



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00186**

(22) Data de depozit: **03/09/2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/10/2021** BOPI nr. **10/2021**

(41) Data publicării cererii:  
**30/12/2013** BOPI nr. **12/2013**

(86) Cerere internațională PCT:  
Nr. **IB 2010/002501** **03/09/2010**

(87) Publicare internațională:  
Nr. **WO 2012/028900** **08/03/2012**

(73) Titular:  
• **ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,**  
**286 PLANT ROAD CHALK RIVER,**  
**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;**

• **HAMILTON HOLLY BRUCE, 6 AVON**  
**CRESCENT, DEEP RIVER, ONTARIO, CA;**  
• **HYLAND BRONWYN H., 19 CABOT**  
**PLACE, P.O. BOX 2051, DEEP RIVER,**  
**ONTARIO, CA;**  
• **ARSENAULT BENOIT, 3016 REDSTART**  
**DRIVE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA**

(74) Mandatar:  
**ROMINVENT S.A., STR. ERMIL**  
**PANGRATTI NR.35, SECTOR 1,**  
**BUCUREȘTI**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**BOCZAR P. G. Ș.A., "THORIUM**  
**FUEL-CYCLE STUDIES FOR CANDU**  
**REACTORS", PROCEEDINGS OF THREE**  
**IAEA MEETINGS HELD IN VIENNA IN 1997,**  
**1998 AND 1999, IAEA-TECDOC-1319, 2002;**  
**MÂRGEANU C. A. ȘI RIZOIU A. C.,**  
**"THORIUM-BASED FUELS PRELIMINARY**  
**LATTICE CELL STUDIES FOR CANDU**  
**REACTORS", PROCEEDINGS OF THE 7<sup>th</sup>**  
**CONFERENCE ON NUCLEAR AND**  
**PARTICLE PHYSICS, EGYPT, 2009**

(54) **FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND**  
**TORIU, ȘI REACTOR NUCLEAR CUPRINZÂND UN ASTFEL**  
**DE FASCICUL**



# RO 129128 B1

1 Prezenta invenție se referă la un fascicul de combustibil nuclear care conține toriu  
drept combustibil nuclear pentru utilizare într-un reactor nuclear.

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

11 În unele exemple de realizare ale prezentei invenții, este furnizat un fascicul de  
combustibil pentru un reactor nuclear, care cuprinde un prim element de combustibil  
13 incluzând dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil incluzând uraniu cu un prim  
conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil incluzând uraniu cu un al doilea  
15 conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

17 Unele exemple de realizare ale prezentei invenții asigură metode de fabricare și de  
utilizare a unui fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear care are un prim element  
de combustibil care conține dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil care include  
19 uraniu cu un prim conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil care include  
uraniu cu un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

21 De asemenea, unele exemple de realizare a prezentei invenții dau un reactor nuclear  
care are cel puțin un fascicul de combustibil cu un prim element de combustibil care include  
23 dioxid de toriu; un al doilea element de combustibil care include uraniu care are un prim  
conținut fisionabil; și un al treilea element de combustibil care include uraniu care are un al  
25 doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

27 În unele exemple de realizare, oricare dintre fasciculele de combustibil și metodele  
descrise anterior sunt utilizate într-un reactor cu apă grea sub presiune, cum ar fi fasciculele  
de combustibil cu un prim element de combustibil care include dioxid  
29 de toriu; un al doilea element de combustibil care include uraniu cu un prim conținut fisionabil;  
și un al treilea element de combustibil care include uraniu cu un al doilea conținut fisionabil  
31 diferit de primul conținut fisionabil, în care fasciculele de combustibil sunt localizate într-unul  
sau mai multe tuburi cu apă sub presiune care trec peste fasciculele de combustibil, absorb  
33 căldura de la fasciculele de combustibil și acționează la ieșirea din fasciculele de  
combustibil.

35 Alte aspecte ale prezentei invenții vor deveni aparente după analiza descrierii  
detaliată și a desenelor care însoțesc descrierea.

37 Descrierea pe scurt a desenelor:

39 - fig. 1, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui prim exemplu de realizare  
a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;

41 - fig. 2, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al doilea exemplu de  
realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;

43 - fig. 3, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al treilea exemplu de  
realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;

45 - fig. 4, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al patrulea exemplu de  
realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;

47 - fig. 5, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al cincilea exemplu de  
realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;

# RO 129128 B1

- fig. 6, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al șaselea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;	1
- fig. 7, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al șaptelea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției;	3
- fig. 8, este o diagramă schematică a unui reactor nuclear care utilizează oricare dintre fasciculele de combustibil din fig. 1...7.	5
Descrierea detaliată	7
Înainte de a explica în detaliu oricare dintre exemplele de realizare a invenției, se va înțelege că invenția nu este limitată în aplicarea sa la detaliile realizării și ale aranjării componentelor stabilite în următoarea descriere sau ilustrate în desenele însoțitoare. Invenția se poate realiza și în alte moduri de realizare și poate să fie practică și să fie realizată în diferite moduri.	9
Fig. 1...7, ilustrează diferite exemple de realizare ale unui fascicul de combustibil nuclear pentru utilizare într-un reactor nuclear, cum ar fi un reactor <b>10</b> cu apă grea sub presiune (de exemplu un reactor nuclear de tip Canadian Deuterium Uranium (CANDU)), o porțiune a căruia este prezentată schematic în fig. 8. Următoarea descriere a diferitelor exemple de realizare a prezentei invenții este dată în contextul unui reactor cu apă grea sub presiune care are tuburi orizontale presurizate în care sunt poziționate fasciculele <b>14</b> de combustibil. Acest mediu al reactorului nuclear și aplicarea fasciculelor de combustibil conform prezentei invenții este prezentat doar în scopul exemplificării, fiind înțeles că prezenta invenție este aplicabilă fasciculelor de combustibil adaptate pentru utilizare și în alte tipuri de reactoare.	11
Făcând referire la fig. 8, miezul reactorului <b>10</b> cu apă grea sub presiune conține unul sau mai multe fascicule <b>14</b> de combustibil. Dacă reactorul <b>10</b> include o multitudine de fascicule <b>14</b> de combustibil, fasciculele <b>14</b> pot fi plasate capăt la capăt în interiorul unui tub <b>18</b> sub presiune. În alte tipuri de reactoare, fasciculele <b>14</b> de combustibil pot fi aranjate în alte moduri, după cum se dorește. Fiecare fascicul <b>14</b> de combustibil conține un set de elemente <b>22</b> de combustibil (uneori menționate ca „picioare”) fiecare conținând un combustibil nuclear și/sau alte elemente sau chimicale (de exemplu o otravă inflamabilă), care vor fi descrise în detaliu în continuare în raport cu fig. 1...7. Când reactorul <b>10</b> este în funcțiune, un agent de răcire <b>26</b> de tip apă grea curge peste fasciculele <b>14</b> de combustibil pentru a răci elementele de combustibil și pentru a îndepărta căldura din procesul de fisiune. Agentul de răcire <b>26</b> poate, de asemenea, să transfere căldura către un generator <b>30</b> de abur care acționează un motor primar, cum ar fi o turbină <b>34</b> , pentru a produce energie electrică.	13
Cererea canadiană de brevet de invenție nr. 2174983, depusă în 25 aprilie 1996, descrie alte fascicule de combustibil pentru un reactor nuclear utilizate într-un mod asemănător cu fasciculele <b>14</b> de combustibil ale invenției descrise și exemplificate aici. Conținutul cererii canadiene de brevet de invenție nr. 2174983 este încorporat aici prin referință.	15
Fig. 1...7, ilustrează vederi în secțiune transversală ale diferitelor exemple de realizare a fasciculului <b>14</b> de combustibil poziționat în tubul <b>18</b> de presiune. Agentul de răcire <b>26</b> de tip apă grea este conținut în tubul <b>18</b> de presiune și ocupă subcanalele dintre elementele <b>22</b> de combustibil. Elementele <b>22</b> de combustibil pot include un element central <b>38</b> , o primă multitudine de elemente <b>42</b> poziționate radial către exterior față de elementul central <b>38</b> , o a doua multitudine de elemente <b>46</b> poziționate radial către exterior față de prima multitudine de elemente <b>42</b> și o a treia multitudine de elemente <b>50</b> poziționate radial către exterior față de a doua pluralitate de elemente <b>46</b> . Se înțelege că în alte exemple de realizare, fasciculul de combustibil poate include mai puține sau mai multe elemente și poate	17

# RO 129128 B1

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

12 În fiecare dintre exemplele de realizare din fig. 1...6 este ilustrat un fascicul **14** de  
13 combustibil cu **43** de elemente. Prima multitudine de elemente **42** include șapte elemente  
14 aranjate paralel unele față de altele într-un model în general circular. A doua multitudine de  
15 elemente **46** include paisprezece elemente aranjate paralel unele față de altele într-un model  
16 în general circular. A treia multitudine de elemente **50** include douăzeci și unul de elemente  
17 aranjate paralel unele față de altele într-un model în general circular. Elementul central **38**,  
18 prima multitudine de elemente **42**, a doua multitudine de elemente **46** și a treia multitudine  
19 de elemente **50** sunt aranjate concentric astfel încât toate elementele **22** sunt dispuse paralel  
20 unele cu altele. Elementul central **38** și fiecare din prima multitudine de elemente **42** au o  
21 primă dimensiune în secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor care au o  
22 formă rotundă în secțiune transversală) și fiecare din a doua multitudine de elemente **46** și  
23 a treia multitudine de elemente **50** are o a doua dimensiune în secțiune transversală (sau  
24 diametru, în cazul elementelor care au o formă rotundă în secțiune transversală) diferită de  
25 prima dimensiune în secțiune transversală. În special, prima dimensiune în secțiune  
26 transversală este mai mare decât a doua dimensiune în secțiune transversală, în această  
27 privință, termenul „formă în secțiune transversală” se referă la forma în secțiune transversală  
28 generată de un plan care trece prin corpul raportat la o orientare care este perpendiculară  
29 pe o axă longitudinală a corpului. De asemenea, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în  
30 fig. 1...6 care indică poziția general circulară a elementelor **22** sunt date doar în scop  
31 exemplificativ și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele sunt legate împreună  
32 sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

33 În modul de realizare din fig. 7, este ilustrat un fascicul de combustibil cu 37 de  
34 elemente în care toate elemente **22** de combustibil au o dimensiune uniformă în secțiune  
35 transversală (sau un diametru, în cazul elementelor care au o formă rotundă în secțiune  
36 transversală). Prima multitudine de elemente **42** include șase elemente aranjate în paralel  
37 unele cu altele într-un model în general circular. A doua multitudine de elemente **46** include  
38 doisprezece elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model în general circular.  
39 A treia multitudine de elemente **50** include optsprezece elemente aranjate în paralel unele  
40 cu altele într-un model în general circular. Elementul central **38**, prima multitudine de  
41 elemente **42**, a doua multitudine de elemente **46** și a treia multitudine de elemente **50** sunt  
42 aranjate concentric astfel încât toate elementele **22** sunt în paralel unele cu altele. Trebuie  
43 să se înțeleagă că liniile incluse în fig. 7 care indică poziția general circulară a elementelor  
44 **22** sunt doar pentru scop ilustrativ și nu indică în mod necesar că elementele sunt legate  
45 împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

# RO 129128 B1

În unele modele de realizare, fiecare dintre elementele **22** de combustibil include un tub umplut cu combustibil nuclear. Tubul poate fi fabricat din zirconiu, 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 din unul la mai multe materiale (de exemplu combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale), cum ar fi combustibil nuclear conținut într-o matrice sau alt material. Și, încă, în alte exemple de realizare, elementele **22** de combustibil pot include o combinație de tuburi sau tije și/sau alte configurații și elementele **22** de combustibil pot lua alte configurații potrivite unei aplicații speciale.

După cum este arătat în fig. 1...7, elementele **22** de combustibil pot include diverse combinații de combustibili nucleari, cum ar fi dioxid de toriu ( $\text{ThO}_2$ ), uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU), uraniu reciclat (RU), uraniu ușor îmbogățit (SEU) și uraniu slab îmbogățit (LEU), care vor fi descrise detaliat în continuare. Așa cum este utilizat aici și în revendicările anexate, referirile la „procente” de componente constituente ale materialului inclus într-un fascicul **14** de combustibil, într-un element **22** de combustibil sau alte caracteristici se referă la procente în greutate, dacă nu este specificat altfel. Așa cum este definit aici, DU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate până la aproximativ 0,5% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (care include aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate), NU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ , RU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate până la aproximativ 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (care include aproximativ 0,72% în greutate și aproximativ 1,2% în greutate), SEU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate până la aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (care include aproximativ 0,9% în greutate și aproximativ 3% în greutate) și LEU are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (care include aproximativ 3% în greutate și aproximativ 20% în greutate).

În modul de realizare din fig. 1, elementul central **38** include dioxid de toriu și/sau otravă inflamabilă (BP), cum ar fi gadoliniu sau disprosiu. În unele exemple de realizare, se utilizează 0...10% volumetric BP. În alte exemple de realizare se utilizează 0...7% volumetric BP. În alte exemple de realizare se utilizează 0...6% volumetric BP. Și în alte exemple de realizare se utilizează 0...3% volumetric BP. Prima multitudine de elemente **42** include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46** include LEU cu un prim conținut fisionabil ( $\text{LEU}^1$ ) și fiecare dintre cea de a treia multitudine de elemente **50** include LEU cu un al doilea conținut fisionabil ( $\text{LEU}^2$ ) care este diferit de primul conținut fisionabil. Se va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente **46** ( $\text{LEU}^1$ ) este ales din intervalul definit mai sus, și conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudine de elemente **50** ( $\text{LEU}^2$ ) este, de asemenea, ales din același interval definit dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru a doua multitudine de elemente **46**. Spre exemplu,  $\text{LEU}^1$  poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 4% în greutate de  $^{235}\text{U}$  și  $\text{LEU}^2$  poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 4,5% în greutate de  $^{235}\text{U}$ . În anumite exemple de realizare din fig. 1, în oricare dintre elementele **22** de combustibil ilustrate în fig. 1 poate fi inclusă o BP. De asemenea, oricare dintre cantitățile de BP descrise anterior poate fi inclusă în unul sau toate elementele de combustibil al fiecărui mod de realizare a fasciculului de combustibil descris și/sau ilustrat în prezenta. În alte exemple de realizare, una dintre cele două multitudini exterioare de elemente (adică, fie a doua multitudine de elemente **46** fie a

# RO 129128 B1

1 treia multitudine de elemente **50**) poate include DU, NU, RU sau SEU în loc de LEU, având  
un al doilea conținut fisionabil care este diferit de primul conținut fisionabil de LEU în cealaltă  
3 dintre cele două mulțitudini exterioare de elemente. În unele dintre exemplele de realizare,  
conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior  
5 dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil. Totuși, în alte exemple de realizare, conținutul  
fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de  
7 combustibil.

În modul de realizare al fig. 2, elementul central **38** include dioxid de toriu și/sau  
9 otravă inflamabilă (BP), cum ar fi gadoliniu sau disprosiu. În unele exemple de realizare se  
utilizează 0...10% volumetric de BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...7%  
11 volumetric de BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...6% volumetric de BP. Și  
încă în aceste moduri de realizare se utilizează 0...3% volumetric de BP. Prima multitudine  
13 de elemente **42** include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46** include un prim  
conținut fisionabil al unui amestec (în general, desemnat aici prin utilizarea unui slash „/”) de  
15 RU și SEU (RU/SEU)<sup>1</sup>, care sunt amestecate folosind oricare metodă din stadiul tehnicii, cum  
ar fi, dar fără a se limita la acestea, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A  
17 treia multitudine de elemente **50** include un al doilea amestec de RU și SEU (RU/SEU)<sup>2</sup>, care  
are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil. Trebuie înțeles că, con-  
19 ținutul fisionabil al celei de-a doua mulțitudini de elemente **46** (RU/SEU)<sup>1</sup> este ales din inter-  
valul cuprins între și care include aproximativ 0,72% în greutate până la aproximativ 3% în  
21 greutate de <sup>235</sup>U. Conținutul fisionabil al celei de-a treia mulțitudini de elemente **50** (RU/SEU)<sup>2</sup>  
este, de asemenea, ales din același interval, dar este diferit de conținutul fisionabil ales din  
23 cea de-a doua multitudine de elemente **46**. În unele exemple de realizare ale fig. 2, poate  
fi inclusă o BP în oricare dintre elementele **22** de combustibil. În unele exemple de realizare,  
25 conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior  
dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil. Totuși, în alte exemple de realizare, conținutul  
27 fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de  
combustibil. De asemenea, trebuie remarcat că, în general, RU nu este limitat la a fi ames-  
29 tecat cu SEU. În alte exemple de realizare, RU poate fi amestecat cu LEU sau cu uraniu  
puternic îmbogățit (HEU) pentru a conduce la un conținut fisionabil mediu la un nivel dorit.

31 În modul de realizare din fig. 3, elementul central **38** include dioxid de toriu și prima  
multitudine de elemente **42** include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46**  
33 include RU având un prim conținut fisionabil (RU<sup>1</sup>), și a treia multitudine de elemente **50**  
include RU având un al doilea conținut fisionabil (RU<sup>2</sup>) diferit de primul conținut fisionabil. Se  
35 va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de-a doua mulțitudini de elemente **46** (RU<sup>1</sup>) este  
ales din intervalul definit mai sus, și conținutul fisionabil al celei de-a treia mulțitudini de  
37 elemente **50** (RU<sup>2</sup>) este, de asemenea, ales din intervalul definit mai sus, dar este diferit de  
conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente **46**. În unele exemple  
39 de realizare ale fig. 3, se poate include o BP în oricare dintre elementele **22** de combustibil.  
În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o  
41 direcție radială către exterior de la centrul fasciculului **14** de combustibil. În alte exemple de  
realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior de la centrul  
43 fasciculului **14** de combustibil.

În modul de realizare din fig. 4, elementul central **38** include dioxid de toriu și prima  
45 multitudine de elemente **42** include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46**  
include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un prim conținut fisionabil. Dacă  
47 se utilizează amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută

# RO 129128 B1

în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente **50** include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un al doilea conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)<sup>2</sup>. Se va înțelege că primul conținut fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente **46** este ales dintr-un interval cuprins între și care include aproximativ 0,2% în greutate până la aproximativ 3% în greutate <sup>235</sup>U. Conținutul fisionabil al celei de a treia multitudini de elemente **50** este, de asemenea, ales din același interval dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente **46**. În unele exemple de realizare din fig. 4, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele **22** de combustibil. În alte exemple de realizare, cea de a doua multitudine de elemente **46** include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de a treia multitudine de elemente **50** include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind diferit de cel de al doilea conținut fisionabil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil. În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil.

În modul de realizare din fig. 5, elementul central **38** include un amestec de dioxid de toriu și BP (ThO<sub>2</sub>/BP) sau un amestec de DU și BP (DU/BP). În unele exemple de realizare, se utilizează 0...10% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...7% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...6% volumetric BP. Și în alte exemple de realizare, se utilizează 0...3% volumetric BP. Prima multitudine de elemente **42** include dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46** include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un prim conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)<sup>1</sup>. Dacă se utilizează un amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută în domeniu, cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată. A treia multitudine de elemente **50** include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)<sup>2</sup>. Se va înțelege că, conținutul fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente **46** (RU/DU și/sau SEU)<sup>1</sup> este ales dintr-un interval cuprins între și care include aproximativ 0,2% în greutate la aproximativ 3% în greutate <sup>235</sup>U. Conținutul fisionabil al celei de a treia multitudine de elemente **50** (RU/DU și/sau SEU)<sup>2</sup> este, de asemenea, ales din același interval dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente **46**. În unele exemple de realizare din fig. 5, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele **22** de combustibil. De asemenea, în unele exemple de realizare, cea de a doua multitudine de elemente **46** include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de a treia multitudine de elemente **50** include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind diferit de cel de al doilea conținut fisionabil. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil, în alte exemple de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil.

În modul de realizare din fig. 6, elementul central **38** include fie un amestec de dioxid de toriu și BP (ThO<sub>2</sub>/BP), fie dioxid de toriu. În unele exemple de realizare, se utilizează 0...10% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...7% volumetric BP. În alte exemple de realizare, se utilizează 0...6% volumetric BP. Și în alte moduri de realizare se utilizează 0...3% volumetric BP. Prima multitudine de elemente **42** include

# RO 129128 B1

1 dioxid de toriu. A doua multitudine de elemente **46** include un amestec de RU și DU și/sau  
include SEU și are un prim conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)<sup>1</sup>. Dacă se utilizează un  
3 amestec de RU și DU, materialele se amestecă folosind o metodă cunoscută în domeniu,  
cum ar fi, dar fără a se limita la aceasta, utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată.  
5 A treia multitudine de elemente **50** include un amestec de RU și DU și/sau include SEU și  
are un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil (RU/DU și/sau SEU)<sup>2</sup>.  
7 Se va înțelege că, conținutul fisionabil a celei de a doua multitudini de elemente **46** (RU/DU  
și/sau SEU)<sup>1</sup> este ales dintr-un interval cuprins între și care include aproximativ 0,2% în  
9 greutate până la aproximativ 3% în greutate <sup>235</sup>U. Conținutul fisionabil al celei de a treia  
multitudini de elemente **50** (RU/DU și/sau SEU)<sup>2</sup> este, de asemenea, ales din același interval  
11 dar este diferit de conținutul fisionabil ales pentru cea de a doua multitudine de elemente **46**.  
În unele moduri de realizare din fig. 6, o BP poate fi inclusă în oricare dintre elementele **22**  
13 de combustibil. În alte moduri de realizare, cea de a doua multitudine de elemente **46** include  
fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespunzător de conținut fisionabil și, similar, cea de  
15 a treia multitudine de elemente **50** include fiecare RU, DU sau SEU în intervalul corespun-  
zător de conținut fisionabil, primul conținut fisionabil fiind diferit de cel de al doilea conținut  
17 fisionabil. În unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade  
într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil. În alte  
19 moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre  
centrul fasciculului **14** de combustibil.

21 Modul de realizare din fig. 7 este substanțial similar modului de realizare din fig. 6  
descriș mai sus, cu excepția faptului că fasciculul **14** de combustibil este un fascicul de  
23 combustibil cu **37** de elemente având elementele **22** de combustibil uniform dimensionate,  
așa cum s-a descriș mai sus. Distribuția combustibilului nuclear în multitudinea de elemente  
25 centrală **38**, prima multitudine de elemente **42**, a doua multitudine de elemente **46** și,  
respectiv, a treia multitudine de elemente **50** este similară celei din fig. 6 și, de aceea, este  
27 descriș mai sus. Modul de realizare din fig. 7 prezintă un exemplu al modului în care un  
număr special de elemente de combustibil, aranjarea elementului de combustibil (exemplu  
29 inele de elemente în modurile de realizare ilustrate), dimensiunile elementului de combustibil  
și dimensiunile relative ale elementului de combustibil se pot schimba în timp ce pot, însă,  
31 să întruchipeze prezenta invenției. În unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al  
combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului  
33 **14** de combustibil. În alte moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție  
radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil.

35 Alternativ, oricare dintre modurile de realizare din fig. 4...7 poate include un singur  
conținut fisionabil de uraniu îmbogățit în fiecare dintre cele două multitudini exterioare de  
37 elemente (adică, atât în cea de a doua multitudine de elemente **46**, cât și în cea de a treia  
multitudine de elemente **50**). În unele moduri de realizare, singurul conținut fisionabil este  
39 ales dintr-un interval mai mare decât 1,8% în greutate. Ca alt exemplu, singurul conținut  
fisionabil este ales dintr-un interval care este mai mic decât 1,7% în greutate.

41 În alte moduri de realizare, se poate utiliza orice combinație de RU, DU, LEU, NU și  
SEU (combustibil purtător) în două locații diferite ale fasciculului **14** de combustibil în  
43 combinație cu dioxid de toriu și/sau BP în alte locații ale fasciculului **14** de combustibil, astfel  
încât conținutul fisionabil al unui prim element al combustibilului purtător este diferit de  
45 conținutul fisionabil al unui al doilea element al combustibilului purtător. Combustibilul purtător  
asigură neutronii necesari pentru a transforma <sup>232</sup>Toriu, care nu este fisionabil, în <sup>233</sup>Uranium,  
47 care este fisionabil, astfel încât dioxidul de toriu arde efectiv într-un reactor nuclear. Se



# RO 129128 B1

utilizează BP pentru a mări parametri de siguranță, cel mai important coeficientul de vid al reactivității agentului de răcire (CVR) și coeficientul de temperatură a combustibilului (FTC). Așa cum s-a notat anterior, se poate include o BP în oricare dintre elementele sau locațiile din fasciculul **14** de combustibil sau poate fi inclusă singură într-un element sau într-o locație (adică, fără să fie amestecată cu combustibil într-un element de combustibil sau să fie inclusă altfel cu combustibilul într-o locație a elementului de combustibil). De asemenea, în unele moduri de realizare, conținutul fisionabil al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil, în timp ce în alte moduri de realizare, conținutul fisionabil crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului **14** de combustibil.

Modurile de realizare și realizările descrise aici se pot, de asemenea, utiliza cu tuburi de presiune mai mari sau mai mici decât cele utilizate în prezent în reactoarele cu tuburi sub presiune și se pot, de asemenea, utiliza în viitoarele reactoare cu tuburi cu apă grea sub presiune. Fasciculele **14** de combustibil ale prezentei invenții se pot, de asemenea, aplica reactoarelor cu tuburi sub presiune cu diferite combinații de lichide/gaze în sistemele lor moderatoare și de transport de căldură. Prezenta invenție se poate, de asemenea, utiliza, în fasciculele de combustibil având un număr diferit și aranjare diferită a elementelor și nu este limitată la modele de fascicul de combustibil cu **43** și cu **37** de elemente, așa cum sunt ilustrate, doar pentru exemplificare, cele din fig. 1...7.

Fasciculele de combustibil care utilizează compoziții de toriu și de izotopi de uraniu (eterogene sau omogene) pot permite un control mai precis al coeficientului de putere, puterii fasciculului, puterii canalelor, nivelurilor debitului, formelor debitului central, fluxului termic critic și coeficientul de vid al reactivității miezului ale unui reactor nuclear, astfel încât cerințele de siguranță pot fi atinse cu ușurință în timp ce se mărește semnificativ utilizarea resurselor.

Oricare dintre combustibilii descriși aici poate fi furnizat în purtători de tip matrice inerți și/sau poate fi utilizat într-un mod în care se mărește consumul de combustibil și se evită limitele proprietăților mecanice ale combustibilului de bază, astfel crescându-se în continuare utilizarea resursei de combustibil. Astfel de aditivi/purtători vor permite, de asemenea, un control mai precis al, spre exemplu, eliberării gazoase fisionabile asociate cu criteriile de modelare și coeficienții de transfer de căldură.

În plus, în reactoarele răcite cu apă grea, viteza de multiplicare a neutronilor crește când apar 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 a abilității unui reactor de a multiplica neutronii. Acest fenomen este datorat coeficientului de vid pozitiv al reactivității agentului de răcire și reprezintă o apariție nedorită. Prezenta invenție poate asigura o reducere semnificativă a coeficientului de vid al reactivității agentului de răcire și poate, de asemenea, asigura un coeficient de temperatură negativ al combustibilului și/sau un coeficient negativ de putere.

Modurile de realizare descrise mai sus și ilustrate în figuri sunt prezentate doar în scopul exemplificării și nu sunt prevăzute ca o limitare a conceptelor și principiilor prezentei invenții. Astfel, se va aprecia de un specialist în domeniu că diferite schimbări ale elementelor și ale configurațiilor acestora sunt posibile fără a se îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Spre exemplu, în diferite moduri de realizare descrise și/sau ilustrate în prezenta, se amestecă LEU și SEU cu diferite tipuri de combustibil nuclear pentru a produce combustibili nucleari care au conținutul fisionabil dorit. Ar trebui notat că, în alte moduri de realizare, se poate amesteca uraniul înalt îmbogățit (HEU) și/sau LEU cu diferite tipuri de combustibil descrise aici pentru a produce combustibili nucleari cu același conținut fisionabil. Astfel de amestecuri de combustibil nuclear HEU și LEU se aplică tuturor modurilor de realizare ale prezentei invenții.

# RO 129128 B1

## Revendicări

1. Fascicul de combustibil pentru plasarea într-unul dintre multele tuburi ale unui reactor nuclear care cuprinde:

- un prim element de combustibil care include dioxid de toriu;  
- un al doilea element de combustibil care include uraniu cu un prim conținut fisionabil; și

- un al treilea element de combustibil care include uraniu cu un al doilea conținut fisionabil diferit de primul conținut fisionabil.

2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

3. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

4. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

5. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

6. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

7. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

9. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

10. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

11. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

12. Fascicul de combustibil conform revendicării 11, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

13. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

14. Fascicul de combustibil conform revendicării 13, în care uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

# RO 129128 B1

15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre cel de al doilea element de combustibil și cel de al treilea element de combustibil conține cel puțin unul dintre uraniu reciclat cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu sărăcit cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu ușor îmbogățit cu un conținut fisionabil de aproximativ 9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$  și uraniu slab îmbogățit cu un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 1
16. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre cel de al doilea element de combustibil și cel de al treilea element de combustibil conține o otravă inflamabilă. 3
17. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 2-14, în care dioxidul de toriu inclus în primul element de combustibil conține o otravă inflamabilă. 5
18. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include o tijă de dioxid de toriu. 7
19. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al doilea element de combustibil include o tijă de uraniu care are primul conținut fisionabil. 9
20. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al treilea element de combustibil include o tijă de uraniu care are cel de al doilea conținut fisionabil. 11
21. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include un tub care conține dioxid de toriu. 13
22. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, care cel de al doilea element de combustibil include un tub care conține uraniu care are primul conținut fisionabil. 15
23. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care cel de al treilea element de combustibil include un tub care conține uraniu care are cel de al doilea conținut fisionabil. 17
24. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care primul element de combustibil include o primă multitudine de tuburi care conține dioxid de toriu. 19
25. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care prima multitudine de tuburi include șapte tuburi paralele care conțin dioxid de toriu. 21
26. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care prima multitudine de tuburi include opt tuburi paralele care conțin dioxid de toriu. 23
27. Fascicul de combustibil conform revendicării 24, în care cel de al doilea element de combustibil include o a doua multitudine de tuburi care conțin uraniul cu primul conținut fisionabil și sunt poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de tuburi care conține dioxid de toriu. 25
28. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cea de a doua multitudine de tuburi include douăsprezece tuburi paralele care conțin uraniu cu primul conținut fisionabil. 27
29. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cea de a doua multitudine de tuburi include paisprezece tuburi paralele care conțin uraniu cu primul conținut fisionabil. 29
30. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cel puțin unul dintre tuburile celei de a doua multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită față de aceea a cel puțin unuia dintre tuburile primei multitudini de tuburi. 31
31. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care cel de al treilea element de combustibil include o a trei multitudine de tuburi care conțin uraniul cu cel de al doilea conținut fisionabil și sunt poziționate radial către exterior dinspre a doua multitudine de tuburi care conține uraniu cu primul conținut fisionabil. 33

# RO 129128 B1

1           32. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cea de a treia multitudine  
de tuburi include optsprezece tuburi paralele care conțin uraniu cu al doilea conținut  
3 fisionabil.

5           33. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cea de a treia multitudine  
de tuburi include douăzeci și unu de tuburi paralele care conțin uraniu cu al doilea conținut  
fisionabil.

7           34. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cel puțin unul dintre  
tuburile celei de a treia multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită  
9 față de cea a cel puțin unuia dintre tuburile primei multitudini de tuburi.

11          35. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care cel puțin unul dintre  
tuburile celei de a treia multitudine de tuburi are dimensiunea în secțiune transversală diferită  
față de aceea a cel puțin unuia dintre tuburile celei de a doua multitudine de tuburi.

13          36. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul cu primul conținut  
fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în  
15 greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

17          37. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72%  
în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

19          38. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
21 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

23          39. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71%  
în greutate  $^{235}\text{U}$ .

25          40. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
27 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

29          41. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul cu primul conținut  
fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9%  
în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

31          42. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72%  
33 în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

35          43. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

37          44. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71%  
39 în greutate  $^{235}\text{U}$ .

41          45. Fascicul de combustibil conform revendicării 41, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

43          46. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul cu primul conținut  
fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în  
45 greutate  $^{235}\text{U}$ .

47          47. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul cu al doilea  
conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72%  
în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

# RO 129128 B1

48. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 1  
3
49. Fascicul de combustibil conform revendicării 46, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 5
50. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 7  
9
51. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 11
52. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit având un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 13  
15
53. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 17
54. Fascicul de combustibil conform revendicării 50, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 19  
21
55. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, în care uraniul cu primul conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 1,25% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 23
56. Fascicul de combustibil conform revendicării 55, în care uraniul cu al doilea conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 1,70% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 25  
27
57. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre tuburile celei de a doua multitudine de tuburi și celei de a treia multitudine de tuburi conține cel puțin unul dintre uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu sărăcit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71%  $^{235}\text{U}$  și uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ . 29  
31  
33  
35  
37
58. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care uraniul inclus în cel puțin unul dintre tuburile celei de a doua multitudine de tuburi și celei de a treia multitudine de tuburi conține o otravă inflamabilă. 39
59. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 32-56, în care dioxidul de toriu inclus în prima multitudine de tuburi conține o otravă inflamabilă. 41
60. Fascicul de combustibil conform revendicării 31, care mai cuprinde un al patrulea element de combustibil. 43
61. Fascicul de combustibil conform revendicării 60, în care cel de al patrulea element de combustibil include cel puțin un tub. 45
62. Fascicul de combustibil conform revendicării 61, în care prima multitudine de tuburi este poziționată radial către exterior dinspre cel puțin un tub al celui de al patrulea element de combustibil. 47  
49

# RO 129128 B1

- 1           63. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include  
dioxid de toriu.
- 3           64. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include  
o otravă inflamabilă.
- 5           65. Fascicul de combustibil conform revendicării 62, în care cel puțin un tub include  
uraniu cu un al treilea conținut fisionabil.
- 7           66. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care cel de al treilea conținut  
fisionabil este diferit de cel puțin unul dintre primul conținut fisionabil și al doilea conținut  
9 fisionabil.
- 11          67. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care uraniu cu cel de al treilea  
conținut fisionabil include uraniu reciclat care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72%  
în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2%  $^{235}\text{U}$ .
- 13          68. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu cu cel de al treilea  
conținut fisionabil include uraniu ușor îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
15 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
- 17          69. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu cu cel de al treilea  
conținut fisionabil include uraniu natural care are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71%  
în greutate  $^{235}\text{U}$ .
- 19          70. Fascicul de combustibil conform revendicării 63, în care uraniu cu cel de al treilea  
conținut fisionabil include uraniu slab îmbogățit care are un conținut fisionabil de aproximativ  
21 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
- 23          71. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 61-70, în care cel  
de al patrulea element de combustibil inclus în cel puțin un tub conține cel puțin uraniu  
reciclat cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ  
25 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu sărăcit cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate  
 $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu ușor îmbogățit cu un conținut fisionabil  
27 de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$ , uraniu natural  
cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71%  $^{235}\text{U}$ , uraniu slab îmbogățit cu un conținut  
29 fisionabil de aproximativ 3% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 20% în greutate  $^{235}\text{U}$  și o  
otravă inflamabilă.
- 31          72. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-71, în care al  
doilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
- 33          73. Reactor nuclear care cuprinde:
- 35           - un tub cu fluid sub presiune; și  
          - fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-72.

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

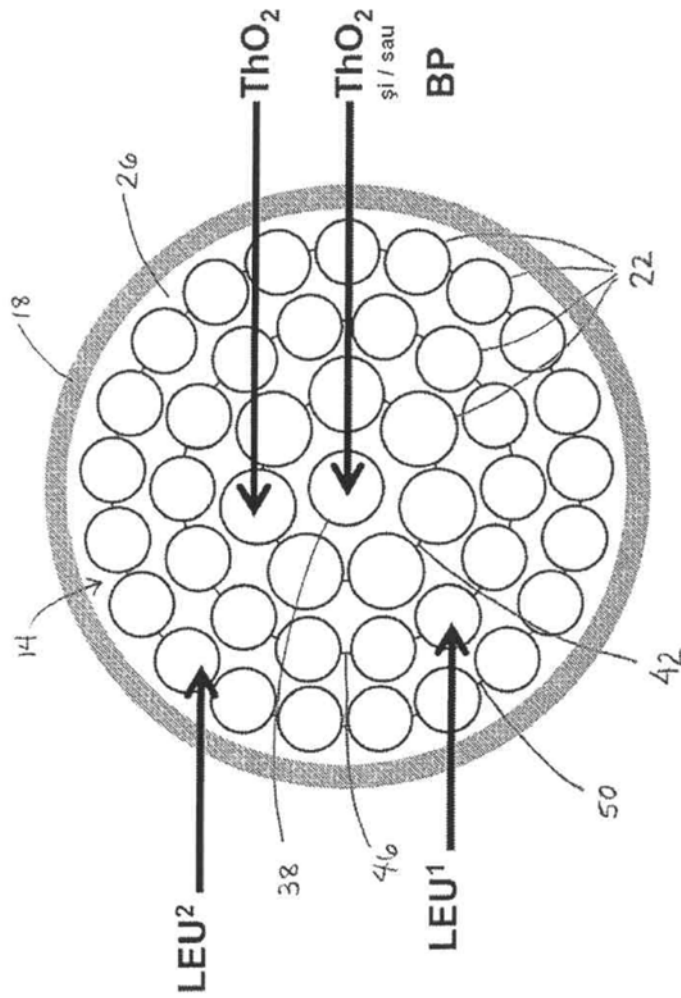


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

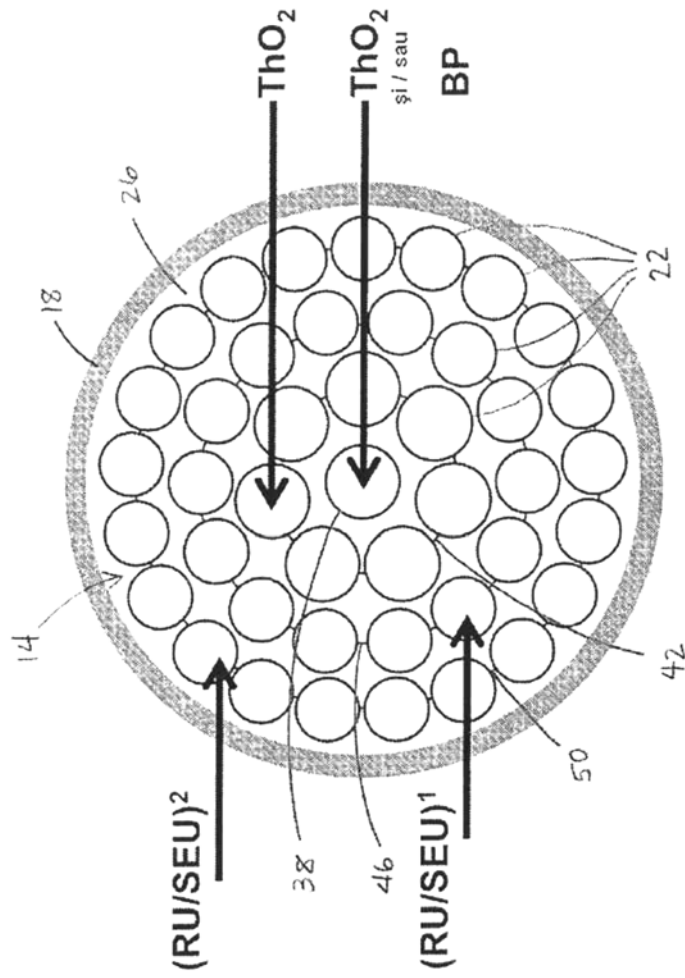


Fig. 2



(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

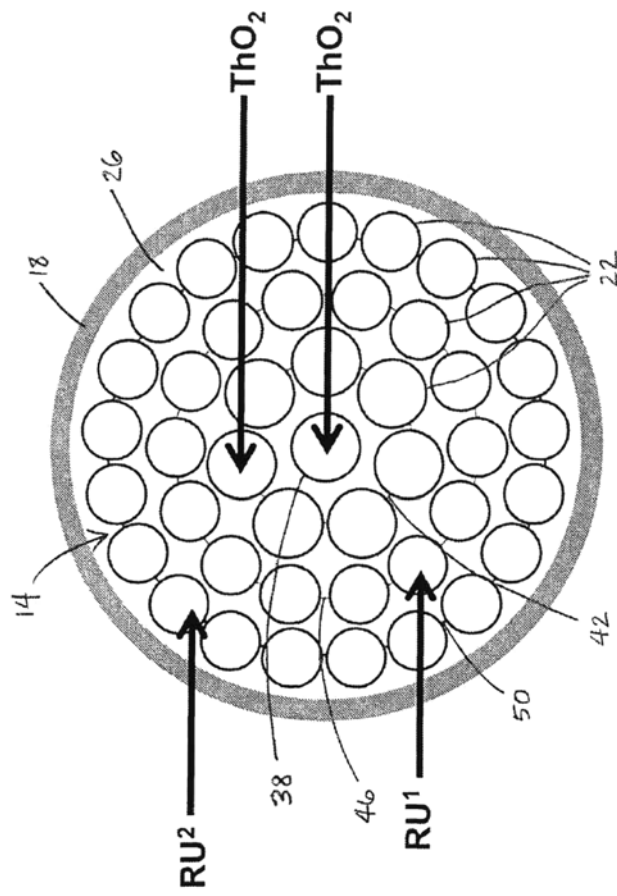


Fig. 3

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

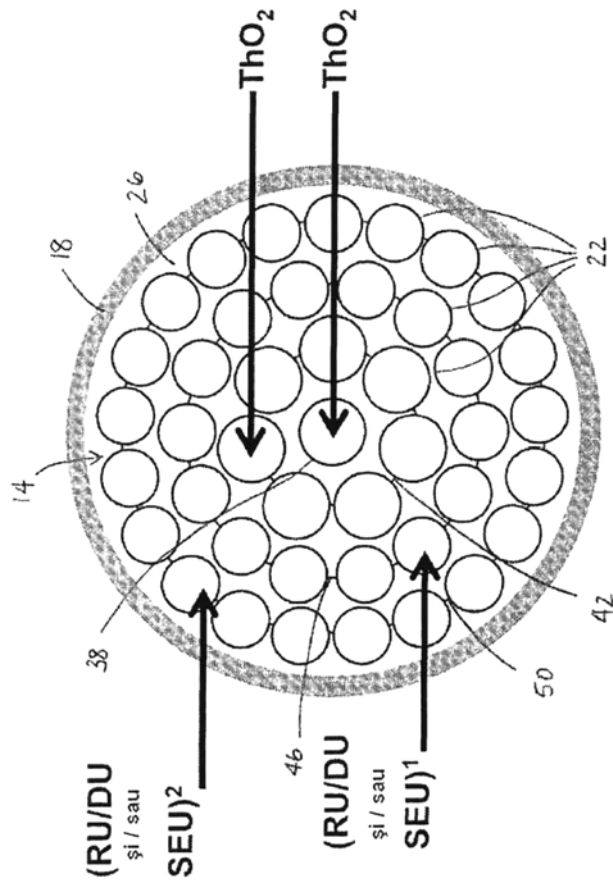


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

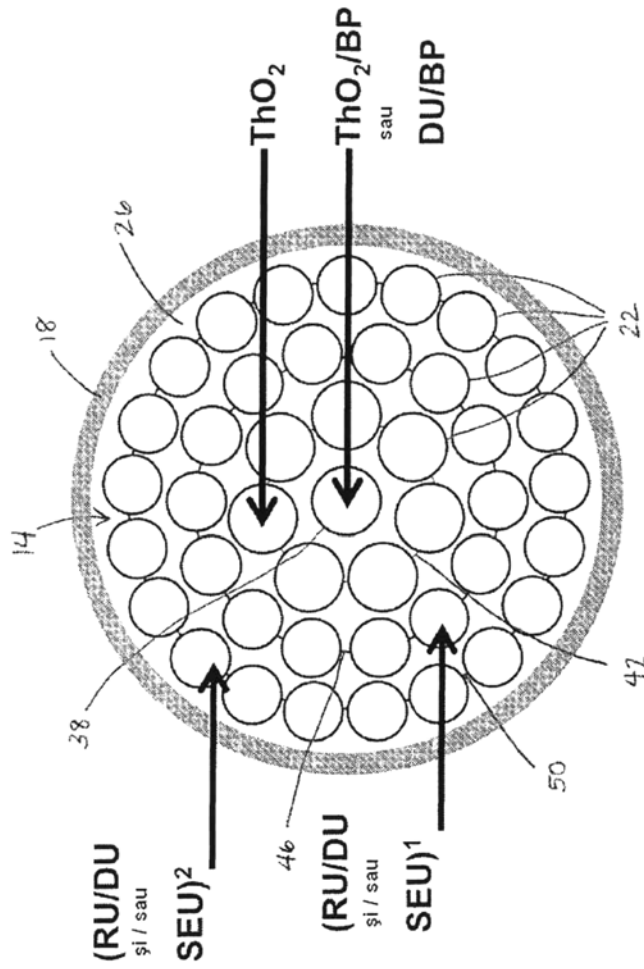


Fig. 5

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

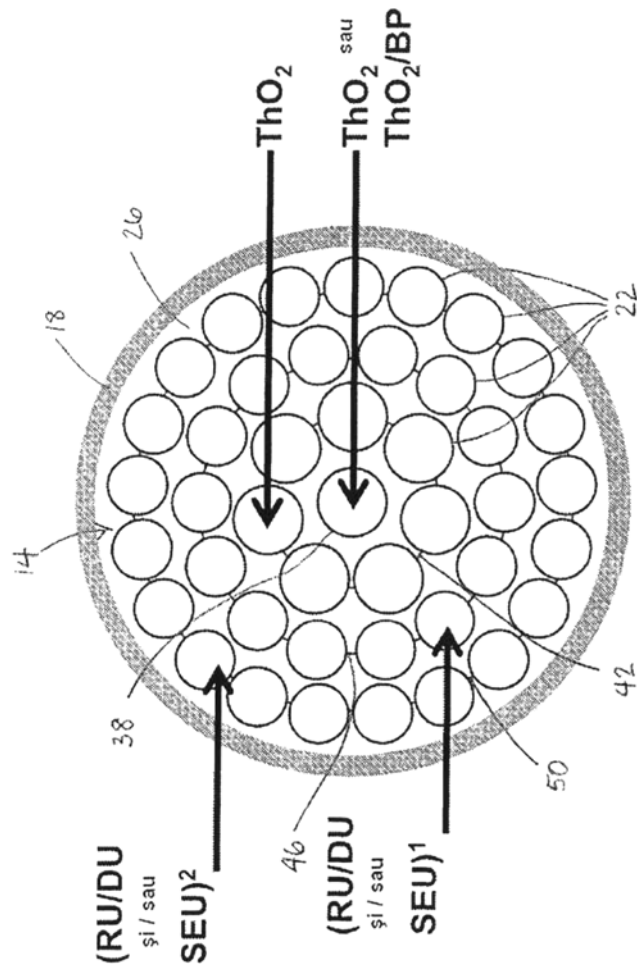


Fig. 6

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

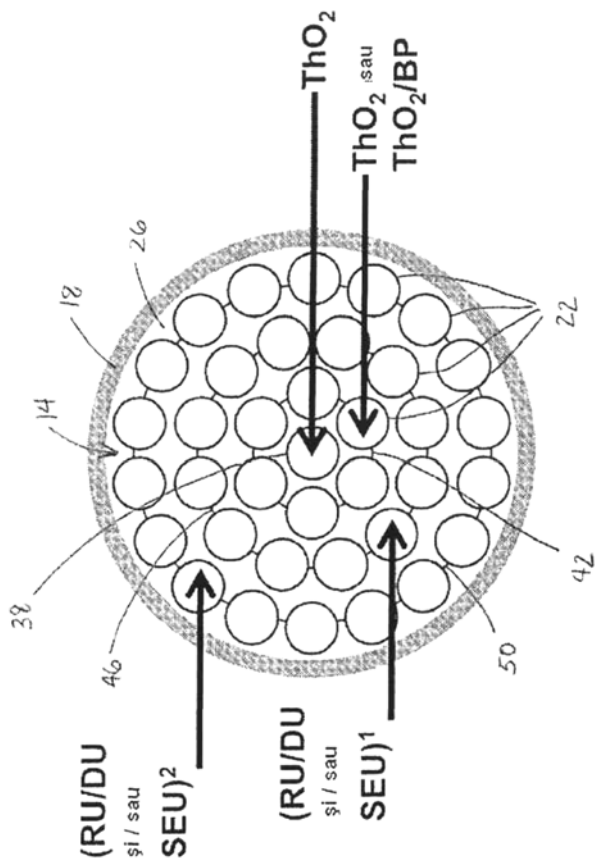


Fig. 7

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

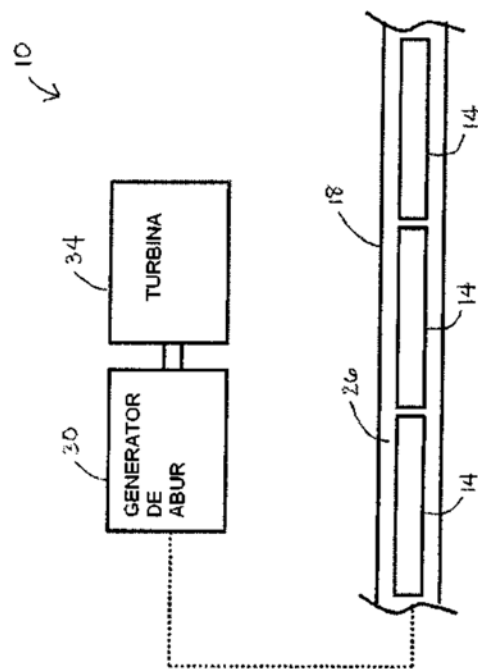


Fig. 8



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 442/2021