un amestec de RU și DU. Totuși, alternativ sau în plus, prima multitudine de 36 de elemente poate include, în schimb, unul sau mai multe elemente de RU și unul sau mai multe elemente de DU. Elementele **22** de combustibil rezultate care conțin RU sau DU pot fi aranjate în diferite configurații, ca într-un aranjament alternativ, cu o poziție radială care se modifică în funcție de fasciculele de combustibil **14**.

În anumite moduri de realizare, conținutul fisionabil de <sup>235</sup>U al amestecurilor RU/DU incluse în fasciculul de combustibil **14** din fig. 1 este aproximativ aceleași (de la inel la inel, sau cu modificarea distanței radiale de la centrul fasciculului **14** de combustibil).

# RO 129195 B1

1 În alte moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  al amestecurilor RU/DU incluse în  
fasciculul **14** de combustibil se modifică de la inel la inel, sau cu modificarea distanței radiale  
3 de la centrul fasciculului **14** de combustibil. De exemplu, amestecul RU/DU inclus în cel puțin  
unul dintre elementul central **38**, prima multitudine de elemente **42**, a doua multitudine de  
5 elemente **46** și a treia multitudine de elemente **50** din fig. 1 poate avea un conținut fisionabil  
diferit de un conținut fisionabil al unui amestec inclus într-unul sau mai multe dintre celelalte  
7 elemente. În anumite moduri de realizare, un amestec (RU/DU)<sup>1</sup> inclus în elementul central  
**38** din fig. 1 conține, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât amestecul (RU/DU)<sup>2</sup>  
9 inclus în prima multitudine de elemente **42**, amestecul de (RU/DU)<sup>2</sup> inclus în prima  
multitudine de elemente **42** conține în general un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice  
11 amestec (RU/DU)<sup>3</sup> inclus în a doua multitudine de elemente **46**, și orice amestec (RU/DU)<sup>3</sup>  
inclus în a doua multitudine de elemente **46** are, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$   
13 decât orice amestec (RU/DU)<sup>4</sup> inclus în a treia multitudine de elemente **50**. Prin urmare,  
conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  al combustibilului nuclear inclus în fasciculul **14** de combustibil  
15 poate crește într-o direcție radială către exterior, de la centrul fasciculului **14** de combustibil.  
Cu toate acestea, în alte moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  scade într-o direcție  
17 radială către exterior de la centrul fasciculului **14** de combustibil.

În același mod, conținutul fisionabil al oricărui NU utilizat în modurile de realizare din  
19 fig. 1 poate fi aproximativ același sau poate fi modificat prin schimbarea distanței de la  
centrul fasciculului **14** de combustibil. De exemplu, orice NU<sup>1</sup> inclus în a doua multitudine de  
21 elemente **46** poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice NU<sup>2</sup> inclus  
în a treia multitudine de elemente **50**. Alternativ, orice NU<sup>2</sup> inclus în a treia multitudine de  
23 elemente **50** poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice NU<sup>1</sup> inclus  
în a doua multitudine de elemente **46**.

În plus, în anumite moduri de realizare, conținutul fisionabil specific al unui element  
25 combustibil specific **22** se poate modifica prin una sau mai multe multitudini de elemente **42**,  
**46** și **50** (de exemplu, într-o direcție radială din fasciculul **14** de combustibil) sau de-a lungul  
27 lungimii longitudinale a fasciculului **14** de combustibil. De asemenea, o BP poate fi inclusă  
în oricare dintre sau în toate elementele **22** de combustibil din fig. 1, precum în elementul  
29 central **38**, așa cum a fost ilustrat.

Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe exemplele de  
31 realizare a fasciculului de combustibil ilustrat în fig. 1, și sunt prezentate ca exemple de  
fascicule de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie  
33 avute în vedere ca limitând scopul prezentei invenții sau celelalte moduri de realizare posibile  
avute în vedere în fig. 1. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element  
35 central.

## 37 Exemplul 1

Elementul central:	RU/DU
39 Primul inel de elemente <b>42</b> :	RU/DU
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	RU/DU
41 Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	RU/DU

## 43 Exemplul 2

Elementul central:	(RU/DU) <sup>1</sup>
43 Primul inel de elemente <b>42</b> :	(RU/DU) <sup>2</sup>
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	(RU/DU) <sup>3</sup>
45 Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	(RU/DU) <sup>4</sup> ,

# RO 129195 B1

în care (RU/DU)<sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup>, (RU/DU)<sup>3</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup> și/sau (RU/DU)<sup>2</sup>, și/sau în care (RU/DU)<sup>4</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup>, (RU/DU)<sup>2</sup>, și/sau (RU/DU)<sup>3</sup>. 1

## Exemplul 3 5

Elementul central: (RU/DU)<sup>1</sup>

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)<sup>2</sup> 7

Al doilea inel de elemente **46**: (RU/DU)<sup>3</sup>

Al treilea inel de elemente **50**: NU, 9

în care (RU/DU)<sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup>, și în care (RU/DU)<sup>3</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup> și/sau (RU/DU)<sup>2</sup>. 11

## Exemplul 4

Elementul central: (RU/DU)<sup>1</sup> 13

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)<sup>2</sup>

Al doilea inel de elemente **46**: NU 15

Al treilea inel de elemente **50**: (RU/DU)<sup>3</sup>,

în care (RU/DU)<sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup>, și în care (RU/DU)<sup>3</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât al (RU/DU)<sup>1</sup> și/sau (RU/DU)<sup>2</sup>. 17

## Exemplul 5 19

Elementul central: (RU/DU)<sup>1</sup>

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)<sup>2</sup> 21

Al 2-lea inel de elemente **46**: NU

Al 3-lea inel de elemente **50**: NU, 23

în care (RU/DU)<sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup>U mai mare decât cel al (RU/DU)<sup>1</sup>. 25

Fig. 2 ilustrează o altă realizare a unui fascicul **14** de combustibil cu cele 37 de elemente. Elementul central **38** din fig. 2 include RU având un prim conținut fisionabil (adică RU<sup>1</sup>) și/sau DU având un prim conținut fisionabil (adică DU<sup>1</sup>). Prima multitudine de elemente **42** din fig. 2 include RU având un al doilea conținut fisionabil (adică RU<sup>2</sup>) și/sau DU având un al doilea conținut fisionabil (adică DU<sup>2</sup>). A doua multitudine de elemente **46** include RU având un al treilea conținut fisionabil (adică RU<sup>3</sup>). A treia multitudine de elemente **50** include RU având un al patrulea conținut fisionabil (adică RU<sup>4</sup>). 27

Conținuturile fisionabile de <sup>235</sup>U ale RU incluse în fiecare element **22** de combustibil pot fi aproximativ aceleași și/sau se pot modifica. În acele exemple de realizare în care conținutul fisionabil de <sup>235</sup>U al RU din fig. 2 se modifică, această modificare poate apărea cu distanța radială de la centrul fascicului de combustibil și/sau o poziție circulară în fasciculul **14** de combustibil, și poate exista între oricare sau toate inelele din fig. 2, și/ sau între oricare dintre sau toate pozițiile circulare ale oricărui inel. De exemplu, în anumite exemple de realizare, RU<sup>1</sup> inclus în elementul central **38** are, în general, un procent mai scăzut de <sup>235</sup>U decât RU<sup>2</sup> inclus în prima multitudine de elemente **42**, amestecul RU<sup>2</sup> inclus în prima multitudine de elemente **42** are, în general, un procent mai scăzut de <sup>235</sup>U decât RU<sup>3</sup> inclus în a doua multitudine de elemente **46**, și/ sau RU<sup>3</sup> inclus în a doua multitudine de elemente **46** are, în general, un procent mai scăzut de <sup>235</sup>U decât RU<sup>4</sup> inclus în a treia multitudine de elemente **50**. Prin urmare, în anumite moduri de realizare, conținutul fisionabil de <sup>235</sup>U al combustibilului nuclear al fascicului **14** de combustibil crește într-o direcție radială către exterior de la centrul fascicului **14** de combustibil. Cu toate acestea, în alte moduri de realizare, conținutul fisionabil de <sup>235</sup>U scade într-o direcție radială către exterior de la centrul fascicului **14** de combustibil. 31

# RO 129195 B1

1 Se înțelege că, și atunci când conținutul fisionabil al RU inclus în fasciculul **14** de  
combustibil din fig. 2 este modificat în oricare dintre modalitățile descrise mai sus, fiecare  
3 element **22** de combustibil încă are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  situat în general între și  
incluzând aproximativ de la 0,72% până la aproximativ 1,2% de  $^{235}\text{U}$ . Doar ca exemplu,  
5 conținutul fisionabil de  $\text{RU}^1$  inclus în elementul central **38** este ales din intervalul definit mai  
sus pentru RU, iar conținutul fisionabil al  $\text{RU}^2$  inclus în prima multitudine de elemente **42**  
7 este, de asemenea, ales din același interval definit, dar poate fi diferită de conținutul  
fisionabil ales pentru elementul central **38**.

9 În mod similar, conținutul fisionabil al oricărui DU utilizat în modurile de realizare din  
fig. 2 poate fi aproximativ același sau variază - fie cu distanța radială de la centrul fasciculului  
11 **14** de combustibil, fie cu schimbarea poziției circulare în fasciculul **14** de combustibil. Din  
nou, doar pentru exemplificare, orice  $\text{DU}^1$  inclus în elementul **38** central poate avea, în  
13 general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice  $\text{DU}^2$  inclus în cea de a doua multitudine  
de elemente **42**. Alternativ, orice  $\text{DU}^2$  inclus în cea de a doua multitudine de elemente **42**  
15 poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice  $\text{DU}^1$  inclus în elementul  
**38** central.

17 Mai mult, în unele moduri de realizare, conținutul fisionabil special al unui anumit  
element **22** de combustibil poate varia de-a lungul unuia sau mai multora din multitudinea  
19 de elemente **42**, **46** și **50** (de exemplu, într-o direcție circulară în fasciculul **14** de combustibil)  
sau de-a lungul lungimii longitudinale a fasciculului **14** de combustibil. De asemenea, o BP  
21 poate fi inclusă în oricare sau toate elementele **22** de combustibil din fig. 2.

23 Următorul aranjament al fasciculului **14** de combustibil se bazează pe modurile de  
realizare a fasciculului de combustibil ilustrate în fig. 2, și este prezentat ca un exemplu de  
fascicul **14** de combustibil având caracteristici deosebit de dorite, dar nu este considerat ca  
25 limitând scopul prezentei invenții sau celelalte moduri de realizare posibile, avute în vedere  
în fig. 2. Așa cum se utilizează aici, termenul „inel” include un singur element central.

## 27 Exemplul 6

29 Elementul central:  $\text{DU}^1$   
Primul inel de elemente **42**:  $\text{DU}^2$   
Al doilea inel de elemente **46**:  $\text{RU}^1$   
31 Al treilea inel de elemente **50**:  $\text{RU}^2$ ,

în care  $\text{DU}^2$  are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  mai mare decât cel al  $\text{DU}^1$ , și în care  $\text{RU}^2$  are  
33 un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  mai mare decât cel al  $\text{RU}^1$ .

35 Exemplele de realizare din fig. 3 sunt semnificativ similare cu exemplele de realizare  
din fig. 1 descrise mai sus, cu excepția faptului că fasciculul **14** de combustibil este un  
fascicul de combustibil cu 43 de elemente și are elementele **22** de combustibil neuniforme,  
37 așa cum s-a descris anterior. Dat fiind că distribuirea combustibilului nuclear în elementul  
central, prima, a doua și a treia multitudine de elemente **38**, **42**, **46** și, respectiv, **50** este  
39 similară cu fig. 1, prin prezenta se face referire la descrierea care însoțește fig. 1 de mai sus,  
pentru detalii suplimentare privind exemplele de realizare (și posibilele alternative la acestea)  
41 evidențiate în fig. 3.

43 Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe modurile de  
realizare a fasciculului de combustibil ilustrate în fig. 3, și sunt prezentate ca exemple de  
fascicule de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie  
45 considerate ca limitând obiectul prezentei invenții sau celelalte moduri de realizare posibile  
avute în vedere în fig. 3. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element  
47 central.

# RO 129195 B1

<b>Exemplul 7</b>		1
Elementul central:	RU/DU	
Primul inel de elemente <b>42</b> :	RU/DU	3
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	RU/DU	
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	RU/DU	5
<b>Exemplul 8</b>		
Elementul central:	RU/DU	7
Primul inel de elemente <b>42</b> :	RU/DU	
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	RU/DU	9
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	NU	
<b>Exemplul 9</b>		11
Elementul central:	RU/DU	
Primul inel de elemente <b>42</b> :	RU/DU	13
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	NU	
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	RU/DU	15
<b>Exemplul 10</b>		
Elementul central:	DU/BP	17
Primul inel de elemente <b>42</b> :	(RU/DU) <sup>1</sup>	
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	(RU/DU) <sup>2</sup>	19
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	(RU/DU) <sup>3</sup> ,	
în care (RU/DU) <sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât cel al (RU/DU) <sup>1</sup> , și în care (RU/DU) <sup>3</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât al (RU/DU) <sup>2</sup> și/sau (RU/DU) <sup>1</sup> .		21
<b>Exemplul 11</b>		23
Elementul central:	DU	
Primul inel de elemente <b>42</b> :	(RU/DU) <sup>1</sup>	25
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	(RU/DU) <sup>2</sup>	
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	(RU/DU) <sup>3</sup> ,	27
în care (RU/DU) <sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât cel al (RU/DU) <sup>1</sup> , și în care (RU/DU) <sup>3</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât al (RU/DU) <sup>2</sup> și/sau (RU/DU) <sup>1</sup> .		29
<b>Exemplul 12</b>		
Elementul central:	DU/BP	31
Primul inel de elemente <b>42</b> :	(RU/DU) <sup>1</sup>	
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	(RU/DU) <sup>2</sup>	33
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	NU,	
în care (RU/DU) <sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât cel al (RU/DU) <sup>1</sup> .		35
<b>Exemplul 13</b>		
Elementul central:	DU/BP	37
Primul inel de elemente <b>42</b> :	(RU/DU) <sup>1</sup>	
Al doilea inel de elemente <b>46</b> :	NU	39
Al treilea inel de elemente <b>50</b> :	(RU/DU) <sup>2</sup> ,	
în care (RU/DU) <sup>2</sup> are un conținut fisionabil de <sup>235</sup> U mai mare decât cel al (RU/DU) <sup>1</sup> .		41
Exemplele de realizare din fig. 4 sunt semnificativ similare cu modurile de realizare din fig. 2 descrise anterior, cu excepția faptului că fasciculul <b>14</b> de combustibil este un fascicul de combustibil cu 43 de elemente și are elementele <b>22</b> de combustibil neuniforme, așa cum s-a descris anterior. Dat fiind că distribuția combustibilului nuclear în elementul central, în prima, a doua și a treia multitudine de elemente <b>38</b> , <b>42</b> , <b>46</b> și, respectiv, <b>50</b> este similară cu fig. 2, prin prezenta se face referire la descrierea care însoțește fig. 2 de mai sus, pentru detalii suplimentare privind exemplele de realizare (și posibilele alternative la acestea) evidențiate în fig. 4.		43 45 47 49

# RO 129195 B1

1 Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe exemplele de  
realizare a fasciculului de combustibil ilustrat în fig. 4, și sunt prezentate ca exemple de  
3 fascicule de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie  
avute considerate ca limitând obiectul prezentei invenții sau celelalte moduri de realizare  
5 posibile, avute în vedere în fig. 4. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un  
element central.

## 7 Exemplul 14

Elementul central: DU/BP

9 Primul inel de elemente 42: RU

Al doilea inel de elemente 46: RU

11 Al treilea inel de elemente 50: RU

## Exemplul 15

13 Elementul central: DU

Primul inel de elemente 42: RU

15 Al doilea inel de elemente 46: RU

Al treilea inel de elemente 50: RU

## 17 Exemplul 16

Elementul central: DU

19 Primul inel de elemente 42: DU

Al doilea inel de elemente 46: RU

21 Al treilea inel de elemente 50: RU

Exemplele de realizare din fig. 3 și 4 prezintă exemple ale modurilor în care, la un  
23 anumit număr de elemente de combustibil, aranjarea elementului de combustibil (de  
exemplu, inele de elemente în exemplele de realizare ilustrate), dimensiunile elementului de  
25 combustibil și dimensiunile relative ale elementului de combustibil se pot schimba în timp ce  
pot, totuși, să întruchipeze prezenta invenției. În unele exemple de realizare, conținutul  
27 fisionabil de  $^{235}\text{U}$  al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre  
centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil de  
29  $^{235}\text{U}$  crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

În reactoarele răcite cu apă grea, viteza de multiplicare a neutronilor crește când apar  
31 goluri în agentul de răcire. Goluri în agentul de răcire apar, spre exemplu, când agentul de  
răcire începe să fiarbă. Coeficientul de vid al reactivității agentului de răcire este o măsură  
33 a abilității unui reactor de a multiplica neutronii. Acest fenomen este datorat coeficientului de  
vid pozitiv al reactivității agentului de răcire, și se poate produce în toate reactoarele, pentru  
35 diferite situații. Prezenta invenție poate asigura o reducere semnificativă a coeficientului de  
vid al reactivității agentului de răcire, și poate, de asemenea, asigura un coeficient de  
37 temperatură negativ al combustibilului și/sau un coeficient negativ de putere.

Exemplele de realizare descrise mai sus și ilustrate în figuri sunt prezentate doar în  
39 scopul exemplificării, și nu sunt prevăzute ca o limitare a conceptelor și a principiilor  
prezentei invenții. Astfel, se va aprecia de un specialist în domeniu că diferite schimbări ale  
41 elementelor și ale configurațiilor acestora sunt posibile fără a se îndepărta de la spiritul și  
scopul prezentei invenții. Spre exemplu, în diferite exemple de realizare descrise și/sau  
43 ilustrate în prezenta, amestecurile de RU și DU mai sunt amestecate cu diferite tipuri de  
combustibil nuclear sau cu alte materiale pentru a produce combustibili nucleari având  
45 conținutul fisionabil dorit. De exemplu, RU și DU se pot amesteca (separat sau ca un  
amestec RU/DU) cu un uraniu ușor îmbogățit (SEU) și cu un uraniu slab îmbogățit (LEU).

# RO 129195 B1

Potrivit definiției din prezenta invenție, SEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% până la aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (incluzând aproximativ 0,9% în greutate și aproximativ 3% în greutate), și LEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 3% în greutate până la aproximativ 20% în greutate de U (incluzând aproximativ 3% în greutate și aproximativ 20% în greutate).

De asemenea, modurile de realizare descrise în prezenta invenție pot fi utilizate cu tuburi de presiune mai mari sau mai mici decât cele utilizate în reactoarele actuale cu tuburi sub presiune, și pot fi, de asemenea, utilizate pentru viitoare reactoare cu tuburi sub presiune. În plus, prezenta invenție poate fi utilizată în fascicule de combustibil având un număr și un aranjament diferit al elementelor, și nu se limitează la modelele și aranjamentele fasciculului de combustibil cu 43 și 37 de elemente, precum cele ilustrate cu titlu de exemplu în fig. 1...4. De exemplu, deși modurile de realizare din fig. 3 și 4 utilizează două dimensiuni diferite ale elementelor în fasciculele **14** de combustibil ilustrate, pe când modurile de realizare din fig. 1 și 2 utilizează dimensiuni uniforme ale elementelor de-a lungul fasciculelor **14** de combustibil ilustrate, se va aprecia că oricare dintre fasciculele de combustibil descrise în prezenta invenție pot avea elemente de aceeași dimensiune sau elemente de dimensiuni diferite în diferite inele și/ sau diferite poziții circulare din cadrul fasciculelor de combustibil, fără a se îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Ca alt exemplu, elementele de dimensiuni mai mare nu trebuie să fie, în mod necesar, situate doar în primul și/sau în al doilea inel al unui fascicul **14** de combustibil. În alte moduri de realizare, aceste dimensiuni ale elementelor relativ mai mari sunt situate în inelele exterioare radiale ale fasciculului **14** de combustibil (de exemplu, inel situat radial către exterior și/sau inel adiacent acestuia).

## *Construcția fasciculului de combustibil pentru CVR redus sau negativ*

Așa cum s-a descris mai sus, se dorește să se scadă coeficientul de vid al agentului de răcire (CVR), și chiar să se obțină un CVR negativ, într-un reactor nuclear cu apă grea sub presiune, cum ar fi reactorul Canadian Deuterium Uranium (CANDU). Cererea de brevet de invenție canadiană nr. 2097412, al cărei conținut este încorporat prin referință în prezenta invenție, oferă cunoștințe generale utile în ceea ce privește știința reducere coeficientului de vid al agentului de răcire, în special în reactoarele CANDU. Un absorbant de neutroni sau „otravă” poate să fie inclus împreună cu conținutul fisionabil într-un fascicul de combustibil, pentru a reduce sau pentru a aduce la valori complet negative valorile pozitive ale CVR. Spre exemplu, se poate amesteca o otravă cu unul sau mai multe tipuri de uraniu în unul sau mai multe dintre elementele **22** ale oricăror dintre fasciculele **14** de combustibil (incluzând fasciculul de combustibil cu 37 de elemente, din fig. 1 și 2, și fasciculul de combustibil cu 43 de elemente, din fig. 3 și 4). Otrava poate fi o otravă inflamabilă, cum ar fi disprosiu ori gadolinu, sau, alternativ, poate să fie o otravă neinflamabilă, cum ar fi hafniu. Pentru a compensa efectul absorbției de neutroni al otrăvii, este necesară o creștere a materialului fisionabil în comparație cu un uraniu natural neotrăvit, folosit în mod obișnuit într-un reactor CANDU. Pentru a atinge o anumită țintă a arderii combustibilului și un anumit CVR, se poate folosi o schemă de îmbogățire gradată în crearea fasciculului **14** de combustibil.

Într-o construcție, se asigură un fascicul de combustibil cu 37 de elemente, așa cum este arătat în fig. 1 și 2, în care fiecare dintre elementele **22** de combustibil are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  între aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  și 5,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și cel puțin unul dintre elementele **22** de combustibil este un element de combustibil din uraniu ușor îmbogățit otrăvit, incluzând o otravă de neutroni într-o concentrație mai mare de aproximativ 5,0 vol%. Cu alte cuvinte, toate elementele **22** de combustibil se califică fiind „ușor-îmbogățite”, și se pot califica drept sau pot conține uraniu „slab-îmbogățit”.

# RO 129195 B1

1 În anumite construcții, conținutul fisionabil cel puțin al unui element de combustibil din uraniu  
slab-îmbogățit otrăvit este de cel puțin aproximativ 3,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și, în special, poate  
3 fi între aproximativ 3,0% în greutate  $^{235}\text{U}$  și aproximativ 3,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Conținutul de  
otravă de neutroni cel puțin al unui element de combustibil din uraniu slab-îmbogățit otrăvit  
5 poate fi cuprins între aproximativ 5,0% volumetric și aproximativ 8,0% volumetric. Într-un  
exemplu special, conținutul fisionabil cel puțin al unui element de combustibil din uraniu  
7 slab-îmbogățit otrăvit este de aproximativ 3,21% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și concentrația de otravă  
de neutroni în cel puțin unul dintre elementele de combustibil din uraniu slab-îmbogățit este  
9 de aproximativ 6,82% volumetric. Otrava de neutroni în acest exemplu special poate fi  
disprosiu. Otrava de neutroni poate, de asemenea, să fie un amestec de disprosiu și o altă  
11 otravă inflamabilă, cum ar fi gadoliniu.

În exemplele de mai sus, printre alte configurații din sfera de protecție a invenției, cel  
13 puțin unul dintre elementele de combustibil din uraniu slab îmbogățit al fasciculului **14** de  
combustibil include elementul **38** central al fasciculului, și fiecare dintre elementele de  
15 combustibil al primei multitudini **42** care înconjoară în imediata apropiere elementul **38**  
central. Elementele **22** de combustibil rămase ale fasciculului **14** de combustibil (adică  
17 elementele de combustibil ale celei de a doua și ale celei de a treia multitudini **46**, **50**) sunt  
elemente de combustibil neotrăvite, dispuse radial în afara elementelor **38**, **42** de combustibil  
19 din uraniu slab îmbogățit, otrăvite. Fiecare dintre elementele **46**, **50** de combustibil neotrăvite  
are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  ce nu depășește conținutul fisionabil al elementelor **38**, **42**  
21 de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, și cel puțin unele dintre elementele **46**, **50**  
de combustibil neotrăvite au un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  care este mai mic decât conținutul  
23 fisionabil al elementelor **38**, **42** de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit.

În anumite construcții, elementele de combustibil ale celei de a doua multitudini **46**  
25 au un conținut fisionabil mai mare decât acela al elementelor de combustibil din cea de a  
treia multitudine **50**. Spre exemplu, elementele de combustibil ale celei de a doua multitudini  
27 **46** pot avea un conținut fisionabil între aproximativ 3,0% în greutate și aproximativ 3,5% în  
greutate  $^{235}\text{U}$ , și elementele de combustibil din cea de a treia multitudine **50** au un conținut  
29 fisionabil mai mic decât aproximativ 2,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Mai special, elementele de  
combustibil ale celei de a doua multitudini **46** pot avea un conținut fisionabil de aproximativ  
31 3,18% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și elementele de combustibil din cea de a treia multitudine **50** pot  
avea un conținut fisionabil de aproximativ 1,73% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

În alte construcții, conținutul fisionabil al elementelor **22** de combustibil poate fi tot  
33 același cu cel al elementelor de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, sau cel puțin  
35 poate să fie mai mare decât nivelurile din exemplul special de mai sus. Pentru a menține un  
CVR scăzut (adică mai mic decât cel al unui fascicul de combustibil din uraniu natural) și, în  
37 anumite cazuri, CVR negativ, cu niveluri ale conținutului fisionabil mai mari decât cele  
exprimate în exemplul special de mai sus, elementele **38**, **42** de combustibil din uraniu slab  
39 îmbogățit, otrăvit, pot avea un conținut de otravă mai mare decât 6,82% volumetric. Spre  
exemplu, conținutul de otravă al elementelor **38**, **42** de combustibil din uraniu slab îmbogățit,  
41 otrăvit, poate crește până la 20% volumetric în raport cu conținutul fisionabil.

Deși materialul pentru elementele de combustibil descrise mai sus poate fi produs  
43 prin îmbogățirea uraniului natural, pentru a atinge conținutul fisionabil dorit, surse alternative  
pot furniza flexibilitate în alimentare. Pentru a limita volumul de îmbogățire cerut pentru a  
45 produce un conținut fisionabil predeterminat de  $^{235}\text{U}$  într-un element **22** special de  
combustibil, și pentru a se utiliza surse alternative de uraniu, se poate amesteca o cantitate  
47 de uraniu slab îmbogățit cu o cantitate din oricare dintre uraniu natural, uraniu reciclat și



# RO 129195 B1

uraniu sărăcit. Spre exemplu, pentru a produce un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, având un conținut fisionabil de 3,21% în greutate  $^{235}\text{U}$ , se poate amesteca o cantitate mică de uraniu slab îmbogățit, având un conținut fisionabil mai mare de 3,21% în greutate  $^{235}\text{U}$ , cu uraniu reciclat (ce are un conținut fisionabil cuprins între aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  și 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ ). Dacă este prezent suficient  $^{235}\text{U}$  în uraniul slab îmbogățit, amestecul poate include uraniu reciclat și/sau cel puțin unul dintre uraniu natural și uraniu sărăcit.

Un fascicul de combustibil cum ar fi acela descris mai sus asigură un coeficient de vid al agentului de răcire (CVR) și un coeficient de temperatură a combustibilului (FTC) mai mici decât CVR și FTC corespunzătoare ale unui fascicul de combustibil echivalent din uraniu natural, fără o reducere a puterii utile, când se folosește drept combustibil într-un reactor nuclear cu apă grea sub presiune. Un astfel de fascicul de combustibil poate asigura un CVR negativ, un FTC negativ și un coeficient negativ de putere (PC). CVR pentru acest tip de fascicul de combustibil nu este foarte sensibil la consumul combustibilului. Spre exemplu, un fascicul de combustibil, așa cum s-a descris mai sus, poate conduce la valori ale CVR de -3 mk la un consum mediu.

Pentru a utiliza un fascicul de combustibil incluzând elemente de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, un fascicul de combustibil (sau fascicule de combustibil similare multiple) având caracteristicile descrise mai sus este inserat într-unul dintre tuburile **18** de presiune ale unui reactor nuclear cu apă grea sub presiune, și se pune în funcțiune reactorul, pentru a arde combustibilul. Când este ars în reactor, fasciculul de combustibil produce o putere cel puțin la fel de mare ca aceea produsă de un fascicul de combustibil din uraniu natural, în timp ce, înșă, asigură un coeficient de vid negativ al agentului de răcire (CVR), un coeficient negativ de temperatură a combustibilului (FTC), și un coeficient negativ de putere (PC). De aceea, după golirea agentului de răcire în interiorul tubului de presiune, reactivitatea fasciculului de combustibil de fapt scade. Un reactor construit pentru a arde combustibil din uraniu natural poate fi alimentat prin înlocuirea unuia sau mai multora dintre fasciculele de combustibil din uraniu natural cu fasciculele de combustibil incluzând elemente de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit. Reactorul poate funcționa fără discriminare cu tipul de fascicule de combustibil care sunt încărcate, astfel încât nu este necesară o reconfigurare a reactorului pentru combustibilul diferit. Fasciculele de combustibil de înlocuire, incluzând elemente de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, asigură performanțe similare cu acelea ale uraniului natural, cu un factor de siguranță crescut. Fasciculele de combustibil de înlocuire pot, de asemenea, să reducă dependența de proviziile de uraniu natural proaspăt, profitând de uraniul reciclat și/sau uraniul sărăcit.

În anumite construcții, unul sau mai multe tuburi **18** de presiune sunt umplute cu fascicule de combustibil similare cu fasciculul de combustibil descris mai sus. Spre exemplu, fiecare tub **18** de presiune primește 12 fascicule de combustibil dintr-odată. Deoarece rețeaua k-infinit a fasciculului de combustibil având uraniu slab îmbogățit și otrăvit de neutroni este mai mare decât un fascicul de combustibil similar, din uraniu natural, nu se poate folosi o schemă convențională de alimentare cu un schimb de 8 fascicule. În schimb, se poate folosi o schemă de schimbare a combustibilului cu 4 sau cu 2 fascicule. Mai mult, se poate folosi o combinație de schimbare a fasciculelor, cum ar fi un schimb mixt de 2 și 4 fascicule, sau un schimb mixt de 4 și 8 fascicule. Realimentarea tubului (lor) **18** de presiune se face cu una dintre aceste scheme, în timpul funcționării reactorului nuclear (adică fără oprirea reactorului).

# RO 129195 B1

## Revendicări

1  
3 1. Fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear, **caracterizat prin aceea că** va cuprinde:

5 - elemente de combustibil cu un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$ , în care fiecare dintre elementele de combustibil ale fasciculului de combustibil are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$   
7 între aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  și 5,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și în care cel puțin unul dintre elementele de combustibil este un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit,  
9 incluzând o otravă de neutroni într-o concentrație mai mare de aproximativ 5,0% volumetrică;

- fascicul de combustibil care asigură un coeficient de vid al agentului de răcire (CVR)  
11 și un coeficient de temperatură al combustibilului (FTC) mai mici decât CVR și FTC ale unui fascicul de combustibil echivalent, din uraniu natural, fără o scădere a puterii utile, când este  
13 folosit drept combustibil într-un reactor nuclear cu apă grea sub presiune.

2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** acest conținut fisionabil cel puțin al unui element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit,  
15 este de cel puțin aproximativ 3,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

3. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** acest conținut fisionabil cel puțin al unui element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit,  
17 este între aproximativ 3,0% în greutate  $^{235}\text{U}$  și aproximativ 3,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

4. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** respectiva concentrație de otravă de neutroni în cel puțin un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, este între aproximativ 5,0% volumetrică și aproximativ 8,0%  
21 volumetrică.

5. Fascicul de combustibil conform revendicării 4, **caracterizat prin aceea că** acest conținutul fisionabil cel puțin al unui element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit,  
25 este de aproximativ 3,21% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și concentrația de otravă de neutroni în cel puțin un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit este de aproximativ 6,82% volumetrică,  
27 **și prin aceea că** otrava de neutroni este disprosiu.

6. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...5, **caracterizat prin aceea că** cel puțin un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, include  
29 un element de combustibil central care se extinde de-a lungul unei axe a fasciculului de combustibil și o primă multitudine de elemente de combustibil care înconjoară, în imediata  
31 apropiere, elementul de combustibil central, **și prin aceea că** restul elementelor de combustibil ale fasciculului de combustibil sunt elemente de combustibil neotrăvite, dispuse  
33 radial, în afara elementelor de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit.

7. Fascicul de combustibil conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că** fiecare dintre elementele de combustibil neotrăvit are un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  care nu  
37 depășește conținutul fisionabil al elementelor de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, și cel puțin unele dintre elementele de combustibil neotrăvit au un conținut fisionabil  
39 de  $^{235}\text{U}$  care este mai mic decât conținutul fisionabil al uraniului slab îmbogățit, otrăvit.

8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, **caracterizat prin aceea că** elementele de combustibil neotrăvit sunt aranjate pentru a include o a doua multitudine de  
41 elemente de combustibil care înconjoară, în imediata apropiere, prima multitudine de elemente de combustibil, și o a treia multitudine de elemente de combustibil care înconjoară,  
43 în imediata apropiere, a doua multitudine de elemente de combustibil, **și prin aceea că** elementele de combustibil ale celei de a doua multitudini au un conținut fisionabil mai mare  
45 față de elementele de combustibil ale celei de a treia multitudini.

# RO 129195 B1

9. Fascicul de combustibil conform revendicării 8, **caracterizat prin aceea că** 1  
elementele de combustibil ale celei de a doua multitudini au un conținut fisionabil între 3  
aproximativ 3,0% în greutate și aproximativ 3,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și elementele de 3  
combustibil ale celei de a treia multitudini au un conținut fisionabil mai mic, de aproximativ 5  
2,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
10. Fascicul de combustibil conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** 7  
elementele de combustibil ale celei de a doua multitudini au un conținut fisionabil de 7  
aproximativ 3,18% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și elementele de combustibil ale celei de a treia 9  
multitudini au un conținut fisionabil de aproximativ 1,73% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
11. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...10, **caracterizat** 11  
**prin aceea că** cel puțin un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, include 11  
un amestec de uraniu slab îmbogățit, și cel puțin unul dintre: uraniu natural, uraniu reciclat 13  
și uraniu sărăcit pentru a atinge conținutul fisionabil dorit, predeterminat de  $^{235}\text{U}$ .
12. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...11, **caracterizat** 15  
**prin aceea că** fiecare dintre elementele de combustibil include cel puțin unul dintre uraniu 15  
ușor îmbogățit și uraniu slab îmbogățit, amestecate cu cel puțin unul dintre: uraniu natural, 17  
uraniu reciclat și uraniu sărăcit, pentru a atinge conținutul fisionabil dorit, predeterminat 17  
de  $^{235}\text{U}$ .
13. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...12, **caracterizat** 19  
**prin aceea că** fasciculul de combustibil include 37 de elemente de combustibil în total, având 19  
dimensiune substanțial uniformă. 21
14. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...12, **caracterizat** 23  
**prin aceea că** fasciculul de combustibil include 43 de elemente de combustibil în total, și 23  
**prin aceea că** cel puțin un element de combustibil slab îmbogățit, otrăvit, include 8 elemente 25  
de combustibil mari, poziționate în centru. 25
15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...14, **caracterizat** 27  
**prin aceea că** otrava de neutroni include cel puțin o otravă de neutroni inflamabilă. 27
16. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, **caracterizat prin aceea că** 29  
otrava de neutroni include disprosiu. 29
17. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, **caracterizat prin aceea că** 31  
otrava de neutroni include gadoliniu. 31
18. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...14, **caracterizat** 33  
**prin aceea că** otrava de neutroni este o otravă de neutroni neinflamabilă. 33
19. Fascicul de combustibil conform revendicării 19, **caracterizat prin aceea că** 35  
fasciculul de combustibil asigură un CVR negativ, un FTC negativ și un coeficient negativ de 35  
putere (PC).
20. Metodă pentru punerea în funcțiune unui reactor nuclear cu apă grea sub 37  
presiune, **caracterizată prin aceea că** va cuprinde: 37
- asigurarea cu un prim fascicul de combustibil realizat dintr-o multitudine de 39  
elemente de combustibil, fiecare având un conținut fisionabil de  $^{235}\text{U}$  între aproximativ 0,9% 39  
în greutate  $^{235}\text{U}$  și 5,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ , cel puțin unul dintre elementele de combustibil fiind 41  
un element de combustibil din uraniu slab îmbogățit, otrăvit, incluzând o otravă de neutroni 41  
într-o concentrație mai mare de aproximativ 5,0% volumetrică; 43
  - inserarea primului fascicul de combustibil într-un tub de presiune al reactorului 45  
nuclear cu apă grea sub presiune; 45

# RO 129195 B1

1 - punerea în funcțiune a unui reactor nuclear cu apă grea sub presiune, pentru a arde  
elementele de combustibil, producând o putere utilă cel puțin la fel de mare ca un fascicul  
3 de combustibil din uraniu natural, în timp ce asigură un coeficient negativ de temperatură  
(FTC), un coeficient negativ de putere (PC) și un coeficient de vid al agentului de răcire  
5 (CVR) care este mai mic decât cel asigurat prin funcționarea unui reactor nuclear cu apă  
grea sub presiune, cu combustibil din uraniu natural.

7 21. Metodă conform revendicării 20, **caracterizată prin aceea că** primul fascicul de  
combustibil este inserat pentru a înlocui fasciculul de combustibil din uraniu natural.

9 22. Metodă conform oricăreia dintre revendicările 20 sau 21, care mai cuprinde  
umplerea tubului (**12**) de presiune cu fascicule de combustibil similare cu primul fascicul de  
11 combustibil.

13 23. Metodă conform revendicării 22, care mai cuprinde realimentarea tubului de  
presiune în timpul funcționării reactorului nuclear cu un schimb de 4 fascicule.

15 24. Metodă conform revendicării 23, care mai cuprinde realimentarea tubului de  
presiune în timpul funcționării reactorului nuclear cu un schimb de 2 fascicule.

17 25. Metodă conform revendicării 23, care mai cuprinde realimentarea tubului de  
presiune în timpul funcționării reactorului nuclear cu un schimb mixt de 2 și 4 fascicule.

19 26. Metodă conform revendicării 23, care mai cuprinde realimentarea tubului de  
presiune în timpul funcționării reactorului nuclear cu un schimb mixt de 4 și 8 fascicule.

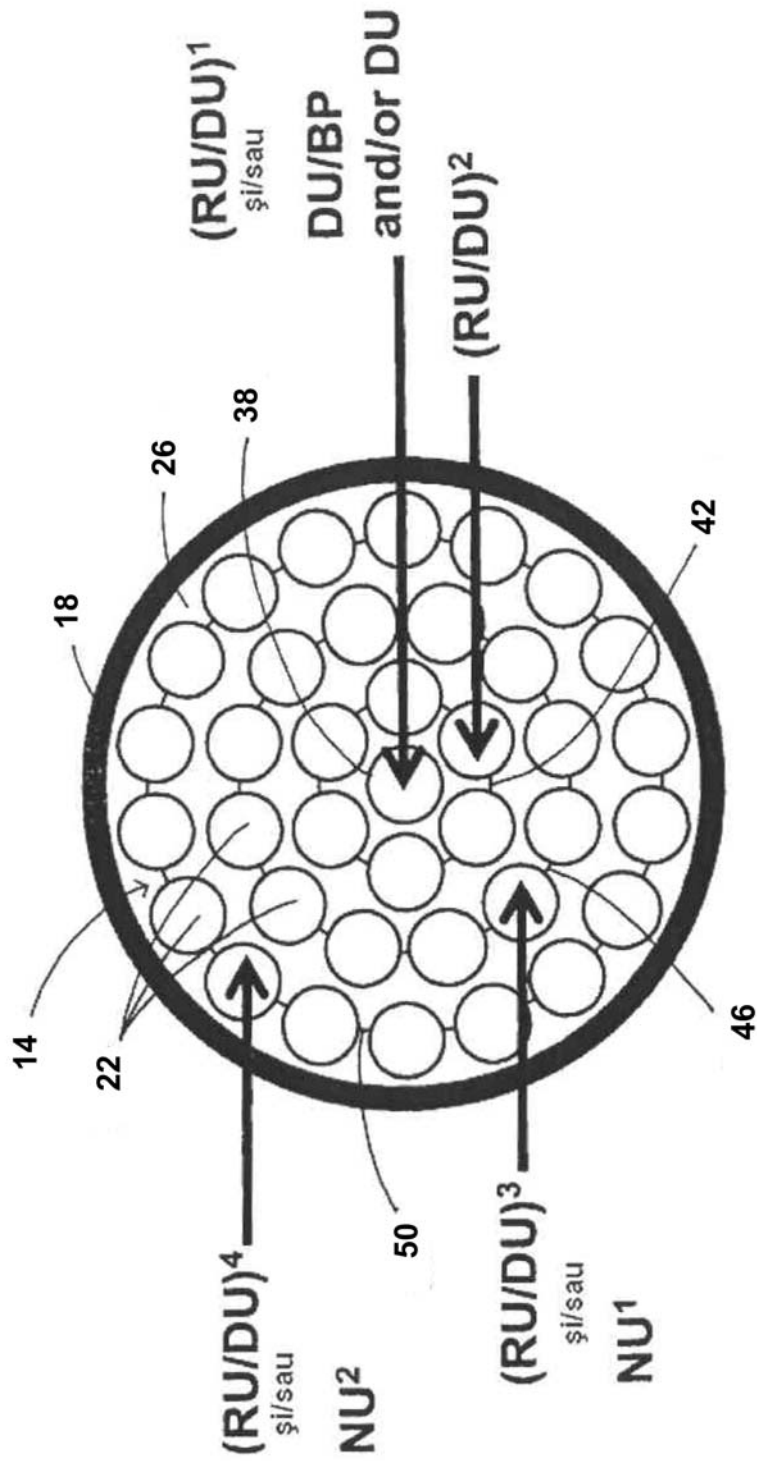


Fig. 1

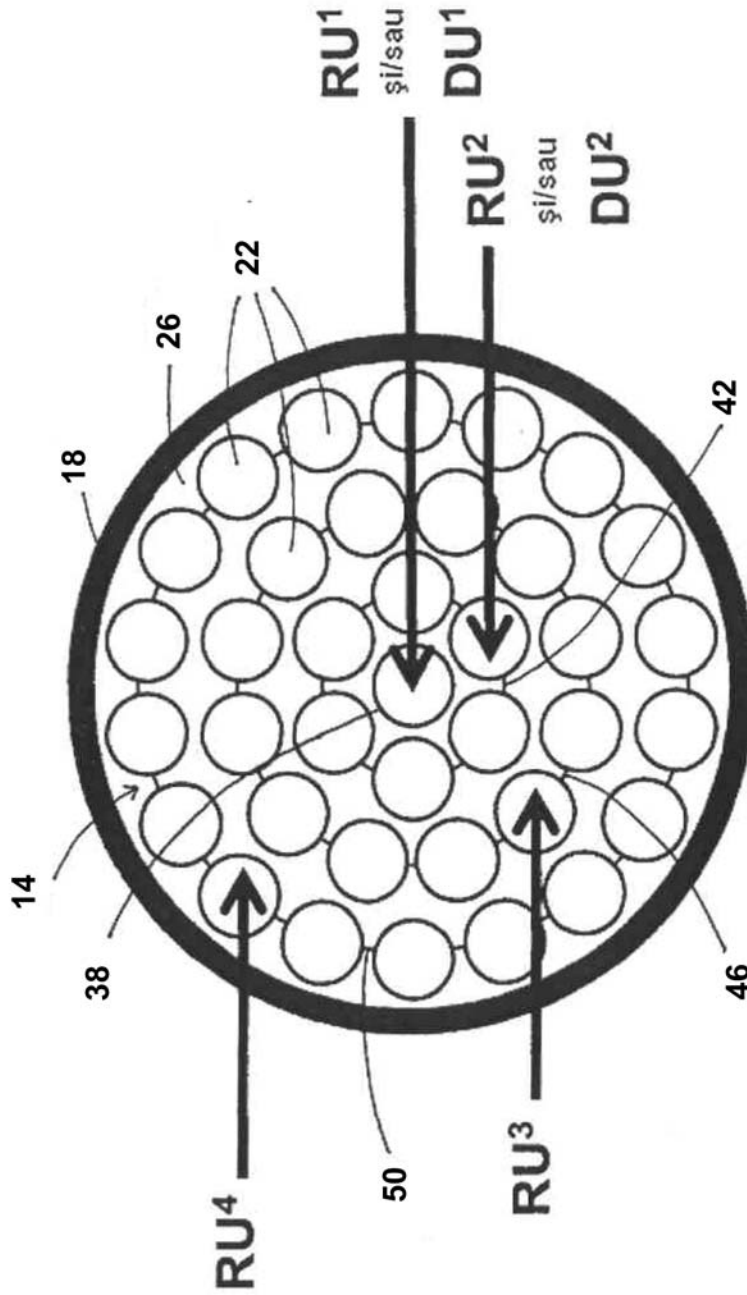


Fig. 2

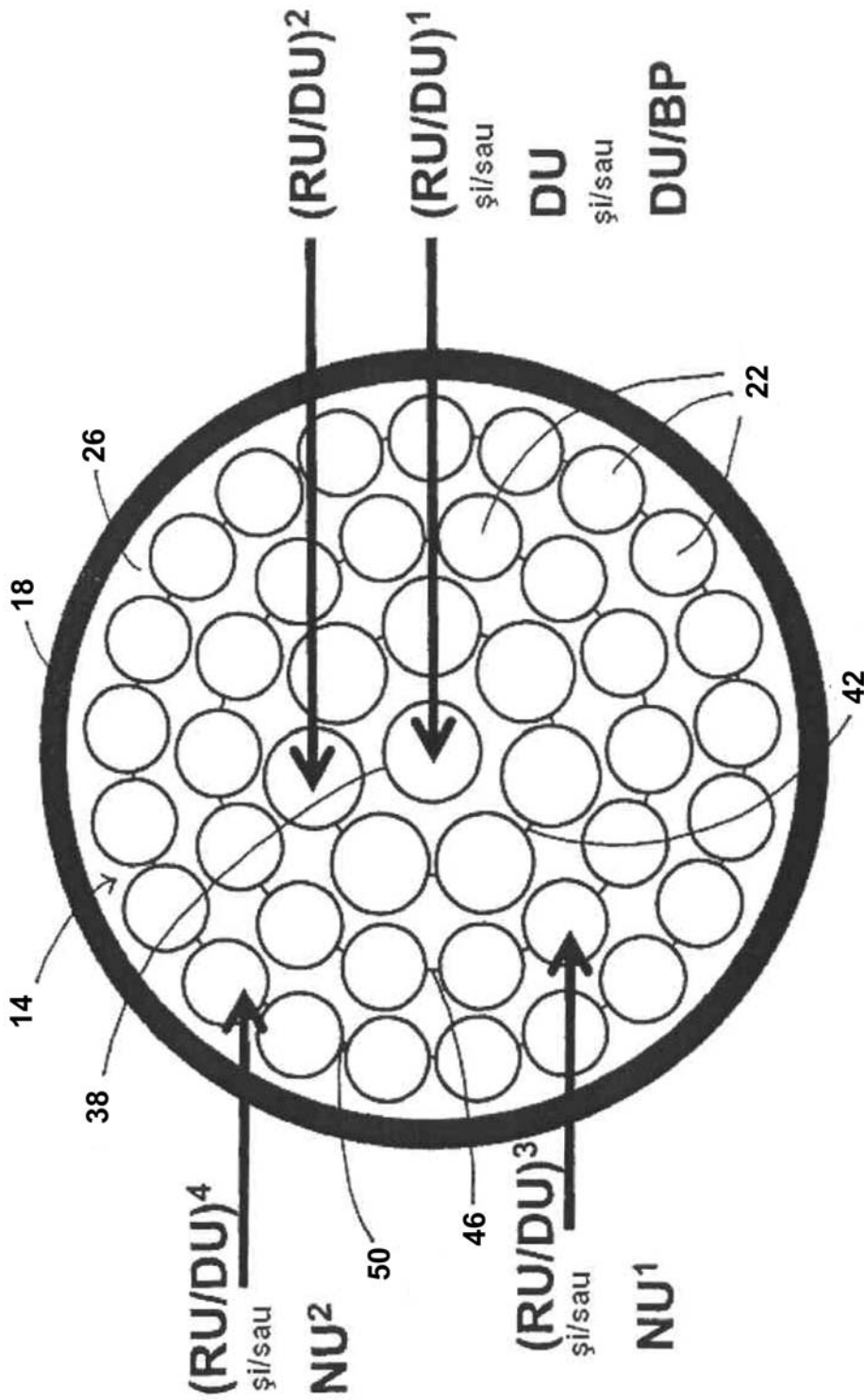


Fig. 3

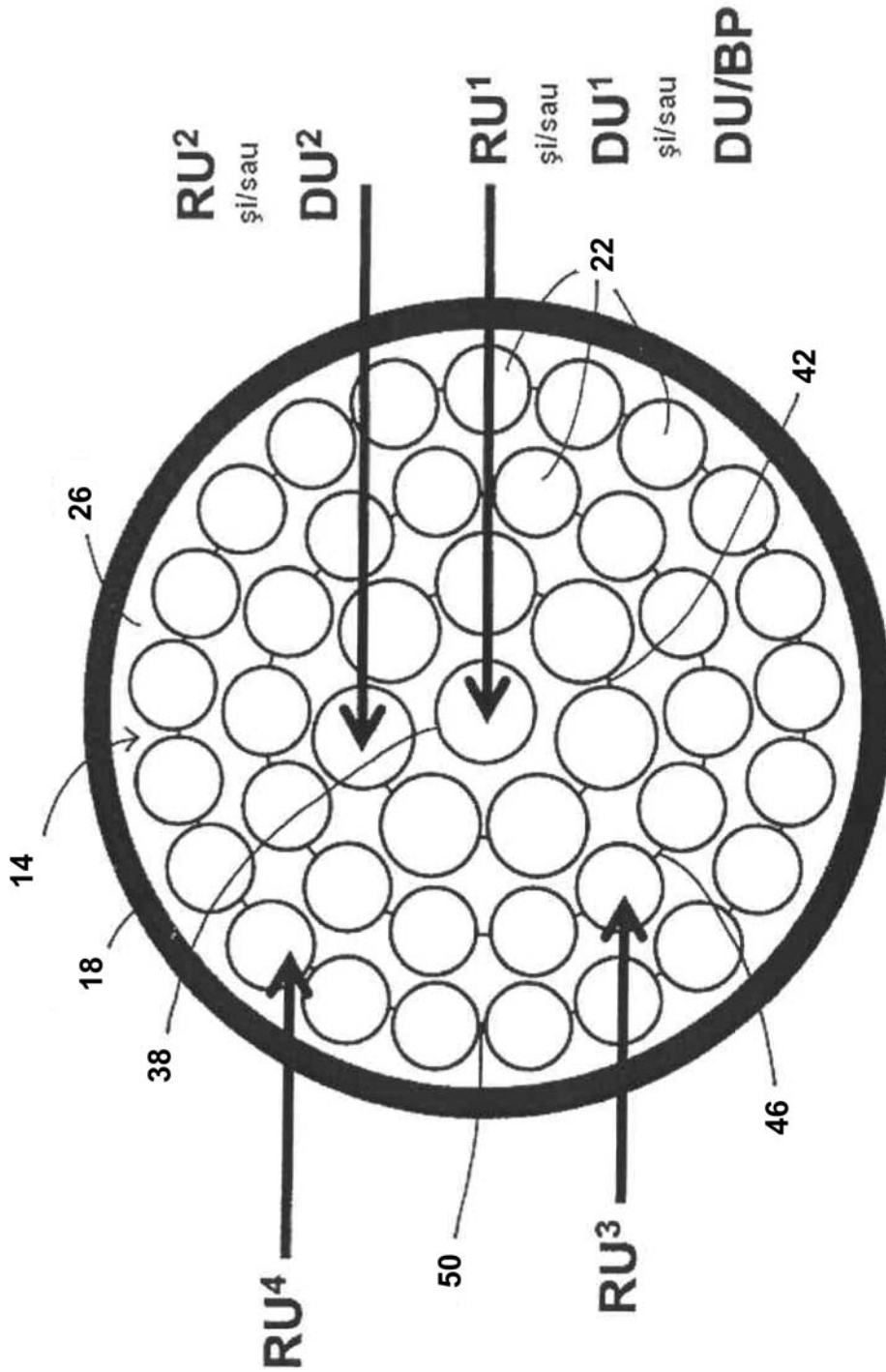


Fig. 4



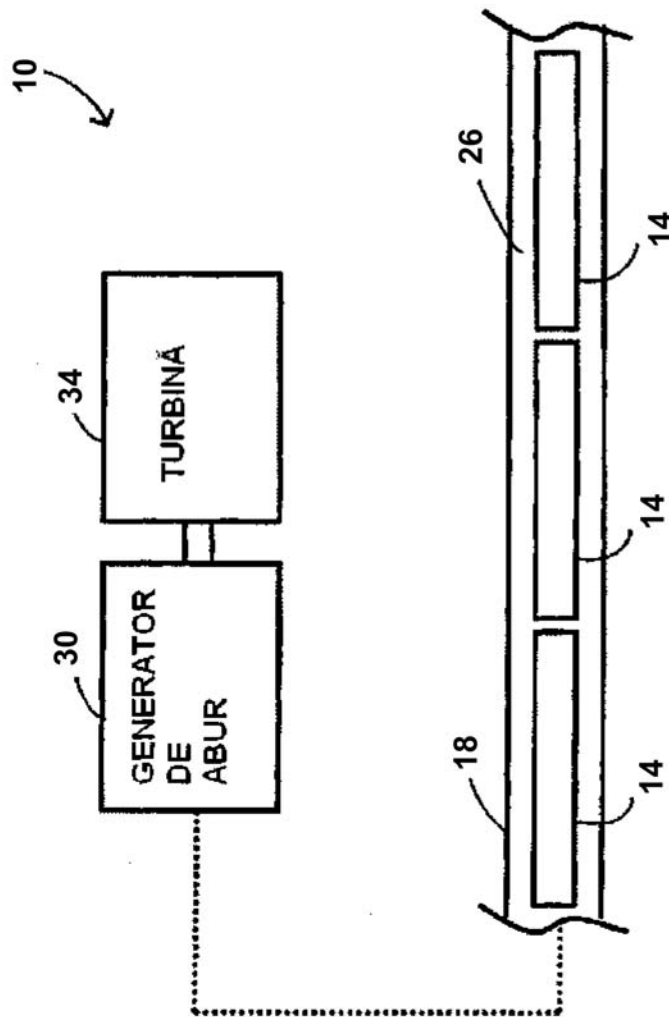


Fig. 5

