



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00361

(22) Data de depozit: 15.11.2010

(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

(71) Solicitant:  
• ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED,  
2251 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,  
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:  
NESTOR NESTOR DICULESCU KINGSTON  
PETERSEN - CONSILIERE ÎN P.I. S.R.L.,  
ȘOS. BUCUREȘTI PLOIEȘTI NR. 1A,  
BUCHAREST BUSINESS PARK, CORP A,  
ET. 1, CAMERELE 9 ȘI 10, BUCUREȘTI

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

(57) Rezumat:

Invenția se referă la fascicule de combustibil pentru un reactor nuclear. Fasciculul de combustibil, într-o variantă de realizare a invenției, 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, amestecate, au un prim conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Fasciculul de combustibil, într-o altă variantă de realizare a invenției, cuprinde un prim element de combustibil incluzând uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și un al doilea element de combustibil incluzând cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, al doilea element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil de nu mai mult de 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

Revendicări inițiale: 80  
Revendicări amendate: 80  
Figuri: 5

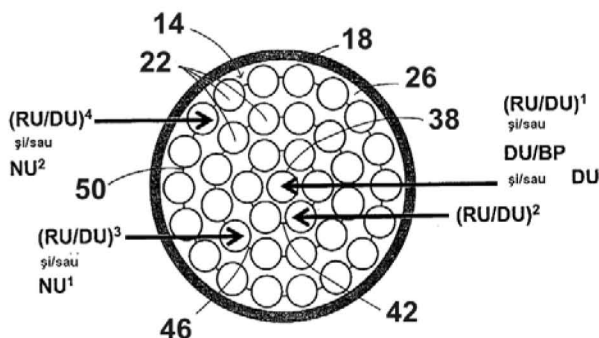
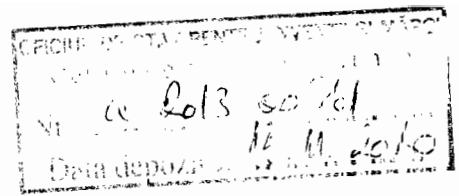


Fig. 1

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





## **COMBUSTIBIL NUCLEAR CU CONȚINUT DE URANIU RECICLAT ȘI SĂRĂCIT, ȘI FASCICUL DE COMBUSTIBIL NUCLEAR ȘI REACTOR NUCLEAR CONȚINÂND UN ASTFEL DE FASCICUL**

Reactoarele nucleare generează energie printr-o reacție nucleară în lanț (i.e., fisiune nucleară) prin care un neutron liber este absorbit de nucleul unui atom fisionabil, precum Uranium-235 ( $^{235}\text{U}$ ). 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 fisionabili, generând o reacție nucleară în lanț, după cum este bine înțeles din stadiul tehnicii. Energia termică eliberată prin reacția nucleară în lanț este convertită în energie electrică prin intermediul unei serii de alte procese, de asemenea, cunoscute specialiștilor în domeniu.

Apariția reactoarelor cu putere nucleară adaptate să ardă combustibil nuclear având niveluri cu conținut fisionabil scăzut (ex., atât de scăzut cât cel al uraniului natural) a generat 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 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 un contrast puternic față de stocarea acestuia în instalații scumpe și cu contaminare limitată cu deșeuri nucleare.

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

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

Unele moduri de realizare a prezentei invenții asigură un fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear, în care fasciculul de combustibil cuprinde un prim element de combustibil incluzând uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$ ; și un al doilea element de combustibil incluzând 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 greutate  $^{235}\text{U}$ .

În unele moduri 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-unul sau mai multe tuburi de apă sub presiune care trec peste fasciculele de combustibil, absorb căldura de la fasciculele de combustibil, și acționează la ieșirea din fasciculele de combustibil.

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

FIG. 1 reprezintă o vedere în secțiune transversală a unui prim mod de realizare a unui fascicul de combustibil nuclear conform invenției, arătând un număr de posibile 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 arătând, 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 arătând, 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 arătând, 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 Figurile 1–4.

Înainte ca fiecare dintre modurile de realizare a invenției să fie explicate în detaliu, trebuie să se înțeleagă că invenția nu este limitată în aplicarea sa la detaliile modului de realizare și a aranjării componentelor prezentate în descrierea următoare 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 feluri.

În prezenta este dezvăluit un număr de combustibili nucleari conform diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții. Acești combustibili pot fi utilizați într-o varietate de reactoare nucleare și sunt descriși aici prin referință la reactoarele cu apă grea sub presiune. Astfel de reactoare pot avea, spre exemplu, tuburi orizontale sau verticale sub presiune în care este poziționat combustibilul. Un exemplu de un astfel de reactor este un reactor nuclear Canadian Deuterium Uranium (CANDU), 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 diferiții combustibili nucleari ai prezentei invenții. În consecință, astfel de reactoare sunt descrise aici doar pentru exemplificare, înțelegându-se că diferiții combustibili ai prezentei invenții pot fi arși în alte tipuri de reactoare nucleare.

În mod similar, diferiții combustibili ai prezentei invenții 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 moduri de realizare a prezentei invenții sunt indicate prin reperul 22 în Fig. 1-4 și sunt descrise mai în detaliu mai jos. În cazul combustibilului conținut în tuburi, tuburile pot fi făcute 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 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 poate transfera căldura către echipamentul din aval (ex. un generator 30 de abur), pentru a acționa un motor primar (ex. o turbină 34) în vederea producerii de energie electrică.

Cererea de brevet de invenție canadiană nr. 2174983, depusă pe 25 aprilie 1996, 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 canadiene nr. 2174983 este inclus aici prin referință.

Diferenții combustibili nucleari ai prezentei invenții pot fi utilizați (ex. amestecați) 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 de pulbere sau în oricare altă formă convenabilă sau într-o combinație de forme. În alte moduri de realizare, combustibilii prezentei invenții iau forma unei tije, cum ar fi o tijă de 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 prezentei invenții pot include o combinație de tuburi și tije și/sau alte tipuri de elemente.

După cum este descris mai în detaliu în continuare, combustibilii conform diferitelor moduri de realizare a prezentei invenții pot include diferite combinații de combustibili nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU) și uraniu reprocessat sau reciclat (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 în greutate, dacă nu este specificat altfel. De asemenea, după cum se definește aici, DU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate

la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$  (incluzând aproximativ 0,2% în greutate și aproximativ 0,5% în greutate), NU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ , și RU are un conținut fisionabil de aproximativ 0,72% în greutate la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  (incluzând aproximativ 0,72% în greutate și aproximativ 1,2% în greutate).

### Uraniu reciclat

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

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

RU include adesea impurități chimice (ex. gadolinium) cauzate de placarea combustibilului, doparea combustibilului și metodele de separare și purificare utilizate pe RU. Aceste impurități chimice pot include cantități foarte mici de izotopi transuranici, cum ar fi plutoniu-238 ( $^{238}\text{Pu}$ ),  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ , neptuniu-237 ( $^{237}\text{Np}$ ), americiu-241 ( $^{241}\text{Am}$ ), curiu-242 ( $^{242}\text{Cm}$ ) și produși de fisiune, cum ar fi zirconiu-95/niobiu-95 ( $^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$ ), ruteniu-103 ( $^{103}\text{Ru}$ ),  $^{106}\text{Ru}$ , cesiu-134 ( $^{134}\text{Cs}$ ),  $^{137}\text{Cs}$ , și tehneciū-99 ( $^{99}\text{Tc}$ ). Alte impurități prezente adesea în RU includ: aluminiu (Al), bor (B), cadmiu (Cd), calciu

(Ca), carbon (C), clor (Cl), crom (Cr), cupru (Cu), disprosiu (Dy), fluor (F), fier (Fe), magneziu (Mg), mangan (Mn), molibden (Mo), nichel (Ni), azot (N), fosfor (P), potasiu (K), siliciu (Si), sodiu (Na), sulf (S) și toriu (Th).

### **Uraniu sărăcit**

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

### **Combustibil amestecat**

Se va aprecia că în multe aplicații, conținutul de uraniu al multor combustibili nucleari este prea mare sau prea scăzut pentru a permite acestor combustibili să fie arși într-un număr de reactoare nucleare. În mod asemănător, componentele constituente ale RU ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ , și  $^{238}\text{U}$ ) precum și impuritățile descrise mai sus ( $^{232}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ , și  $^{237}\text{U}$ ) care se găsesc în mod obișnuit în RU pot împiedica RU să devină un combustibil viabil în multe reactoare. Cu toate acestea, inventatorii au descoperit că prin amestecarea RU cu DU, conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  din combustibilul nuclear rezultat poate fi adus la 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 (ex. 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  $^{235}\text{U}$  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 moduri 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  $^{235}\text{U}$ . În astfel de combustibili, RU poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,1% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . Și în alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În fiecare din aceste moduri de realizare, DU al unor astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

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

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



greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU în acești combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,1% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de la aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ . În alte moduri de realizare, RU în astfel de combustibili poate avea un conținut fisionabil de aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

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

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

Combustibilii nucleari potrivit diferitelor moduri de realizare ale prezentei invenții pot 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 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 descrise în prezenta.

### **Construirea fasciculului de combustibil**

Amestecarea combustibilului nuclear (potrivit celor descrise mai sus) este o modalitate puternică de a produce combustibili nucleari proaspeți din RU, de altfel,

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

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

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

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

În exemplele de realizare din Figurile 1 și 2, este ilustrat un fascicul de combustibil cu 37 de elemente în care toate elementele 22 de combustibil au o dimensiune uniformă în secțiune transversală (sau diametru, în cazul elementelor având o formă rotundă în secțiune transversală). Prima multitudine de elemente 42 din fiecare dintre Figurile 1 și 2 include șase elemente dispuse paralel unele față de altele, într-un model în general circular. A doua multitudine de elemente 46 din fiecare dintre Figurile 1 și 2 include douăsprezece elemente, de asemenea, aranjate paralel unele față de altele într-un model, în general, circular. A treia multitudine de elemente 50 din fiecare dintre Figurile 1 și 2 include optsprezece elemente de asemenea, aranjate paralel unele cu altele într-un model, în general, circular. Elementul 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 dispuse paralel unele cu altele. De asemenea, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în Figurile 1 – 2 indicând poziția general circulară a elementelor 22 sunt date doar în scop exemplificativ și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele 22 sunt legate împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

În modul de realizare din Figurile 3 și 4, este ilustrat un fascicul 14 de combustibil cu 43 de elemente. Prima multitudine de elemente 42 din fiecare dintre Figurile 3 și 4

include șapte elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model, în general, circular. A doua multitudine de elemente 46 din fiecare dintre Figurile 3 și 4 include paisprezece elemente aranjate în paralel unele cu altele într-un model în general circular. A treia multitudine de elemente 50 din fiecare dintre Figurile 3 și 4 include douăzeci și un de elemente dispuse paralel unele cu 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 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 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 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 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 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, trebuie să se înțeleagă că liniile incluse în Figurile 3 și 4 indicând poziția general circulară a elementelor 22 sunt date doar în scop exemplificativ și că acestea nu indică, în mod necesar, că elementele sunt legate împreună sau sunt altfel cuplate într-un aranjament special.

În anumite moduri de realizare, fiecare dintre elementele 22 de combustibil din Figurile 1-4 include un tub umplut cu combustibil nuclear. Tubul poate fi realizat din sau poate include zirconiu, un aliaj de zirconiu sau alt material convenabil sau o combinație de materiale, fiind în anumite cazuri caracterizat prin absorbție mică de neutroni. Tubul poate să fie umplut cu unul sau mai multe materiale, cum ar fi combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale. Materialul(ele) poate(pot) fi sub formă de pelete, sub formă de pulbere sau sub altă formă convenabilă sau combinații de forme. În alte exemple de realizare, fiecare dintre elementele 22 de combustibil include o tijă formată dintr-unul sau mai multe materiale (ex. combustibil nuclear simplu sau în combinație cu alte materiale), cum ar fi combustibil nuclear conținut în matricea unui alt material. De

asemenea, în anumite forme de realizare, elementele 22 de combustibil dintr-un fascicul 14 pot include o combinație de tuburi sau tije și/sau alte elemente conținând combustibil și elementele 22 de combustibil pot lua alte configurații potrivite unei aplicații speciale.

După cum este arătat în Figurile 1-4, elementele 22 de combustibil pot include diverse combinații de combustibili nucleari, cum ar fi uraniu sărăcit (DU), uraniu natural (NU), uraniu reprocessat sau reciclat (RU). Făcând mai întâi referire la FIG. 1, fasciculul 14 de combustibil ilustrat în aceasta include 37 de elemente. Elementul central 38 din FIG. 1 include un amestec de RU și DU având un prim conținut fisionabil (i.e., (RU/DU)<sup>1</sup>) și/sau un amestec de DU și o otrăvă 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 (i.e., (RU/DU)<sup>2</sup>). A doua multitudine de elemente 46 include un amestec de RU și DU având un al treilea conținut fisionabil (i.e., (RU/DU)<sup>3</sup>) și/ sau NU având un prim conținut fisionabil (i.e., NU<sup>1</sup>). A treia multitudine de elemente 50 include un amestec de RU și DU având un al patrulea conținut fisionabil (i.e., (RU/DU)<sup>4</sup>) și/sau NU având un al doilea conținut fisionabil (i.e., NU<sup>2</sup>).

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

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

treia multitudine de elemente 50 poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}\text{U}$  decât orice  $\text{NU}^1$  inclus în a doua multitudine de elemente 46.

În plus, în anumite moduri 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 (ex., într-o direcție radială din fasciculul 14 de combustibil) sau de-a lungul lungimii longitudinale a fasciculului 14 de combustibil. De asemenea, o BP poate fi inclusă în oricare dintre sau în toate elementele 22 de combustibil din FIG. 1, precum în elementul central 38, așa cum a fost ilustrat.

Următoarele aranjamente de fascicul de combustibil se bazează pe modurile de realizare a fasciculului de combustibil ilustrat în FIG. 1, și sunt prezentate ca exemple de fascicule de combustibil având caracteristici care sunt, în mod special, dorite, dar nu trebuie avute în vedere ca limitând scopul prezentei invenții sau celelalte moduri de realizare posibile avute în vedere în FIG. 1. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element 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:	(RU/DU) <sup>1</sup>
Primul inel de elemente 42:	(RU/DU) <sup>2</sup>
Al 2-lea inel de elemente 46:	(RU/DU) <sup>3</sup>
Al 3-lea inel de elemente 50:	(RU/DU) <sup>4</sup>

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

#### EXEMPLUL #3

Element central:	(RU/DU) <sup>1</sup>
Primul inel de elemente 42:	(RU/DU) <sup>2</sup>

Al 2-lea inel de elemente 46: (RU/DU)<sup>3</sup>

Al 3-lea inel de elemente 50: NU

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

#### EXEMPLUL #4

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

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

Al 2-lea inel de elemente 46: NU

Al 3-lea inel de elemente 50: (RU/DU)<sup>3</sup>

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

#### EXEMPLUL #5

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

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

Al 2-lea inel de elemente 46: NU

Al 3-lea inel de elemente 50: NU

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

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 (i.e., RU<sup>1</sup>) și/ sau DU având un prim conținut fisionabil (i.e., DU<sup>1</sup>). Prima multitudine de elemente 42 din FIG. 2 include RU având un al doilea conținut fisionabil (i.e., RU<sup>2</sup>) și/ sau DU având un al doilea conținut fisionabil (i.e., DU<sup>2</sup>). A doua multitudine de elemente 46 include RU având un al treilea conținut fisionabil (i.e., RU<sup>3</sup>). A treia multitudine de elemente 50 include RU având un al patrulea conținut fisionabil (i.e., RU<sup>4</sup>).

Conținuturile fisionabile de <sup>235</sup>U ale RU incluse în fiecare element 22 de combustibil pot fi aproximativ aceleași și/sau se pot modifica. În acele moduri de realizare în care conținutul fisionabil de <sup>235</sup>U al RU din FIG. 2 se modifică, această modificare poate apărea cu distanța radială de la centrul 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 moduri de realizare,  $RU^1$  inclus în elementul central 38, are, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}U$  decât  $RU^2$  inclus în prima multitudine de elemente 42, amestecul  $RU^2$  inclus în prima multitudine de elemente 42 are, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}U$  decât  $RU^3$  inclus în a doua multitudine de elemente 46, și/ sau  $RU^3$  inclus în a doua multitudine de elemente 46 are, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}U$  decât  $RU^4$  inclus în a treia multitudine de elemente 50. Prin urmare, în anumite moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}U$  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 moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}U$  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  $^{235}U$  situat în general între și incluzând aproximativ de la 0,72% până la aproximativ 1,2% de  $^{235}U$ . Doar ca exemplu, conținutul fisionabil de  $RU^1$  inclus în elementul central 38 este ales din intervalul definit mai sus pentru  $RU$ , iar conținutul fisionabil al  $RU^2$  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 ca titlu de exemplu, orice  $DU^1$  inclus în elementul central 38 poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}U$  decât orice  $DU^2$  inclus în a doua multitudine de elemente 42. Alternativ, orice  $DU^2$  inclus în a doua multitudine de elemente 42 poate avea, în general, un procent mai scăzut de  $^{235}U$  decât orice  $DU^1$  inclus în elementul central 38.

În plus, în anumite moduri 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 moduri de realizare posibile avute în vedere în FIG. 2. Potrivit utilizării de aici, termenul “inel” include doar un element central.

#### EXEMPLUL #6

Elementul central:	DU <sup>1</sup>
Primul inel de elemente 42:	DU <sup>2</sup>
Al 2-lea inel de elemente 46:	RU <sup>1</sup>
Al 3-lea inel de elemente 50:	RU <sup>2</sup>

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

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 moduri 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)<sup>1</sup>  
 Al 2-lea inel de elemente 46: (RU/DU)<sup>2</sup>  
 Al 3-lea inel de elemente 50: (RU/DU)<sup>3</sup>

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

EXEMPLUL #11

Elementul central: DU  
 Primul inel de elemente 42: (RU/DU)<sup>1</sup>  
 Al 2-lea inel de elemente 46: (RU/DU)<sup>2</sup>  
 Al 3-lea inel de elemente 50: (RU/DU)<sup>3</sup>

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

EXEMPLUL #12

Element central:	DU/BP
Primul inel de elemente 42:	(RU/DU) <sup>1</sup>
al 2-lea inel de elemente 46:	(RU/DU) <sup>2</sup>
al 3-lea inel de elemente 50:	NU

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

#### EXEMPLUL #13

Element central:	DU/BP
Primul inel de elemente 42:	(RU/DU) <sup>1</sup>
al 2-lea inel de elemente 46:	NU
al 3-lea inel de elemente 50:	(RU/DU) <sup>2</sup>

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

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 prezența 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.

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 moduri de realizare posibile avute în vedere în FIG. 4. Potrivit utilizării de aici, termenul "inel" include doar un element central.

#### EXEMPLUL #14

Elementul central:	DU/BP
Primul inel de elemente 42:	RU
Al 2-lea inel de elemente 46:	RU
Al 3-lea inel de elemente 50:	RU

#### EXEMPLUL #15

Elementul central:	DU
Primul inel de elemente 42:	RU
Al 2-lea inel de elemente 46:	RU
Al 3-lea inel de elemente 50:	RU

EXEMPLUL #16

Elementul central:	DU
Primul inel de elemente 42:	DU
Al 2-lea inel de elemente 46:	RU
Al 3-lea inel de elemente 50:	RU

Modurile de realizare din Figurile 3 și 4 prezintă exemple ale modurilor în care un anumit număr de elemente de combustibil, aranjarea elementului de combustibil (ex. 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 moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  al combustibilului nuclear scade într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil. În alte moduri de realizare, conținutul fisionabil de  $^{235}\text{U}$  crește într-o direcție radială către exterior dinspre centrul fasciculului 14 de combustibil.

În reactoarele răcite cu apă grea, viteza de multiplicare a neutronilor crește când apar 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 moduri 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  $^{235}\text{U}$  (incluzând aproximativ 0,9% în greutate și aproximativ 3% în greutate) și LEU are un conținut fisionabil de la aproximativ 3% în greutate până la aproximativ 20% în greutate de  $^{235}\text{U}$  (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 Figurile 1-4. De exemplu, deși modurile de realizare din Figurile 3 și 4 utilizează două dimensiuni diferite ale elementelor în fasciculele 14 de combustibil ilustrate, pe când modurile de realizare din Figurile 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 diferite inele și/ sau diferite poziții circulare din cadrul fasciculelor de combustibil, fără a se îndepărta de la spiritul și scopul prezentei invenții. Ca alt exemplu, elemente de dimensiuni mai mare nu trebuie să fie, în mod necesar, situate doar în primul și / sau în al doilea inel al unui fascicul 14 de combustibil. În alte moduri de realizare, aceste dimensiuni ale elementelor relativ mai mari sunt situate în inelele exterioare radiale ale fasciculului 14 de combustibil (ex., inel situat radial către exterior și/ sau inel adiacent acestuia).

## REVEDICĂRI

1. Fascicul de combustibil pentru reactor nuclear, fascicul de combustibil cuprinzând:  
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 de mai puțin de 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care 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, în care a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu sărăcit.
4. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
5. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-4, în care 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, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

7. Fascicul de combustibil conform revendicării 5, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include un al doilea amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit având un al doilea conținut fisionabil.
8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care al doilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
9. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 5-8, în care 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, care 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, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
12. Fascicul de combustibil conform revendicării 10, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include un al treilea amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit având un al treilea conținut fisionabil.
13. Fascicul de combustibil conform revendicării 12, în care al treilea conținut fisionabil este mai mare decât al doilea conținut fisionabil.
14. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 10-13, în care 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.



15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-14, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fascicului de combustibil.

16. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include uraniu sărăcit.

17. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.

18. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.

19. Fascicul de combustibil conform revendicării 18, în care conținutul fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit al elementului central este mai mic decât primul conținut fisionabil.

20. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care multitudinea de elemente de combustibil include un inel de șapte tuburi semnificativ paralele fiecare conținând amestecul format din prima și a doua componentă de combustibil.

21. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 2 sau 20, în care 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 situate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

22. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

23. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include un al doilea amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit având un al doilea conținut fisionabil.

24. Fascicul de combustibil conform revendicării 23, în care al doilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.

25. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-24, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

26. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-25, în care 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.

27. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-26, cuprinzând 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.

28. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate <sup>235</sup>U.

29. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit având un conținut fisionabil.

30. Fascicul de combustibil conform revendicării 29, în care 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, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzeci și unu 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, în care 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, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.

34. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include uraniu sărăcit.

35. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.

36. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit având un conținut fisionabil.

37. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care 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 cuprinzând:  
un prim element de combustibil incluzând uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$ ; și

un al doilea element de combustibil incluzând cel puțin unul dintre uraniu sărăcit și uraniu natural, al doilea element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil de nu mai mult de 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

39. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,72% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

40. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,8% în greutate de  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,1% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .

41. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aprox. 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

42. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

43. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-42, în care al doilea conținut fisionabil este de la aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

44. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-43, în care al doilea element de combustibil include o otravă inflamabilă.

45. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-44, în care primul element de combustibil este unul dintr-o multitudine de elemente de combustibil conținând uraniu reciclat și aranjate într-un inel.

46. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudine de elemente de combustibil include șase tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.

47. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-46, în care cel de-al doilea element de combustibil include un tub ca element central care conține uraniu sărăcit poziționat radial către interior dinspre multitudinea de elemente de combustibil.

48. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-47, cuprinzând în plus o a doua multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat având un al treilea conținut fisionabil.

49. Fascicul de combustibil conform revendicării 48, în care al treilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.

50. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48-49, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat având al treilea conținut fisionabil și poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

51. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48-50, cuprinzând în plus o a treia multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat având un al patrulea conținut fisionabil.

52. Fascicul de combustibil conform revendicării 51, în care al patrulea conținut fisionabil este mai mare decât cel de-al treilea conținut fisionabil.

53. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 51-52, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat având al patrulea conținut fisionabil și poziționate radial către exterior dinspre cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.

54. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniul reciclat.

55. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-46, în care al doilea element de combustibil include o a doua multitudine de elemente de combustibil conținând uraniul sărăcit.

56. Fascicul de combustibil conform revendicării 54, în care 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 conținând uraniu sărăcit în șase tuburi semnificativ paralele și poziționate radial către interior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

57. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 54-56, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.

58. Fascicul de combustibil conform revendicării 57, în care elementul central include uraniu sărăcit având un al treilea conținut fisionabil.

59. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57-58, în care elementul central include un tub care conține uraniu sărăcit.

60. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57-59, cuprinzând în plus o multitudine suplimentară de elemente de combustibil incluzând uraniul reciclat având un conținut fisionabil.

61. Fascicul de combustibil conform revendicării 60, în care conținutul fisionabil al multitudinii suplimentare de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.

62. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 60-61, în care multitudinea suplimentară de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre primul element de combustibil.

63. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include șapte tuburi semnificativ paralele care conțin uraniul reciclat.
64. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63, în care al doilea element de combustibil include un tub element central care conține uraniu sărăcit poziționat radial către interior dinspre multitudinea de elemente de combustibil.
65. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63-64, cuprinzând în plus o a doua multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat având un al treilea conținut fisionabil.
66. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care al treilea conținut fisionabil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
67. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-66, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniul reciclat, având al treilea conținut fisionabil.
68. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-67, cuprinzând în plus o a treia multitudine de elemente de combustibil care include uraniu reciclat având un conținut fisionabil.
69. Fascicul de combustibil conform revendicării 68, în care conținutul fisionabil al celei de-a treia multitudini de elemente de combustibil este mai mare ca cel de-al treilea conținut fisionabil.
70. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 68-69, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzeci și unu de tuburi paralele care conțin uraniu reciclat și are o poziție radială către exterior de la a doua multitudine de elemente de combustibil.

71. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele care conțin uraniu reciclat.

72. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45 sau 71, în care 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, în care 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.

74. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 71-73, cuprinzând în plus un element central.

75. Fascicul de combustibil conform revendicării 74, în care elementul central include uraniu sărăcit având un al treilea conținut fisionabil.

76. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-75, în care elementul central include un tub care conține uraniul sărăcit.

77. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-76, cuprinzând în plus o multitudine suplimentară de elemente de combustibil care includ uraniu reciclat având un al patrulea conținut fisionabil.

78. Fascicul de combustibil conform revendicării 77, în care al patrulea conținut fisionabil este aproximativ mai mare decât primul conținut fisionabil.

79. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 77-78, în care multitudinea suplimentară de elemente de combustibil include douăzeci și unu de tuburi



semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

80. Un reactor nuclear cuprinzând:

un tub de fluid sub presiune; și

fasciculul de combustibil al oricăreia dintre revendicările 1-79.

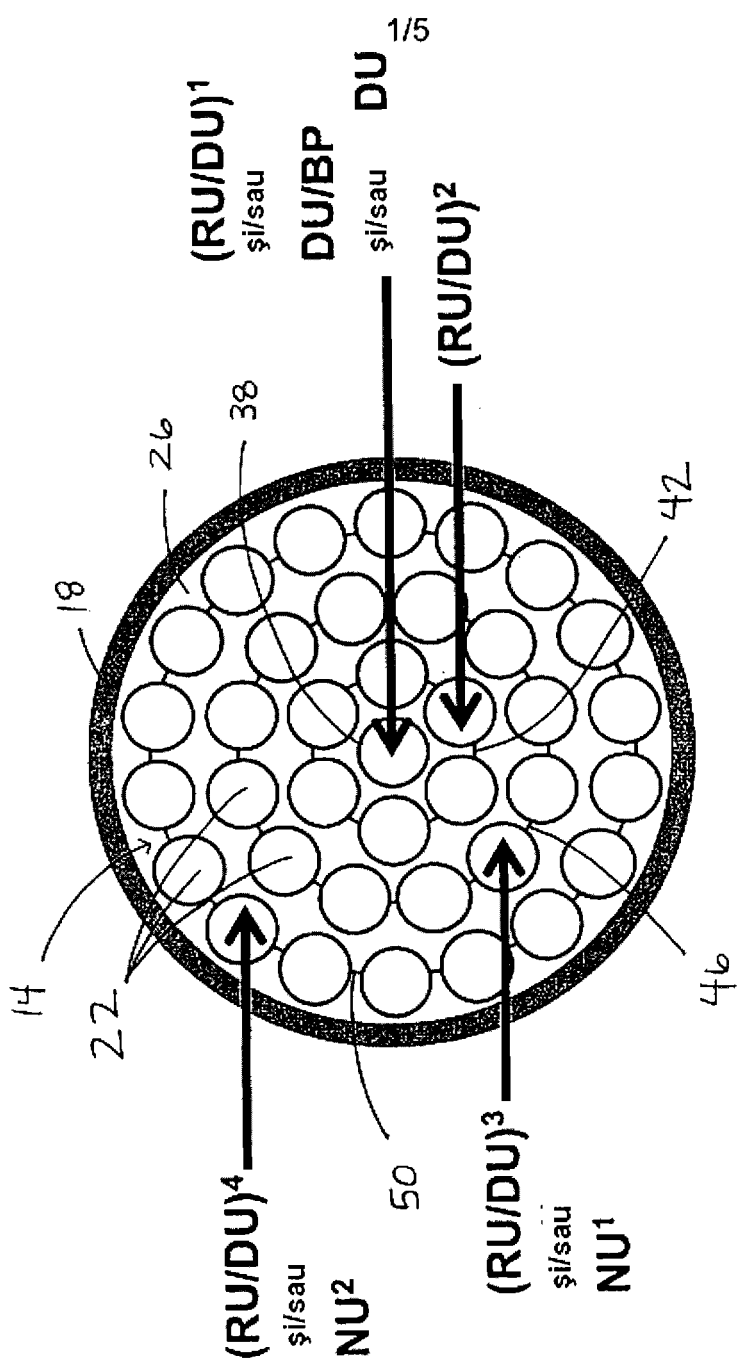


FIG. 1

2/5

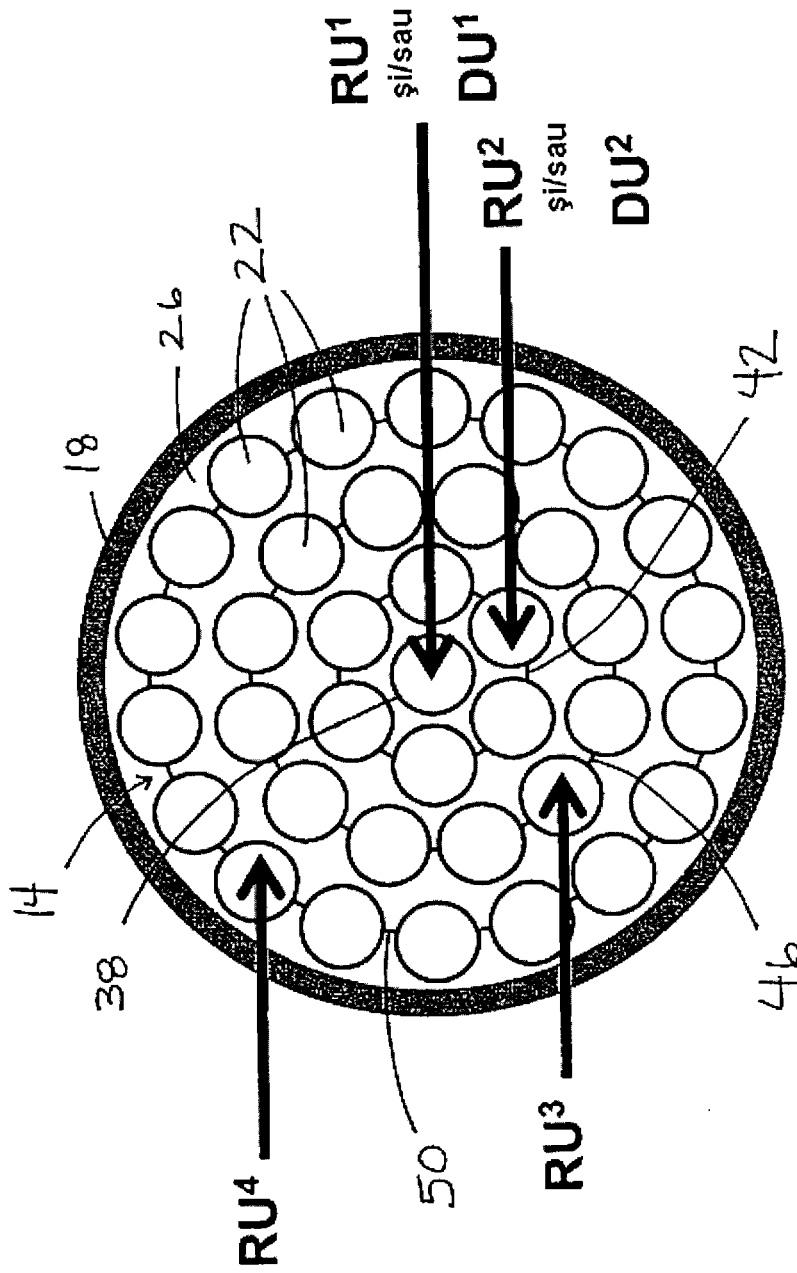


FIG. 2

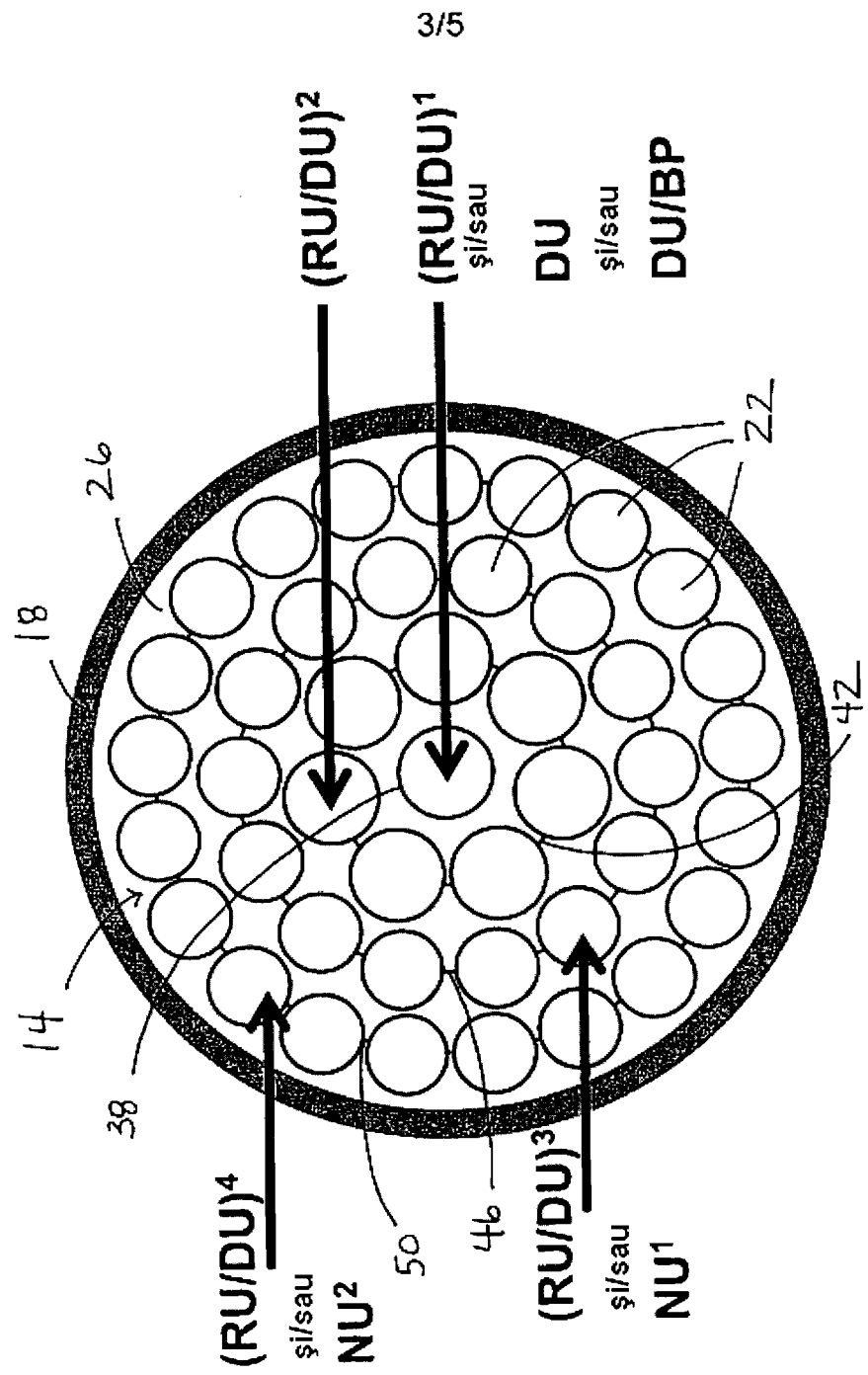


FIG. 3

4/5

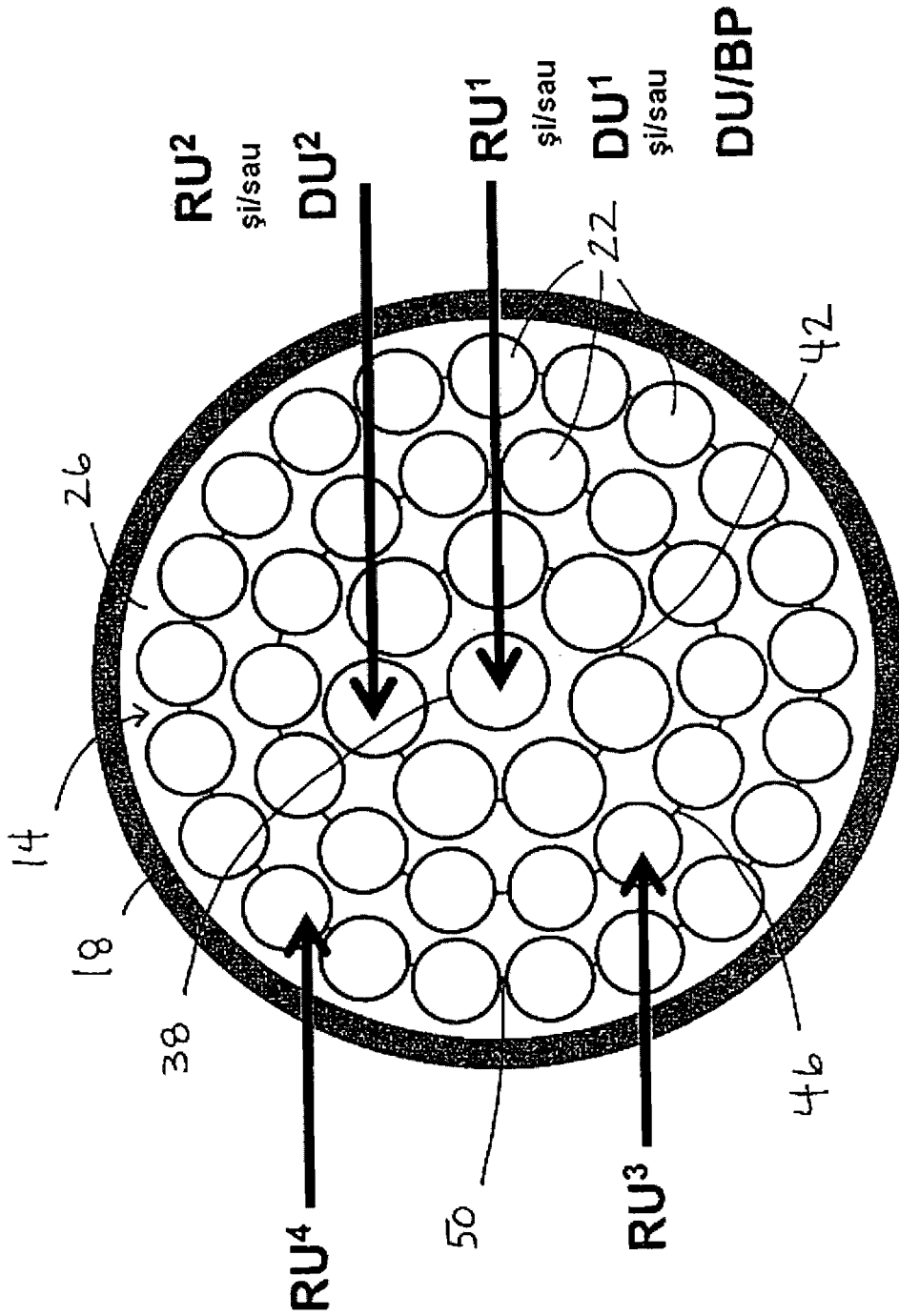


FIG. 4

5/5

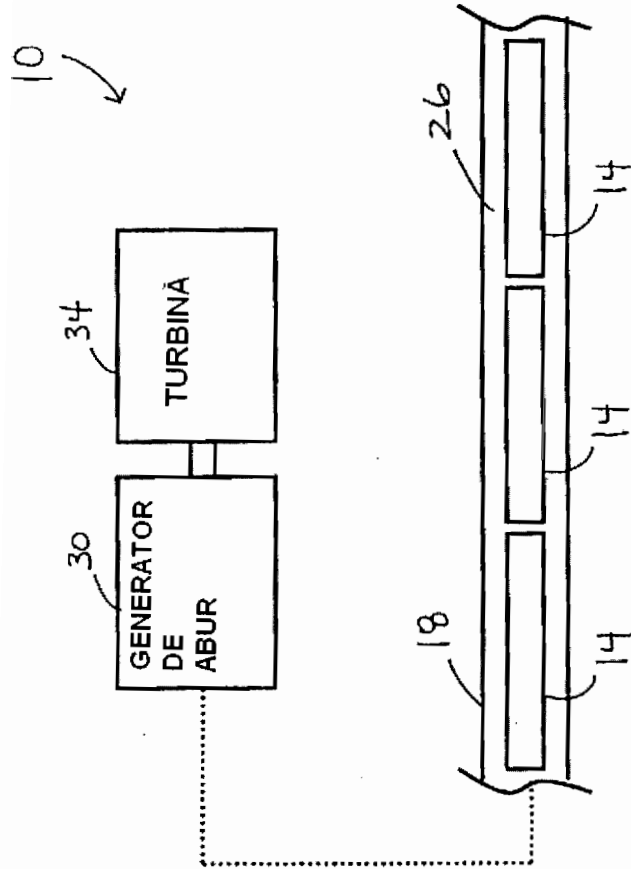


FIG. 5

## REVEDICĂRI AMENDATE

1. Fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear, fascicul de combustibil cuprinzând:  
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 un uraniu sărăcit și un uraniu natural amestecate cu prima componentă de combustibil,  
în care prima și a doua componentă de combustibil amestecate au un prim conținut fisionabil de mai puțin de 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
2. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care multitudinea elementelor de combustibil include un inel de șase tuburi semnificativ paralele, fiecare conținând amestecul din prima și din a doua componentă de combustibil.
3. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu sărăcit.
4. Fascicul de combustibil conform revendicării 2, în care a doua componentă de combustibil cuprinde uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .
5. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-4, în care 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, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

7. Fascicul de combustibil conform revendicării 5, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.
8. Fascicul de combustibil conform revendicării 7, în care un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit în cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
9. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 5-8, în care 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, care 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, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .
12. Fascicul de combustibil conform revendicării 10, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.
13. Fascicul de combustibil conform revendicării 12, în care 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 cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.
14. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 10-13, în care 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.



15. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 1-14, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.
16. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include uraniu sărăcit.
17. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.
18. Fascicul de combustibil conform revendicării 15, în care elementul central include un amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit.
19. Fascicul de combustibil conform revendicării 18, în care un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit al elementului central este mai mic decât primul conținut fisionabil.
20. Fascicul de combustibil conform revendicării 1, în care multitudinea de elemente de combustibil include un inel de șapte tuburi semnificativ paralele fiecare conținând amestecul primei și celei de-a doua componente de combustibil.
21. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 2 sau 20, în care 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 situate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.
22. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural cu un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
23. Fascicul de combustibil conform revendicării 21, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit.

24. Fascicul de combustibil conform revendicării 23, în care un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și uraniu sărăcit în cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
25. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-24, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.
26. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-25, în care cel puțin o una din a doua multitudine de elemente de combustibil este diferită ca dimensiune în secțiune transversală față de cea a cel puțin o componentă din prima multitudine de elemente de combustibil.
27. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 21-26, cuprinzând 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.
28. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include uraniu natural având un conținut fisionabil de aproximativ 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
29. Fascicul de combustibil conform revendicării 27, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include un amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit.
30. Fascicul de combustibil conform revendicării 29, în care un conținut 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.
31. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 27-30, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzeci și unu 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, în care cel puțin o una 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, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.

34. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include uraniu sărăcit.

35. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include un amestec de uraniu sărăcit și otravă inflamabilă.

36. Fascicul de combustibil conform revendicării 33, în care elementul central include un amestec de uraniu reciclat și uraniu sărăcit.

37. Fascicul de combustibil conform revendicării 36, în care un conținut fisionabil al amestecului de uraniu reciclat și de uraniu sărăcit al elementului central este mai mic decât primul conținut fisionabil.

38. Fascicul de combustibil pentru un reactor nuclear cuprinzând:  
un prim element de combustibil incluzând uraniu reciclat, primul element de combustibil având un prim conținut fisionabil de nu mai puțin de 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$ ; și  
un al doilea element de combustibil incluzând cel puțin un uraniu sărăcit și uraniu natural, al doilea element de combustibil având un al doilea conținut fisionabil de nu mai mult de 0,71% în greutate  $^{235}\text{U}$ .

39. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,72% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,2% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
40. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,8% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,1% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
41. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de la aproximativ 0,9% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 1,0% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
42. Fascicul de combustibil conform revendicării 38, în care primul conținut fisionabil este de aproximativ 0,9% în greutate de  $^{235}\text{U}$ .
43. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-42, în care al doilea conținut fisionabil este de la aproximativ 0,2% în greutate  $^{235}\text{U}$  până la aproximativ 0,5% în greutate  $^{235}\text{U}$ .
44. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-43, în care al doilea element de combustibil include o otravă inflamabilă.
45. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 38-44, în care primul element de combustibil este un element dintr-o multitudine de elemente de combustibil conținând uraniu reciclat și aranjat într-un inel.
46. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudine de elemente de combustibil include șase tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.
47. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-46, în care 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.

48. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-47, cuprinzând în plus o a doua multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat.
49. Fascicul de combustibil conform revendicării 48, în care un conținut fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
50. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48-49, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.
51. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 48-50, cuprinzând în continuare o a treia multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat.
52. Fascicul de combustibil conform revendicării 51, în care un conținut 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.
53. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 51-52, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre cea de-a doua multitudine de elemente de combustibil.
54. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include douăsprezece tuburi semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat.

55. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45-46, în care al doilea element de combustibil include o a doua multitudine de elemente de combustibil conținând uraniul sărăcit.
56. Fascicul de combustibil conform revendicării 55, în care 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 conținând uraniu sărăcit în șase tuburi semnificativ paralele și poziționate radial către interior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.
57. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 54-56, cuprinzând în plus un element central situat în centrul fasciculului de combustibil.
58. Fascicul de combustibil conform revendicării 57, în care elementul central include uraniu sărăcit.
59. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57-58, în care elementul central include un tub care conține uraniu sărăcit.
60. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 57-59, cuprinzând în plus o multitudine suplimentară de elemente de combustibil incluzând uraniul reciclat.
61. Fascicul de combustibil conform revendicării 60, în care un conținut fisionabil al multitudinii suplimentare de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
62. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 60-61, în care multitudinea suplimentară de elemente de combustibil include optsprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre primul element de combustibil.

63. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include șapte tuburi semnificativ paralele care conțin uraniul reciclat.
64. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63, în care al doilea element de combustibil include un tub element central care conține uraniu sărăcit poziționat radial către interior dinspre multitudinea de elemente de combustibil.
65. Fascicul de combustibil conform revendicărilor 45 sau 63-64, cuprinzând în plus o a doua multitudine de elemente de combustibil incluzând uraniu reciclat.
66. Fascicul de combustibil conform revendicării 65, în care un conținut fisionabil al celei de-a doua multitudini de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
67. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-66, în care a doua multitudine de elemente de combustibil include paisprezece tuburi semnificativ paralele conținând uraniul reciclat.
68. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 65-67, cuprinzând în plus o a treia multitudine de elemente de combustibil care include uraniu reciclat.
69. Fascicul de combustibil conform revendicării 68, în care un conținut fisionabil al celei de-a treia multitudini a elementelor de combustibil este mai mare decât un conținut fisionabil al celei de-a doua multitudini de elementele de combustibil.
70. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 68-69, în care a treia multitudine de elemente de combustibil include douăzeci și unu de tuburi paralele care conțin uraniul reciclat și are o poziție radială către exterior de la a doua multitudine de elemente de combustibil.

71. Fascicul de combustibil conform revendicării 45, în care multitudinea de elemente de combustibil include paisprezece tuburi paralele care conțin uraniu reciclat.
72. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 45 sau 71, în care 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, în care 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.
74. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 71-73, cuprinzând în continuare un element central.
75. Fascicul de combustibil conform revendicării 74, în care elementul central include uraniu sărăcit.
76. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-75, în care elementul central include un tub care conține uraniul sărăcit.
77. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 74-76, cuprinzând în plus o multitudine suplimentară de elemente de combustibil care includ uraniu reciclat.
78. Fascicul de combustibil conform revendicării 77, în care un conținut fisionabil al multitudinii suplimentare de elemente de combustibil este mai mare decât primul conținut fisionabil.
79. Fascicul de combustibil conform oricăreia dintre revendicările 77-78, în care multitudinea suplimentară de elemente de combustibil include douăzeci și unu de tuburi



semnificativ paralele care conțin uraniu reciclat și poziționate radial către exterior dinspre prima multitudine de elemente de combustibil.

80. Un reactor nuclear cuprinzând:

un tub de fluid sub presiune; și

fasciculul de combustibil al oricăreia dintre revendicările 1-79.