



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00361**

(22) Data de depozit: **15/11/2010**

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

(41) Data publicării cererii:
30/01/2014 BOPI nr. **1/2014**

(86) Cerere internațională PCT:
Nr. **IB 2010/002914** **15/11/2010**

(87) Publicare internațională:
Nr. **WO 2012/066367** **24/05/2012**

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

(72) Inventatori:
• **KURAN SERMET, 946 PORCUPINE**
AVENUE, MISSISSAUGA, ONTARIO, CA;
• **BOUBCHER MUSTAPHA, 4680**
BRACKNELL ROAD, BURLINGTON,
ONTARIO, CA;

• **COTTRELL CATHY, 79 THOROUGHbred**
BOULEVARD, ANCASTER, ONTARIO, CA,
CA;
• **ARAUJO ERIC CARL ALEMENDRA, 45**
OLD MILL TERRACE, TORONTO,
ONTARIO, CA

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

(56) Documente din stadiul tehnicii:
RU 2200987 (C2); XIE ZHONGSHENG Ș.A.,
"ADVANCED CANDU FUEL CYCLE
VISION", NUCLEAR POWER
ENGINEERING, VOL. 6, 1999; RO 118948 B

(54) **COMBUSTIBIL NUCLEAR CONȚINÂND URANIU RECICLAT**
ȘI SĂRĂCIT, ȘI FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR ȘI
REACTOR NUCLEAR CUPRINZÂND UN ASTFEL DE
FASCICUL



1 Invenția se referă la un fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear care
cuprinde mai multe elemente de combustibil care includ, fiecare, o primă componentă de
3 combustibil din uraniu reciclat și o a doua componentă de combustibil din cel puțin uraniu
sărăcit și uraniu natural amestecate cu prima componentă de combustibil.

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

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

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

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

31 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
33 combustibil care include uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim
conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate ^{235}U ; și un al doilea element de
35 combustibil care include cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, cel de al doilea
element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil nu mai mare de 0,71% în
37 greutate ^{235}U .

39 În unele exemple de realizare, oricare dintre fasciculele de combustibil și metodele
descrise anterior sunt utilizate într-un reactor cu apă grea sub presiune, în care fasciculele
de combustibil sunt localizate într-unui sau mai multe tuburi de apă sub presiune care trec
41 peste fasciculele de combustibil, absorb căldura de la fasciculele de combustibil, și
acționează la ieșirea din fasciculele de combustibil.

43 Alte aspecte ale prezentei invenții vor rezulta în urma analizării descrierii detaliate și
a desenelor care însoțesc descrierea.

45 Fig. 1, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui prim mod de realizare a
unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției, care ilustrează un număr de posibile
47 aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil.

Fig. 2, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al doilea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției care ilustrează, de asemenea, un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil.

Fig. 3, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al treilea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției care ilustrează, de asemenea, un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil.

Fig. 4, reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui al patrulea exemplu de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției care ilustrează, de asemenea, un număr de posibile aranjamente de combustibil în fasciculul de combustibil.

Fig. 5, este 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 exemplului de realizare și a aranjării componentelor prezentate în descrierea următoare sau ilustrate în desenele însoțitoare. Invenția se poate realiza și în alte exemple de realizare și poate să fie practică și să fie realizată în diferite feluri.

În prezenta este dezvăluit un număr de combustibili nucleari conform diferitelor exemple 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), o porțiune a căruia 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 diferiți combustibili nucleari ai prezentei invenții. În consecință, astfel de reactoare sunt descrise aici doar pentru exemplificare, înțelegându-se că diferiți combustibili ai prezentei invenții pot fi arși în alte tipuri de reactoare nucleare.

În mod similar, diferiți combustibili ai prezentei invenții descriși 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 în prezenta, pentru simplificare, doar ca „elemente”). Exemplele de elemente utilizate în unele exemple de realizare a prezentei invenții sunt indicate prin reperul **22** în fig. 1...4 și sunt descrise, în detaliu, mai jos. În cazul combustibilului conținut în tuburi, tuburile pot fi realizate sau pot include zirconiu, un aliaj de zirconiu sau un alt material convenabil, sau o combinație de materiale care, în unele cazuri, este caracterizată prin absorbție joasă de neutroni.

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

Făcând referire în continuare la fig. 5, când reactorul **10** este în funcțiune, peste fasciculele **14** de combustibil curge un agent de răcire **26** de tip apă grea pentru a răci elementele de combustibil și pentru a îndepărta căldura din procesul de fisiune. Combustibilii nucleari ai prezentei invenții pot fi, de asemenea, aplicați și reactoarelor cu tuburi sub

1 presiune cu diferite combinații de lichide/gaze în sistemele lor de transport și moderare de
căldură. În orice caz, agentul de răcire **26** care absoarbe căldura din combustibilul nuclear
3 poate transfera căldura către echipamentul din aval (de exemplu un generator **30** de abur),
pentru a acționa un motor primar (de exemplu o turbină **34**) în vederea producerii de energie
5 electrică.

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

Diferenții combustibili nucleari ai prezentei invenții pot fi utilizați (de exemplu ames-
11 tecați) în combinație cu unul sau mai multe alte materiale. Fie că este utilizat singur sau în
combinație cu alte materiale, combustibilul nuclear poate fi sub formă de pelete, sub formă
13 de pulbere, sau în oricare altă formă convenabilă, sau într-o combinație de forme, în alte
exemple de realizare, combustibilii prezentei invenții iau forma unei tije, cum ar fi o tijă de
15 combustibil presată în forma dorită, o tijă de combustibil conținută într-o matrice a unui alt
material și altele. De asemenea, elementele de combustibil făcute din combustibilii conform
17 prezentei invenții pot include o combinație de tuburi și tije și/sau alte tipuri de elemente.

După cum este descris în detaliu, în continuare, combustibilii conform diferitelor
19 exemple de realizare a prezentei invenții pot include diferite combinații de combustibili
nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU) și uraniu reprocesat sau reciclat
21 (RU). Așa cum se utilizează aici și în revendicările anexate, referirile la „procente” de
componente constituente de material incluse în combustibilul nuclear se referă la procente
23 în greutate, dacă nu este specificat altfel. De asemenea, după cum se definește aici, DU are
un conținut fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate până la aproximativ 0,5% în greutate
25 ²³⁵U (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate), NU are un
conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ²³⁵U, și RU are un conținut fisionabil de
27 la aproximativ 0,72% în greutate până la aproximativ 1,2% în greutate ²³⁵U (incluzând
aproximativ 0,72% în greutate și aproximativ 1,2% în greutate).

29 Uraniu reciclat

Uraniul reprocesat sau reciclat (RU) este fabricat din combustibil uzat, creat din
31 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
33 uzat lasă în urmă uraniu separat, la care se face referire în industrie ca uraniu reprocesat
sau reciclat. Uraniul natural (NU) conține doar cei trei izotopi ²³⁴U, ²³⁵U și ²³⁸U. Cu toate
35 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
37 uraniu care nu sunt prezenți în uraniul natural: ²³⁶U și ²³²U, ²³³U și ²³⁷U (în general considerate
impurități). Astfel, prezența acestor patru tipuri suplimentare de izotopi poate fi considerată
39 ca semnătură pentru RU.

De asemenea, trebuie înțeles faptul că compoziția de izotopi a RU depinde de mulți
41 factori, cum ar fi conținutul inițial de ²³⁵U în combustibil înainte de iradiere (de exemplu com-
bustibil proaspăt), originea(ile) combustibilului, tipul reactorului în care a fost ars combus-
43 tibilul, istoricul iradierii combustibilului în reactor (de exemplu incluzând consumul) și
perioadele de răcire și stocare ale combustibilului după iradiere. Spre exemplu, combustibilii
45 cei mai iradiați sunt răciți timp de cel puțin cinci ani în bazine special proiectate pentru a
asigura siguranța radiologică. Cu toate acestea, perioada de răcire poate fi extinsă la 10 sau
47 15 ani sau mai mult.

RU include adesea impurități chimice (de exemplu gadoliniu) 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}Pu), ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , neptuniu-237 (^{237}Np), americium-241 (^{241}Am), curiu-242 (^{242}Cm) și produși de fisiune, cum ar fi zirconiu-95/niobiu-95 ($^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$), ruteniu-103 (^{103}Ru), ^{106}Ru , cesiu-134 (^{134}Cs), ^{137}Cs , și tehneci-99 (^{99}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 până la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}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}U) și uraniu-235 (^{235}U). Prin comparație, uraniul natural (NU) este aproximativ 99,28% în greutate ^{238}U , aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U și aproximativ 0,0054% în greutate ^{234}U . DU este un produs secundar al îmbogățirii uraniului și conține, în general, mai puțin de o treime de ^{235}U și ^{234}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), gadoliniu (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}U , ^{235}U , ^{236}U , și ^{238}U) precum și impuritățile descrise mai sus (^{232}U , ^{233}U , și ^{237}U) care se găsesc în mod obișnuit în RU pot împiedica RU să devină un combustibil viabil în multe reactoare. Cu toate acestea, inventatorii au descoperit că prin amestecarea RU cu DU, conținutul fisionabil de ^{235}U din combustibilul nuclear rezultat poate fi adus într-un domeniu acceptabil, care-i permite să fie ars ca combustibil proaspăt în multe reactoare nucleare, incluzând fără limitare reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune (de exemplu reactoarele nucleare cu apă grea sub presiune având tuburi de combustibil orizontale precum cele din reactoarele CANDU). Rezultate similare pot fi obținute prin amestecarea RU cu NU pentru a reduce conținutul fisionabil de ^{235}U din combustibilul nuclear rezultat, adus la un domeniu acceptabil, care-i permite să fie ars ca combustibil proaspăt.

Indiferent dacă este amestecat cu DU sau NU, RU poate fi amestecat cu ajutorul oricărei metodei cunoscute din stadiul tehnicii, precum, dar fără limitare la utilizarea unei soluții acide sau amestecarea uscată.

În unele exemple de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei 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 mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U . În alte exemple de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U . În alte exemple de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U . Și în alte exemple de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de

1 aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U . În fiecare din aceste exemple de realizare, DU al unor
astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,2% în greutate
3 ^{235}U până la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U .

Prin urmare, în unele exemple de realizare, prin amestecarea DU cu conținut
5 fisionabil de ^{235}U mai scăzut cu RU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai ridicat, combustibilul
nuclear RU/DU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 1,0% în
7 greutate ^{235}U . În alte exemple de realizare, combustibilul nuclear RU/DU amestecat rezultat
poate avea un conținut fisionabil de mai puțin de 0,8% în greutate ^{235}U . În alte exemple de
9 realizare, combustibilul nuclear RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de mai puțin
de 0,72% în greutate ^{235}U . De asemenea, în alte exemple de realizare, combustibilul nuclear
11 RU/DU rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U ,
rezultând astfel un combustibil echivalent cu uraniul natural, generat prin amestecarea RU
13 cu DU.

În unele exemple de realizare, combustibilul pentru reactorul nuclear al prezentei
15 invenții include o primă componentă de combustibil de RU și o a doua componentă de
combustibil de NU care au fost amestecate pentru a avea un conținut fisionabil combinat de
17 mai puțin de 1,2% în greutate ^{235}U . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut
fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate ^{235}U .
19 În alte exemple de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de
la aproximativ 0,8% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate ^{235}U . În alte
21 exemple de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la
aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U . În alte exemple
23 de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ
0,9% în greutate de ^{235}U .

Prin urmare, prin amestecarea NU cu conținut fisionabil de ^{235}U mai scăzut cu RU cu
25 conținut fisionabil de ^{235}U mai ridicat, în unele exemple de realizare, combustibilul nuclear
RU/NU amestecat rezultat poate avea un conținut fisionabil mai mic de 1,0% în greutate ^{235}U .
27 În alte exemple de realizare, combustibilul nuclear RU/NU amestecat rezultat poate avea un
conținut fisionabil mai mic de 0,8% în greutate ^{235}U . În alte exemple de realizare,
29 combustibilul nuclear RU/NU rezultat poate avea un conținut fisionabil mai mic de 0,72% în
greutate ^{235}U . De asemenea, în anumite exemple de realizare, combustibilul nuclear RU/NU
31 rezultat poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de ^{235}U , rezultând,
așadar, într-un combustibil echivalent cu uraniul natural generat prin amestecarea RU și NU.
33 În anumite exemple de realizare, RU se amestecă atât cu DU cât și cu NU pentru a

35 produce combustibili având aceleași conținuturi sau intervale de conținut fisionabil de ^{235}U
ca cele descrise mai sus, în legătură cu combustibilii nucleari RU/DU amestecat și cu RU/NU
37 amestecat. În astfel de cazuri, conținuturile sau intervalele de conținut fisionabil de ^{235}U ale
RU și conținuturile sau intervalele de conținut fisionabil de ^{235}U ale DU pot fi aceleași cu cele
39 descrise mai sus.

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

Construirea fasciculului de combustibil

47 Amestecarea combustibilului nuclear (potrivit celor descrise mai sus) este o moda-
litate puternică de a produce combustibili nucleari proaspeți din RU, de altfel, neutilizabil. Cu
49 toate acestea, o astfel de amestecare reprezintă doar o tehnică prin care RU se poate utiliza

1 pentru ardere în multe tipuri de reactoare, incluzând reactoare cu apă grea sub presiune. În
 2 multe exemple de realizare, combustibilii RU amestecați descriși aici pot fi utilizați într-un
 3 mod extrem de eficient, în fascicule de combustibil în funcție, cel puțin parțial, de locațiile
 4 respectivelor combustibili amestecați din fasciculele de combustibil. De asemenea, RU poate
 5 fi utilizat chiar cu succes în fascicule de combustibil fără a fi în mod necesar amestecat
 6 potrivit celor descrise mai sus. În schimb, atunci când RU este inclus în anumite locații
 7 într-un fascicul de combustibil, are anumite conținuturi fisionabile de ^{235}U , și/sau este utilizat
 8 cu combinațiile vizate de DU și/ sau NU, fasciculul de combustibil rezultat prezintă carac-
 9 teristicile dorite. Aceste caracteristici includ un mai mare control la arderea combustibilului
 și un coeficient de vid al reactivității agentului de răcire mai scăzut (descriș mai jos).

11 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
 12 presiune evidențiat schematic în fig. 5. În special, fiecare dintre fig. 1...4, ilustrează o vedere
 13 în secțiune transversală a unui număr de exemple de realizare a unui fascicul **14** de com-
 bustibil poziționat într-un tub **18** sub presiune. Aranjamentele de combustibil ilustrate în
 14 fiecare din fig. 1...4 sunt furnizate ca exemplu, înțelegându-se că alte aranjamente de com-
 bustibil în fasciculele de combustibil din fig. 1...4 sunt posibile, și sunt în spiritul și în aria de
 15 protecție a prezentei invenții. De reținut, de asemenea, că sunt furnizate anterior acele
 16 caracteristici (incluzând conținuturile fisionabile de ^{235}U și intervalele de conținut fisionabil de
 17 ^{235}U) ale diferiților combustibili descriși în raport cu fig. 1...4 de mai jos (RU, DU, NU,
 18 amestecuri RU/DU, amestecuri RU/NU și amestecuri RU/DU/NU).
 19

20 Agentul de răcire **26** de tip apă grea este conținut în tubul **18** de presiune și ocupă
 21 subcanalele dintre elementele **22** de combustibil ale fasciculului **14** de combustibil.
 22 Elementele **22** de combustibil pot include un element central **38**, o primă multitudine de
 23 elemente **42** poziționate radial, către exterior, față de elementul central **38**, o a doua multitu-
 24 dine de elemente **46** poziționate radial, către exterior, față de prima multitudine de elemente
 25 **42** și o a treia multitudine de elemente **50** poziționate radial, către exterior, față de a doua
 26 multitudine de elemente **46**. Se înțelege că în alte exemple de realizare, fasciculul **14** de
 27 combustibil poate include mai puține, sau mai multe elemente și poate include și elemente
 28 în alte configurații decât acelea ilustrate în fig. 1...4. Spre exemplu, elementele **22** de
 29 combustibil pot fi poziționate în paralel unul cu celălalt într-unul sau mai multe planuri,
 30 elemente aranjate într-o matrice sau serie având formă bloc sau orice altă formă în secțiune
 31 transversală și elemente în orice alt model sau configurație fără model. Tubul **18** de
 32 presiune, fasciculul **14** de combustibil și/sau elementele **22** de combustibil pot fi, de
 33 asemenea, configurate în diferite forme sau mărimi. Spre exemplu, tuburile **18** de presiune,
 34 fasciculele **14** de combustibil și elementele **22** de combustibil pot avea orice forme în
 35 secțiune transversală (altele decât formele rotunde arătate în fig. 1...5) și mărimi, după cum
 36 se dorește. Ca un alt exemplu, elementele **22** de combustibil în fiecare dintre fasciculele **14**
 37 de combustibil pot avea orice dimensiuni relative (altele decât dimensiunea uniformă sau
 38 versiunile cu două dimensiuni ale elementelor **22** de combustibil arătate în fig. 1...4).

39 În exemplele de realizare din fig. 1 și 2, este ilustrat un fascicul de combustibil cu **37**
 40 de elemente în care toate elementele **22** de combustibil au o dimensiune uniformă în
 41 secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în secțiune
 42 transversală). Prima multitudine de elemente **42** din fiecare dintre fig. 1 și 2, include șase
 43 elemente dispuse paralel unele față de altele, într-un model în general circular. A doua
 44 multitudine de elemente **46** din fiecare dintre fig. 1 și 2, include douăsprezece elemente, de
 45 asemenea, aranjate paralel unele față de altele într-un model, în general, circular. A treia
 46

1 multitudine de elemente **50** din fiecare dintre fig. 1 și 2, include optsprezece elemente de
asemenea, aranjate paralel unele cu altele într-un model, în general, circular. Elementul
3 central **38**, prima multitudine de elemente **42**, a doua multitudine de elemente **46**, și a treia
multitudine de elemente **50** sunt aranjate concentric astfel încât toate elementele **22** sunt
5 dispuse paralel unele cu altele. De asemenea, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în fig.
1...2, indicând poziția general circulară a elementelor **22** sunt date doar în scop exemplificativ
7 și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele **22** sunt legate împreună sau sunt
altfel cuplate într-un aranjament special.

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

În anumite exemple de realizare, fiecare dintre elementele **22** de combustibil din fig.
31 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
33 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
35 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
37 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),
39 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
41 combinație de tuburi sau tije și/sau alte elemente conținând combustibil și elementele **22** de
combustibil pot lua alte configurații potrivite unei aplicații speciale.

43 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
45 reprocessat sau reciclat (RU). Făcând mai întâi referire la fig. 1, fasciculul **14** de combustibil
ilustrat în aceasta include **37** de elemente. Elementul central **38** din fig. 1, include un ames-
47 tec de RU și DU având un prim conținut fisionabil (adică, (RU/DU)¹) 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. Întorcându-ne la fig. 1, prima multitudine de elemente **42** include un amestec de RU și DU având un al doilea conținut fisionabil (adică, $(RU/DU)^2$). A doua multitudine de elemente **46** include un amestec de RU și DU având un al treilea conținut fisionabil (adică, $(RU/DU)^3$) și/ sau NU având un prim conținut fisionabil (adică, NU^1). A treia multitudine de elemente ⁵⁰ include un amestec de RU și DU având un al patrulea conținut fisionabil (adică, $(RU/DU)^4$) și/sau NU având un al doilea conținut fisionabil (adică, NU^2).

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 (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** $(RU/DU)^2$ din fig. 1 indică faptul că fiecare element **22** ilustrat din prima multitudine de elemente **36** este un amestec de RU și DU. Totuși, alternativ sau în plus, prima multitudine de elemente **36** 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 exemple de realizare, conținutul fisionabil de ^{235}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). În alte exemple de realizare, conținutul fisionabil de ^{235}U al amestecurilor RU/DU incluse în fasciculul **14** de combustibil se modifică de la inel la inel, sau cu modificarea distanței radiale 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 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 elemente. În anumite exemple de realizare, un amestec $(RU/DU)^1$ inclus în elementul central **38** din fig. 1 conține, în general, un procent mai scăzut de ^{235}U decât amestecul $(RU/DU)^2$ inclus în prima multitudine de elemente **42**, amestecul de $(RU/DU)^2$ inclus în prima multitudine de elemente **42** conține în general un procent mai scăzut de ^{235}U decât orice amestec $(RU/DU)^3$ inclus în a doua multitudine de elemente **46**, și orice amestec $(RU/DU)^3$ inclus în a doua multitudine de elemente **46** are, în general, un procent mai scăzut de ^{235}U decât orice amestec $(RU/DU)^4$ inclus în a treia multitudine de elemente **50**. Prin urmare, conținutul fisionabil de ^{235}U al combustibilului nuclear inclus în fasciculul **14** de combustibil poate crește într-o direcție radială către exterior, de la centrul fasciculului **14** de combustibil. Cu toate acestea, în alte exemple de realizare, conținutul fisionabil de ^{235}U scade într-o direcție radială către exterior de la centrul fasciculului **14** de combustibil.

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

În plus, în anumite exemple de realizare, conținutul fisionabil specific al unui element 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 fascicului **14** de combustibil) sau de-a lungul lungimii longitudinale a fascicului **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 central **38**, așa cum a fost ilustrat.

Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe modurile de realizare a fascicului 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 avute în vedere ca limitând scopul prezentei invenții sau celelalte exemple de realizare posibile avute în vedere în fig. 1. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element central.

Exemplul 1

Element central: RU/DU

Primul inel de elemente **42**: RU/DU

Al 2-lea inel de elemente **46**: RU/DU

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU/DU

Exemplul 2

Element central: $(\text{RU/DU})^1$

Primul inel de elemente **42**: $(\text{RU/DU})^2$

Al 2-lea inel de elemente **46**: $(\text{RU/DU})^3$

Al 3-lea inel de elemente **50**: $(\text{RU/DU})^4$

În care $(\text{RU/DU})^2$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$, $(\text{RU/DU})^3$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$ și/sau $(\text{RU/DU})^2$, și/sau în care $(\text{RU/DU})^4$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$, $(\text{RU/DU})^2$, și/sau $(\text{RU/DU})^3$.

Exemplul 3

Element central: $(\text{RU/DU})^1$

Primul inel de elemente **42**: $(\text{RU/DU})^2$

Al 2-lea inel de elemente **46**: $(\text{RU/DU})^3$

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

În care $(\text{RU/DU})^2$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$, și în care $(\text{RU/DU})^3$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$ și/sau $(\text{RU/DU})^2$.

Exemplul 4

Elementul central: $(\text{RU/DU})^1$

Primul inel de elemente **42**: $(\text{RU/DU})^2$

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

Al 3-lea inel de elemente **50**: $(\text{RU/DU})^3$

În care $(\text{RU/DU})^2$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât cel al $(\text{RU/DU})^1$, și în care $(\text{RU/DU})^3$ are un conținut fisionabil de ^{235}U mai mare decât al $(\text{RU/DU})^1$ și/sau $(\text{RU/DU})^2$.

Exemplul 5Elementul central: (RU/DU)¹Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)²Al 2-lea inel de elemente **46**: NUAl 3-lea inel de elemente **50**: NUÎn care (RU/DU)² are un conținut fisionabil de ²³⁵U mai mare decât cel al (RU/DU)¹.Fig. 2 ilustrează o altă realizare a unui fascicul **14** de combustibil cu **37** elemente.

Elementul central **38** din fig. 2 include RU având un prim conținut fisionabil (adică, RU¹) și/ sau DU având un prim conținut fisionabil (adică, DU¹). Prima multitudine de elemente **42** din fig. 2, include RU având un al doilea conținut fisionabil (adică, RU²) și/ sau DU având un al doilea conținut fisionabil (adică, DU²). A doua multitudine de elemente **46** include RU având un al treilea conținut fisionabil (adică, RU³). A treia multitudine de elemente **50** include RU având un al patrulea conținut fisionabil (adică, RU⁴).

Conținuturile fisionabile de ²³⁵U 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 ²³⁵U al RU din fig. 2 se modifică, această modificare poate apărea cu distanța radială de la centrul fasciculului 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, RU¹ inclus în elementul central **38**, are, în general, un procent mai scăzut de ²³⁵U decât RU² inclus în prima multitudine de elemente **42**, amestecul RU² inclus în prima multitudine de elemente **42** are, în general, un procent mai scăzut de ²³⁵U decât RU³ inclus în a doua multitudine de elemente **46**, și/ sau RU³ inclus în a doua multitudine de elemente **46** are, în general, un procent mai scăzut de ²³⁵U decât RU⁴ inclus în a treia multitudine de elemente **50**. Prin urmare, în anumite exemple de realizare, conținutul fisionabil de ²³⁵U al combustibilului nuclear al fasciculului **14** de combustibil crește într-o direcție radială către exterior de la centrul fasciculului **14** de combustibil. Cu toate acestea, în alte exemple de realizare, conținutul fisionabil de ²³⁵U scade într-o direcție radială către exterior de la centrul fasciculului **14** de combustibil.

Se înțelege că, chiar 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 element **22** de combustibil încă are un conținut fisionabil de ²³⁵U situat în general între și incluzând aproximativ de la 0,72% până la aproximativ 1,2% de ²³⁵U. Doar ca exemplu, conținutul fisionabil de RU¹ inclus în elementul central **38** este ales din intervalul definit mai sus pentru RU, iar conținutul fisionabil al RU² inclus în prima multitudine de elemente **42** este, de asemenea, ales din același interval definit, dar poate fi diferită de conținutul fisionabil ales pentru elementul central **38**.

În același mod, conținutul fisionabil al oricărui DU utilizat în modurile de realizare din fig. 2 poate fi aproximativ același sau modificat - fie cu distanța radială de la centrul fasciculului **14** de combustibil sau cu modificarea poziției circulare în fasciculul **14** de combustibil. Din nou, doar cu titlu de exemplu, orice DU¹ inclus în elementul central **38** poate avea, în general, un procent mai scăzut de ²³⁵U decât orice DU² inclus în a doua multitudine de elemente **42**. Alternativ, orice DU² inclus în a doua multitudine de elemente **42** poate avea, în general, un procent mai scăzut de ²³⁵U decât orice DU¹ inclus în elementul central **38**.

În plus, în anumite exemple de realizare, un anumit conținut fisionabil al unui anumit element **22** de combustibil se poate modifica prin intermediul uneia sau a mai multor multitudini de elemente **42**, **46** și **50** (ex. într-o direcție circulară în fasciculul **14** de combustibil) sau de-a lungul lungimii longitudinale a fasciculului **14** de combustibil. De asemenea, se poate include o BP în oricare dintre sau în toate elementele **22** de combustibil din fig. 2.

Următorul aranjament de fascicul **14** de combustibil se bazează pe modurile de realizare a fasciculului de combustibil ilustrate în fig. 2 și este prezentat ca exemplu de fascicul **14** de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie considerate ca limitând obiectul prezentei invenții sau celelalte exemple de realizare posibile avute în vedere în fig. 2. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element central.

Exemplul 6

Elementul central: DU¹

Primul inel de elemente **42**: DU²

Al 2-lea inel de elemente **46**: RU¹

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU²

În care DU² are un conținut fisionabil de ²³⁵U mai mare decât cel al DU¹, și în care RU² are un conținut fisionabil de ²³⁵U mai mare decât cel al RU¹.

Modurile de realizare din fig. 3 sunt semnificativ similare cu modurile 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, așa cum s-a descris mai sus. Dat fiind că distribuția combustibilului nuclear în elementul central, prima, a doua și a treia multitudine de elemente **38**, **42**, **46**, și respectiv **50**, este similară cu fig. 1, prin prezenta se face referire la descrierea care însoțește fig. 1 de mai sus pentru detalii suplimentare privind modurile de realizare (și posibilele alternative la acestea) evidențiate în fig. 3.

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 considerate ca limitând obiectul prezentei invenții sau celelalte exemple de realizare posibile avute în vedere în fig. 3. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element central.

Exemplul 7

Element central: RU/DU

Primul inel de elemente **42**: RU/DU

Al 2-lea inel de elemente **46**: RU/DU

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU/DU

Exemplul 8

Element central: RU/DU

Primul inel de elemente **42**: RU/DU

Al 2-lea inel de elemente **46**: RU/DU

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

Exemplul 9

Element central: RU/DU

Primul inel de elemente **42**: RU/DU

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

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU/DU

Exemplul 10

Element central: DU/BP

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)¹

Al 2-lea inel de elemente **46**: (RU/DU)²

Al 3-lea inel de elemente **50**: (RU/DU)³

RO 129196 B1

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

Exemplul 11

Elementul central: DU 5

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)¹

Al 2-lea inel de elemente **46**: (RU/DU)² 7

Al 3-lea inel de elemente **50**: (RU/DU)³

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

Exemplul 12

Element central: DU/BP 13

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)¹

al 2-lea inel de elemente **46**: (RU/DU)² 15

al 3-lea inel de elemente **50**: NU

În care (RU/DU)² are un conținut fisionabil de ²³⁵U mai mare decât cel al (RU/DU)¹. 17

Exemplul 13

Element central: DU/BP 19

Primul inel de elemente **42**: (RU/DU)¹

al 2-lea inel de elemente **46**: NU 21

al 3-lea inel de elemente **50**: (RU/DU)²

În care (RU/DU)² are un conținut fisionabil de ²³⁵U mai mare decât cel al (RU/DU)¹. 23

Modurile de realizare din fig. 4 sunt semnificativ similare cu modurile de realizare din fig. 2 descrise mai sus, cu excepția faptului că fasciculul **14** de combustibil este un fascicul de combustibil cu **43** de element și are elementele **22** de combustibil neuniforme, așa cum s-a descris mai sus. Dat fiind că distribuția combustibilului nuclear în elementul central, în prima, a doua și a treia multitudine de elemente **38**, **42**, **46** și, respectiv, **50** este similară cu fig. 2, prin prezenta se face referire la descrierea care însoțește fig. 2 de mai sus pentru detalii suplimentare privind modurile de realizare (și posibilele alternative la acestea) evidențiate în fig. 4. 31

Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe modurile de realizare a fasciculului de combustibil ilustrat în fig. 4, și sunt prezentate ca exemple de fascicule de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie avute considerate ca limitând obiectul prezentei invenții sau celelalte exemple de realizare posibile avute în vedere în fig. 4. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element central. 37

Exemplul 14

Elementul central: DU/BP 39

Primul inel de elemente **42**: RU

Al 2-lea inel de elemente **46**: RU 41

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU

Exemplul 15

Elementul central: DU 43

Primul inel de elemente **42**: RU 45

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

Al 3-lea inel de elemente **50**: RU 47

Exemplul 16

Elementul central: DU

Primul inel de elemente **42**: DUAl 2-lea inel de elemente **46**: RUAl 3-lea inel de elemente **50**: RU

Modurile de realizare din fig. 3 și 4 prezintă exemple ale modurilor în care un anumit număr de elemente de combustibil, aranjarea elementului de combustibil (de exemplu 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, să întruchipeze prezenta invenție. În unele exemple de realizare, conținutul fisionabil de ^{235}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 ^{235}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 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 se poate produce în toate reactoarele, pentru 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 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 a 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 exemple de realizare descrise și/sau 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 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). Potrivit definiției din prezenta, SEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% până la aproximativ 3% în greutate de ^{235}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 ^{235}U (incluzând aproximativ 3% în greutate și aproximativ 20% în greutate).

De asemenea, modurile de realizare descrise în prezenta 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 pot avea elemente de aceeași dimensiune sau elemente de dimensiuni diferite în

RO 129196 B1

diferite inele și/sau diferite poziții circulare din cadrul fasciculelor de combustibil, fără a se 1
îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Ca alt exemplu, elemente de dimensiuni
mai mare nu trebuie să fie, în mod necesar, situate doar în primul și/sau în al doilea inel al 3
unui fascicul **14** de combustibil. În alte exemple de realizare, aceste dimensiuni ale
elementelor relativ mai mari sunt situate în inelele exterioare radiale ale fasciculului **14** de 5
combustibil (de exemplu, inel situat radial către exterior și/sau inel adiacent acestuia).

Revendicări

1. Fascicul de combustibil pentru reactor nuclear, **caracterizat prin aceea că**, cuprinde: o multitudine de elemente de combustibil fiecare incluzând o primă componentă de combustibil de uraniu reciclat; și o a doua componentă de combustibil din cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural amestecate cu prima componentă de combustibil, în care prima și a doua componentă de combustibil, amestecate, au un prim conținut fisionabil msi mic de 1,2% în greutate ^{235}U și în care multitudinea de elemente de combustibil atunci când sunt arse în reactorul nuclear are un coeficient de temperatură negativ al combustibilului.

2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, multitudinea elementelor de combustibil include un inel de șase tuburi semnificativ paralele, fiecare conținând amestecul format din prima și din a doua componentă de combustibil.

3. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că**, a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu sărăcit.

4. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că**, a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

5. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...4, **caracterizat prin aceea că**, multitudinea de elemente de combustibil este o primă multitudine de elemente de combustibil, fasciculul de combustibil cuprinzând, în plus, o a doua multitudine de elemente de combustibil care formează un inel în jurul primei multitudini de elemente de combustibil.

6. Fascicul de combustibil conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că**, a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

7. Fascicul de combustibil conform revendicării 5, **caracterizat prin aceea că**, a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu reciclat și uraniu sărăcit.

8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, **caracterizat prin aceea că**, un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit în a doua multitudine de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.

9. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 5...8, **caracterizat prin aceea că**, a doua multitudine de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele poziționate radial, către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

10. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 5...9, **caracterizat prin aceea că**, conține, în plus, o a treia multitudine de elemente de combustibil care formează un inel în jurul celei de-a doua multitudini de elemente de combustibil.

11. Fascicul de combustibil conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că**, a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ^{235}U .

12. Fascicul de combustibil conform revendicării 10, **caracterizat prin aceea că**, a treia multitudine de elemente de combustibil include un al treilea amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.

13. Fascicul de combustibil conform revendicării 12, **caracterizat prin aceea că**, un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit în cea de a treia multitudine de elemente de combustibil este mai mare decât un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit în a doua multitudine de elemente de combustibil.

14. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 10...13, caracterizat prin aceea că , a treia multitudine de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele poziționate radial, spre exterior dinspre cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.	1 3
15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...14, caracterizat prin aceea că , cuprinde suplimentar, un element central situat în centrul fascicului de combustibil.	5 7
16. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, caracterizat prin aceea că , elementul central include uraniu sărăcit.	9
17. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, caracterizat prin aceea că , elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.	11
18. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, caracterizat prin aceea că , elementul central include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.	13
19. Fascicul de combustibil conform revendicării 18, caracterizat prin aceea că , conținutul fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit al elementului central este mai mic decât primul conținut fisionabil.	15
20. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că , multitudine de elemente de combustibil include un inel de șapte tuburi semnificativ paralele fiecare conținând amestecul format din prima și a doua componentă de combustibil.	17 19
21. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 2 sau 20, caracterizat prin aceea că , multitudine de elemente de combustibil este o primă multitudine de elemente de combustibil, fasciculul de combustibil cuprinzând, în plus, o a doua multitudine de elemente de combustibil situate radial, către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	21 23
22. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, caracterizat prin aceea că , a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ²³⁵ U.	25 27
23. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, caracterizat prin aceea că , a doua multitudine de elemente de combustibil include un al doilea amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit.	29
24. Fascicul de combustibil conform revendicării 23, caracterizat prin aceea că un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit în cea de a doua multitudine de elemente este mai mare decât primul conținut fisionabil.	31 33
25. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21...24, caracterizat prin aceea că , a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele poziționate radial, către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	35 37
26. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21...25, caracterizat prin aceea că , cel puțin una dintre cea de a doua multitudine de elemente de combustibil este diferită, ca dimensiune, în secțiune transversală față de cea a cel puțin uneia din prima multitudine de elemente de combustibil.	39 41
27. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21...26, caracterizat prin aceea că , cuprinde în plus o a treia multitudine de elemente de combustibil care formează un inel în jurul celei de-a doua multitudini de elemente de combustibil.	43
28. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, caracterizat prin aceea că , a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate ²³⁵ U.	45 47

29. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, **caracterizat prin aceea că**, a treia multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit.

30. Fascicul de combustibil conform revendicării 29, **caracterizat prin aceea că**, conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudini de elemente de combustibil este mai mare decât conținutul fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente de combustibil.

31. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 27...30, **caracterizat prin aceea că**, a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzecișunu de tuburi semnificativ paralele, poziționate radial către exterior dinspre cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.

32. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 27...31, **caracterizat prin aceea că**, cel puțin o componentă din cea de-a treia multitudine de elemente de combustibil este diferită ca dimensiune, în secțiune transversală, de cea a cel puțin uneia din prima multitudine de elemente de combustibil.

33. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 27...32, **caracterizat prin aceea că**, cuprinde, în plus, un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.

34. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, **caracterizat prin aceea că**, elementul central include uraniu sărăcit.

35. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, **caracterizat prin aceea că**, elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.

36. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, **caracterizat prin aceea că**, elementul central include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.

37. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, **caracterizat prin aceea că**, conținutul fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit al elementului central este mai mic decât primul conținut fisionabil.

38. Fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear **caracterizat prin aceea că**, cuprinde: un prim element de combustibil care include uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim conținut fisionabil mai mic de 0,72% în greutate ^{235}U ; și un al doilea element de combustibil care include cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, al doilea element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil nu mai mult de 0,71% în greutate ^{235}U în care primul element de combustibil și al doilea element de combustibil atunci când sunt arse în reactorul nuclear au un coeficient negativ de temperatură al combustibilului.

39. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, **caracterizat prin aceea că**, primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,72% în greutate de ^{235}U până la aproximativ 1,2% în greutate de ^{235}U .

40. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, **caracterizat prin aceea că**, primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,8% în greutate de ^{235}U până la aproximativ 1,1% în greutate de ^{235}U .

41. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, **caracterizat prin aceea că**, primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U până la aproximativ 1,0% în greutate ^{235}U .

42. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, **caracterizat prin aceea că**, primul conținut fisionabil este de aproximativ 0,9% în greutate ^{235}U .

43. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38...42, **caracterizat prin aceea că**, al doilea conținut fisionabil este de la aproximativ 0,2% în greutate ^{235}U până la aproximativ 0,5% în greutate ^{235}U .

44. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38...43, caracterizat prin aceea că , al doilea element de combustibil include o otravă inflamabilă.	1
45. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38...44, caracterizat prin aceea că , primul element de combustibil este unul dintr-o multitudine de elemente de combustibil care conține uraniu reciclat și aranjate într-un inel.	3 5
46. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, caracterizat prin aceea că , multitudinea de elemente de combustibil include șase tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.	7
47. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45...46, caracterizat prin aceea că , cel de-al doilea element de combustibil include un tub ca element central care conține uraniu sărăcit poziționat radial, către interior dinspre multitudine de elemente de combustibil.	9 11
48. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45...47, caracterizat prin aceea că , cuprinde, în plus, o a doua multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat.	13 15
49. Fascicul de combustibil conform revendicării 48, caracterizat prin aceea că , un conținut fisionabil al celui de al doilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.	17
50. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48...49, caracterizat prin aceea că , a doua multitudine de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat poziționate radial, către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	19 21
51. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48...50, caracterizat prin aceea că , cuprinde, în plus, o a treia multitudine de elemente de combustibil care include uraniu reciclat.	23 25
52. Fascicul de combustibil conform revendicării 51, caracterizat prin aceea că , unconținut fisionabil al celei de a treia multitudini de elemente de combustibil este mai mare decât un conținut fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente de combustibil.	27
53. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 51...52, caracterizat prin aceea că , a treia multitudine de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat poziționate radial către exterior dinspre cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.	29 31
54. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, caracterizat prin aceea că , multitudinea de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.	33 35
55. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45...46, caracterizat prin aceea că , al doilea element de combustibil include o a doua multitudine de elemente de combustibil conținând uraniu sărăcit.	37
56. Fascicul de combustibil conform revendicării 54, caracterizat prin aceea că , multitudinea de elementele de combustibil este o primă multitudine de elemente de combustibil și în care al doilea element de combustibil este unul dintr-o a doua multitudine de elemente de combustibil care conține uraniu sărăcit în șase tuburi semnificativ paralele și poziționate radial, către interior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	39 41 43
57. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 54...56, caracterizat prin aceea că , cuprinde, în plus, un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.	45

1 58. Fascicul de combustibil conform revendicării 57, **caracterizat prin aceea că**,
elementul central include uraniu sărăcit.

3 59. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57...58,
caracterizat prin aceea că, elementul central include un tub care conține uraniu sărăcit.

5 60. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57...59,
caracterizat prin aceea că, cuprinde, în plus, o multitudine suplimentară de elemente de
7 combustibil care include uraniu reciclat.

9 61. Fascicul de combustibil conform revendicării 60, **caracterizat prin aceea că**,
conținutul fisionabil al multitudinii suplimentare de elemente de combustibil este mai mare
decât primul conținut fisionabil.

11 62. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 60...61,
caracterizat prin aceea că, multitudine suplimentară de elemente de combustibil include
13 optsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat și poziționate radial către
exterior dinspre primul element de combustibil.

15 63. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, **caracterizat prin aceea că**,
multitudinea de elemente de combustibil include șapte tuburi semnificativ paralele care
17 conțin uraniul reciclat.

19 64. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63, **caracterizat prin**
aceea că, al doilea element de combustibil include un tub element central care conține
uraniu sărăcit poziționat radial, către interior dinspre multitudine de elemente de
21 combustibil.

23 65. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63-64, **caracterizat prin**
aceea că, cuprinde, în plus, o a doua multitudine de elemente de combustibil care include
uraniu reciclat.

25 66. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, **caracterizat prin aceea că**, un
conținut fisionabil al celei de a doua multitudini de elemente de combustibil este mai mare
27 decât primul conținut fisionabil.

29 67. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-66, **caracterizat**
prin aceea că, a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi
semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.

31 68. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-67, **caracterizat**
prin aceea că, cuprinde, în plus, o a treia multitudine de elemente de combustibil care
33 include uraniu reciclat.

35 69. Fascicul de combustibil conform revendicării 68, în care conținutul fisionabil al
cele de-a treia multitudini de elemente de combustibil este mai mare ca un conținut fisionabil
al celei de a doua multitudini de elemente de combustibil.

37 70. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 68-69, **caracterizat**
prin aceea că, a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzecișunu de
39 tuburi paralele care conțin uraniu reciclat și are o poziție radială către exterior de la a doua
multitudine de elemente de combustibil.

41 71. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, **caracterizat prin aceea că**,
multitudinea de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele care conțin
43 uraniu reciclat.

45 72. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45 sau 71,
caracterizat prin aceea că, al doilea element de combustibil include o a doua multitudine
de elemente de combustibil care conțin uraniu sărăcit.

73. Fascicul de combustibil conform revendicării 72, caracterizat prin aceea că , a doua multitudine de elemente de combustibil include șapte tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu sărăcit poziționat radial, către interior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	1 3
74. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 71-73, caracterizat prin aceea că , cuprinde, în plus, un element central.	5
75. Fascicul de combustibil conform revendicării 74, caracterizat prin aceea că , elementul central include uraniu sărăcit.	7
76. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-75, caracterizat prin aceea că , elementul central include un tub care conține uraniul sărăcit.	9
77. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-76, caracterizat prin aceea că , cuprinde, în plus, o multitudine suplimentară de elemente de combustibil care includ uraniu reciclat.	11 13
78. Fascicul de combustibil conform revendicării 77, caracterizat prin aceea că , un conținut fisionabil al multitudinii suplimentare de elemente de combustibil este aproximativ mai mare decât primul conținut fisionabil.	15
79. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 77-78, caracterizat prin aceea că , multitudine suplimentară de elemente de combustibil include douăzecișunu de tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat și poziționate radial, către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.	17 19
80. Reactor nuclear care cuprinde:	21
- un tub de fluid sub presiune și;	
- fasciculul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1...79.	23

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

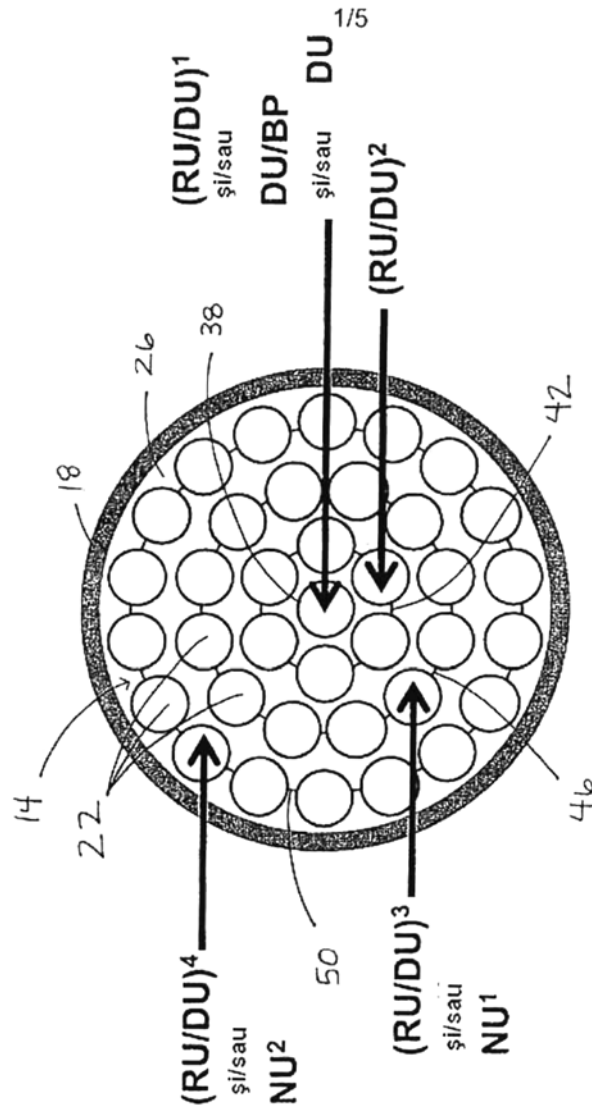


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

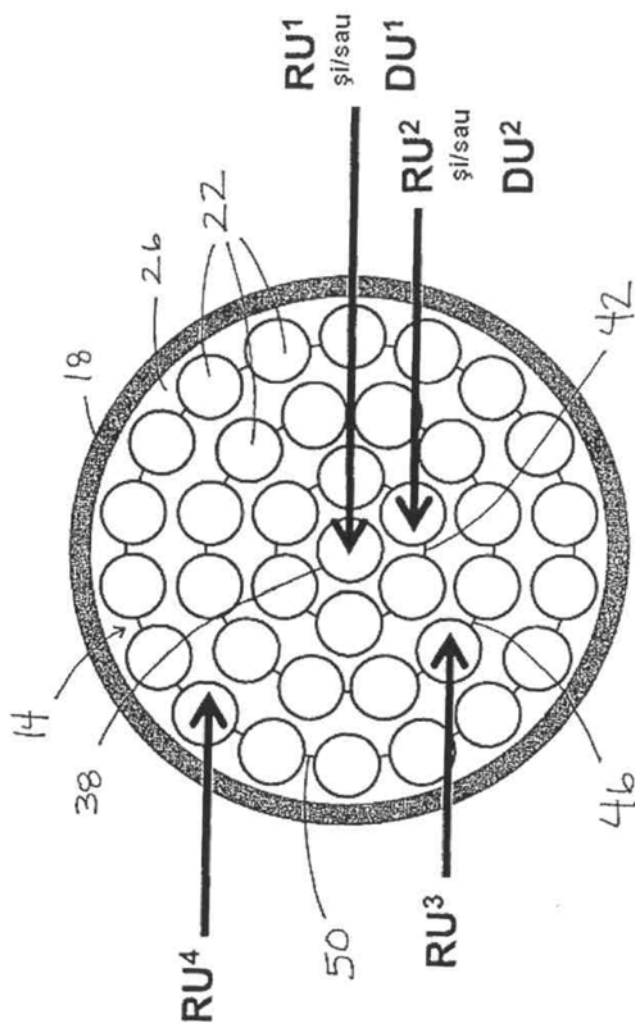


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

cG21C 3/328 (2006.01)

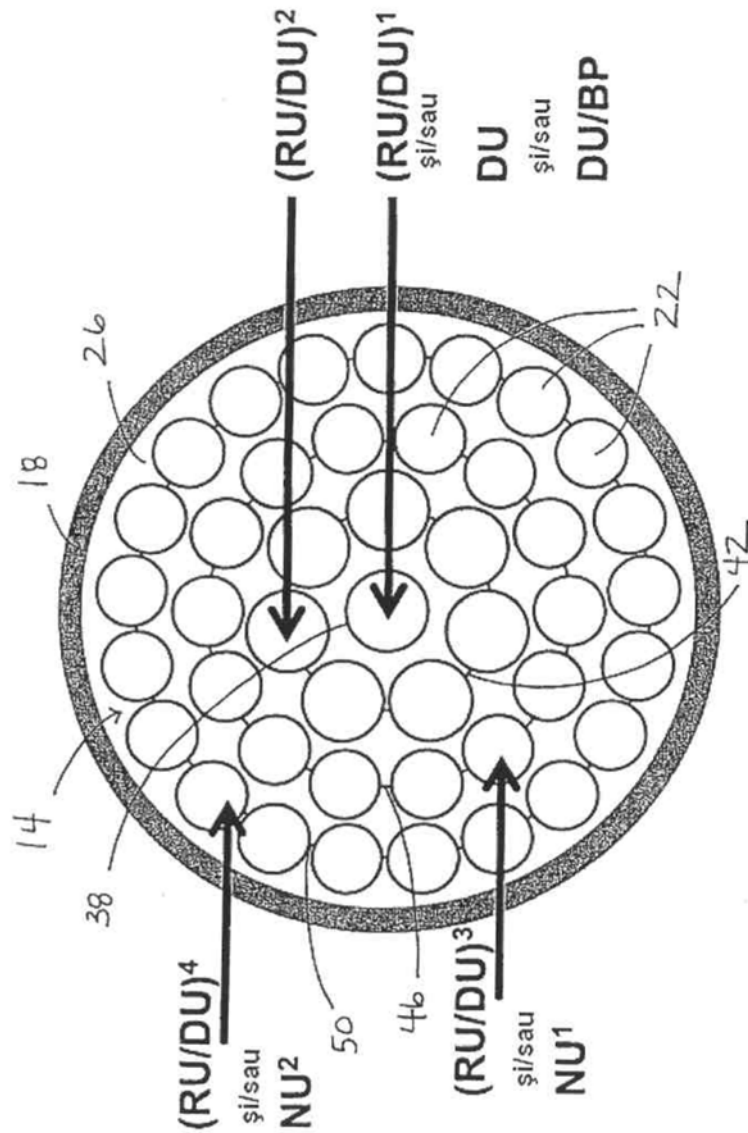


Fig. 3

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01);

G21C 3/328 (2006.01)

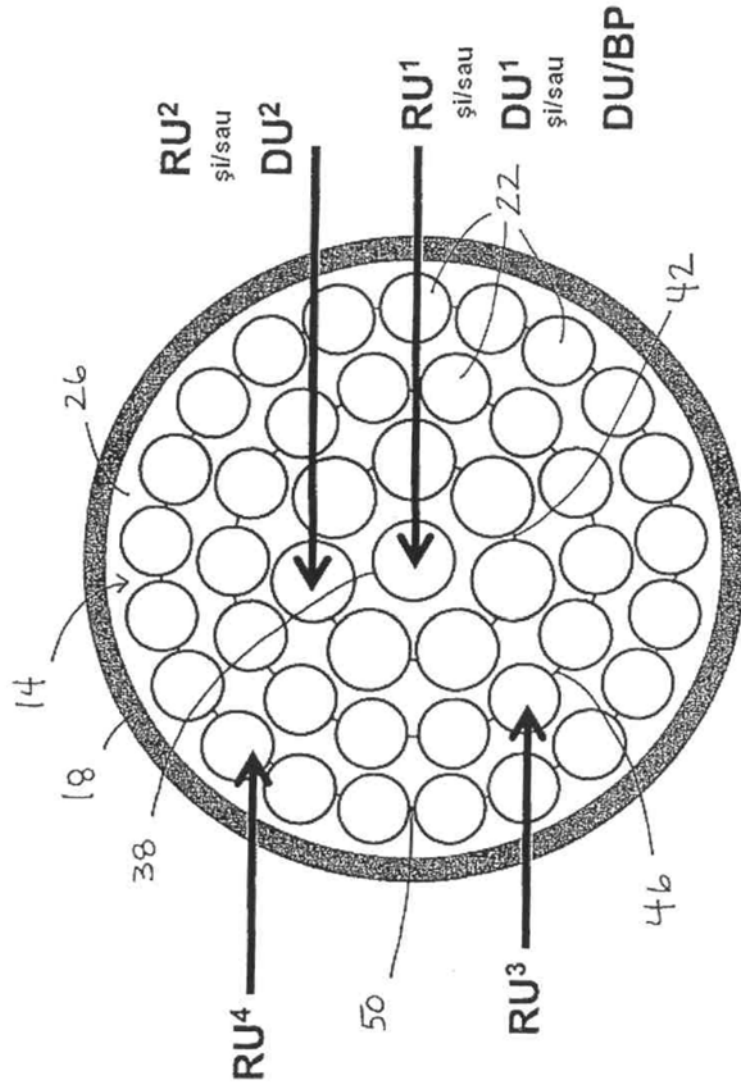


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G21C 3/326 (2006.01),

G21C 3/328 (2006.01)

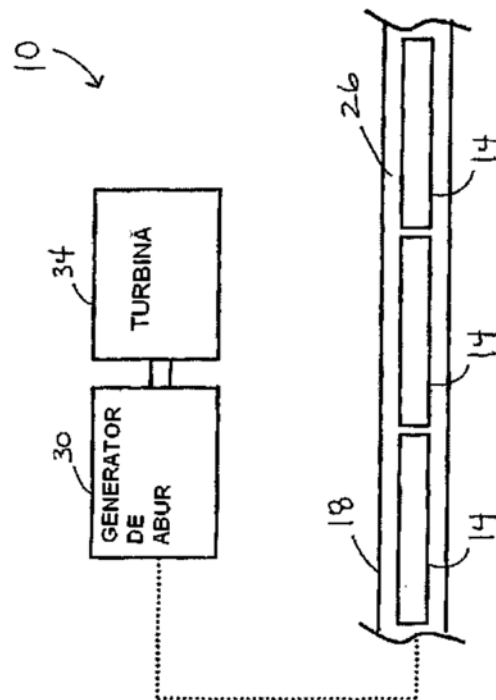


Fig. 5

