



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2011

## **TEHNOLOGIE DE EVALUARE EXPERIMENTALĂ A REZISTENȚEI MECANICE LA SARCINI DE COMPRESIUNE A FASCICULULUI COMBUSTIBIL EXPERIMENTAL TIP CANDU**

Tiberiu GYONGYOȘI, Valeriu Nicolae PANAITESCU, Ilie PRISECARU

### **TECHNOLOGY FOR EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE MECHANICAL COMPRESSION RESISTANCE AT CANDU TYPE FUEL BUNDLE**

The paper is referring to the test technology evolution of CANDU experimental fuel bundle at the Institute for Nuclear Research Pitești. The out-of-reactor test rig and the special devices for evaluation of the nuclear fuel mechanical resistance performance at compression loads, using light water at representative parameters (pressure, temperature and flow rate) for CANDU 6 reactor operating conditions, are described.

This paper describes the original improvements implemented and practically applied to mechanical resistance of carrier fuel bundle validation technology. Some results and conclusions are presented at the end.

Keywords: strength, loop testing, simulation stops, fuel transporter beam

Cuvinte cheie: rezistență mecanică, bucla de testare, simulator opritori, fascicul combustibil transportor

#### **1. Introducere**

Încărcarea cu combustibil a reactorului se realizează cu MID-urile în tandem (Mașinile de Încărcat/Descărcat). Un MID primește combustibilul ars iar celălalt încarcă combustibilul proaspăt. Încărcarea

se realizează în echicurent, prin urmare curgerea agentului de răcire printre barele fasciculelor aşezate în tubul de presiune generează o forţă de antrenare hidraulică care se aplică pe barele fasciculului combustibil rezemat pe cei doi opritori ai maşinii de încărcat-descărcat sau, caz accidental, pe un singur opritor.

Fasciculul combustibil CANDU reprezintă o structură spaţială elastică complexă de a cărei capacitate de a-şi păstra integritatea mecanică şi structurală depinde compatibilitatea cu ansamblul canal de combustibil, cu sistemul de manipulare combustibil şi cu sistemul primar de transport al căldurii.

Proiectarea şi acceptarea unui fascicul combustibil experimental CANDU impune realizarea de teste în afara reactorului [1] cu respectarea termohidraulicii canalului de combustibil din reactor.

Pentru încercări, la Institutul de Cercetări Nucleare Piteşti au fost construite: o buclă de testare în afara reactorului şi dispozitivele aferente destinate încercării combustibilului nuclear utilizând apa uşoară la parametri (presiune, temperatură şi debit) reprezentativi pentru operarea reactorului CANDU 6.

Metodele de testare experimentale au fost îmbunătăţite în timp prin modificarea dispozitivelor eliminând pas cu pas disfuncţionalităţile identificate în timpul testelor efectuate, s-a continuat cu achiziţia de traductoare de precizie ridicată şi a unui echipament performant de achiziţie a datelor. Fiecare test în afara reactorului, efectuat pentru validarea soluţiilor aplicate în proiectarea combustibilului CANDU experimental, a contribuit mai mult sau mai puţin la îmbunătăţirea tehnologiei de testare. Unul din obiectivele încercărilor efectuate a constat în evaluarea stabilităţii structurale a fasciculelor de combustibil la sarcini mecanice induse pe durata operaţiilor de încărcare cu combustibil proaspăt.

Articolul prezintă noua tehnologie de evaluare a rezistenţei mecanice la sarcini de compresiune accidentale a fasciculului combustibil experimental, demonstrând practic capacitatea de adaptare a laboratorului la evoluţia tehnologică.

## **2. Descrierea facilităţilor tehnologice de testare**

Schema de principiu a buclei de testare este prezentată în figura 1. Bucla de testare utilizează apa uşoară ca agent de lucru şi constă practic din: două pompe de circulaţie, un ansamblu de conducte şi armături, un presurizor, un schimbător de căldură şi un încălzitor electric.

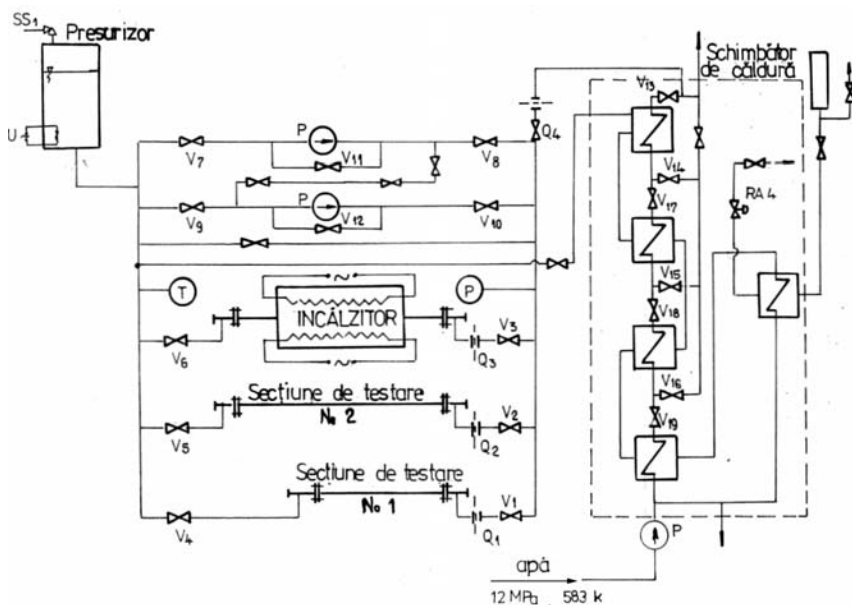


Fig.1 Bucla de testare - schema de principiu

Parametrii realizați corespund cerințelor de testare dar nu depășesc valorile de: 11 MPa pentru presiunea de intrare în secțiunile de testare, 573 K pentru temperatura în secțiunile de testare și 31 kg/sec pentru debitul masic realizat în secțiunea de testare încărcată cu 12 fascicule de combustibil.

Pentru realizarea experimentelor, bucla termohidraulică include două secțiuni de testare orizontale, alcătuite dintr-un tub de presiune similar geometric și fizic cu cel din reactor și respectiv, dintr-un tub de presiune de lungime redusă ce respectă geometria de curgere a agentului primar. Ambele tuburi sunt montate cu flanșe în fittinguri de capăt. Fittingurile, la rândul lor, sunt închise la capete cu flanșe oarbe ce permit încărcarea manuală a fasciculelor combustibile și montarea dispozitivelor speciale. Cele două secțiuni de testare au fost prevăzute cu prize de presiune practice la ieșire din fittingul amonte și respectiv la intrare în fittingul aval.

Testele de evaluare a rezistenței mecanice la sarcini de compresiune accidentale a fasciculului combustibil experimental au fost realizate în secțiunea de testare al cărui tub de presiune este similar geometric și fizic cu cel din reactor.

### **3. Evoluția tehnologiilor de testare**

#### **3.1 Metoda și tehnologiile aplicate**

a) Metoda de testare presupune verificarea rezistenței structurale a fasciculului combustibil test la aplicarea unei forțe de antrenare hidraulice mai mare decât maximul posibil atins în timpul secvenței de încărcare în condițiile de sprijin realizat pe cei doi opritori ai MID și la aplicarea forței maxime de antrenare atinse în timpul secvenței de încărcare în condițiile de sprijin realizate accidental, pe un singur opritor.

b) Tehnologia aplicată pentru verificarea păstrării integrității structurale și a încadrării deformațiilor rezultate la fasciculul combustibil de testare ca urmare a aplicării unei forțe de antrenare hidraulice mai mare decât valoarea maximă realizată la secvența de încărcare impune realizarea testului de rezistență pe doi opritori.

c) Tehnologia aplicată pentru verificarea păstrării integrității structurale și a încadrării deformațiilor rezultate la fasciculul combustibil de testare ca urmare a aplicării unei forțe de antrenare hidraulice maxime, forța realizată la secvența de încărcare, impune realizarea testului de rezistență pe un opritor.

d) Tehnologia de verificare a păstrării integrității structurale și a încadrării deformațiilor rezultate la fasciculul combustibil de testare în urma ambelor solicitări aplicate separat presupune realizarea unui test de rezistență combinat la care se utilizează un singur fascicul de testare supus mai întâi la testul de rezistență pe doi opritori și apoi, înlăturând unul din opritori, la testul de rezistență pe un opritor.

#### **3.2 Proiectare dispozitive**

Analiza la nivel de detaliu a desfășurării experimentelor efectuate anterior în bucla caldă de înaltă presiune și a rezultatelor obținute a demonstrat că procesele tehnologice au fost influențate [2] de limitarea posibilităților de măsură (traductoare analogice, domenii necorelate cu valorile măsurate, prelucrare deficitară a rezultatelor), de incertitudini relativ mari ale datelor obținute și de limitări ale soluțiilor constructive:

- măsurarea forței de antrenare hidraulică cu un traductor de forță realizat artizanal dintr-o coloană de arcuri disc comprimate axial între două platouri, unul fixat solidar cu capacul de etanșare prin cinci coloane și unul mobil, ghidat pe aceste coloane, și care reprezintă

prelungirea tijei dispozitivului susținere opritori, traductor etalonat în laborator pe o mașină de încercări la tracțiune/compresiune;

- alegerea defectuoasă a cuplelor de materiale pentru subansamblul tijă-sistem de etanșare dinamică și pentru ghidajul pe cinci coloane a platoului mobil de compresiune;

- alegerea unui oțel inoxidabil austenitic cu duritate sub 200 HB pentru execuția celor doi opritori;

- așezarea centrală a dispozitivului de susținere opritori și fixarea sa solidară cu tija de compresiune.

Ca urmare s-au proiectat, realizat și testat variante îmbunătățite ale ansamblului dispozitive de testare la rezistență. O variantă a ansamblului dispozitive de testare la rezistență a combustibilului nuclear experimental tip CANDU este prezentată în figura 2.

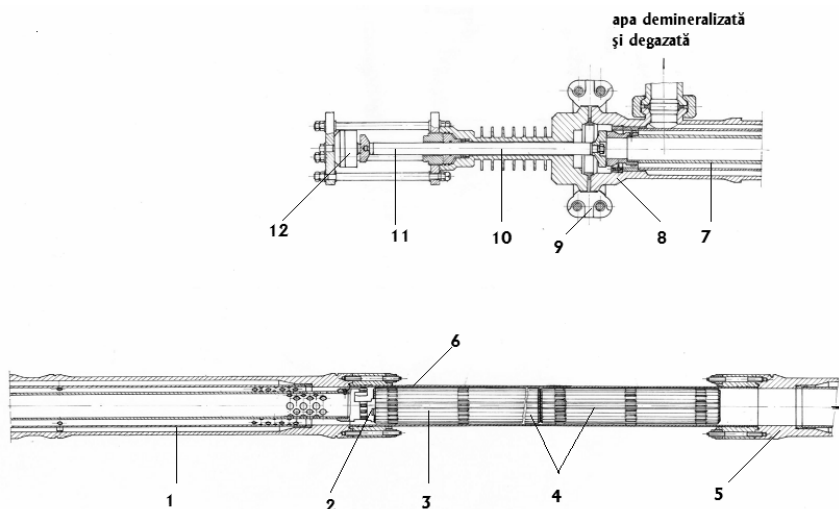


Fig. 2 Secțiunea de testare echipată pentru testul de rezistență pe 2 (1) opritori (opritor)

În figura 2 se observă că agentul de lucru, apa demineralizată și degazată la temperatura și presiunea procedurată intră prin fittingul de capăt amonte (5) al secțiunii de testare, în tubul de presiune (6), străbate coloana de combustibil nuclear alcătuită din 11 fascicule de completare (4) și din fasciculul de testare (3), pătrunde în fittingul de capăt aval (8) de unde iese spre colectorul de intrare al buclei calde sub presiune. Fasciculul combustibil de testare se reazemă direct pe opritorii/opritorul (2), componentă a simulatorului cu opritori (7) liber

rezemat la ambele capete în tubul de curgere (1) al fittingului de capăt aval (8). Simulatorul cu opritori (7) și implicit întreaga coloană de combustibil nuclear se reazemă liber de tija (11) poziționată centrat în raport cu tubul de curgere (1) al fittingului de capăt aval (8) pe cepul de compresiune al unei celule de forță (12). Tija (10) transmite efortul de compresiune generat de forța statică dată de presiunea fluidului în avalul secțiunii de testare și de forța de antrenare hidraulică dată de căderea de presiune datorată curgerii fluidului prin coloana de combustibil. Tija (11) străbate central și etanș capacul de etanșare special (10) montat etanș pe intrarea fittingului de capăt aval (8) prin intermediul conectorului de înaltă presiune tip Grayock de 6" (9).

După execuție a urmat echiparea secțiunii de testare conform cerințelor tehnologiei de testare (figura 2). Pentru instrumentarea prizelor de presiune au fost aleși doi traductori de presiune absolută, câte unul pentru fiecare priză de presiune a fittingurilor de capăt aval și amonte și un traductor de presiune diferențial pentru măsurarea căderii de presiune intrare - ieșire secțiune de testare, [3]. Valoarea măsurată a căderii de presiune în acest caz poate fi considerată aproximativ egală cu valoarea căderii de presiune pe coloana de combustibil rezemată pe opritorii/opritorul (2) simulatorului opritori (7).

### **3.3 Aplicarea noii tehnologii de testare**

Noua tehnologie s-a aplicat în cadrul programului de calificare a fasciculului transportor, [4]. Testul de rezistență pe doi opritori s-a realizat pe secțiunea de testare configurată ca în figura 2, coloana de combustibil rezemându-se pe subansamblul realizat de simulatorul opritori – tijă - cep compresiune celulă de forță. Fasciculul de testare în acest caz a fost poziționat astfel încât să se rezeme cu cel puțin opt bare pe cei doi opritori pentru ca testul să fie luat în considerare. În momentul atingerii parametrilor de operare procedurată s-a crescut ușor debitul pe secțiunea de testare echipată și instrumentată. Odată atinși, parametrii de testare au fost menținuți în limitele procedurate timp de minim zece minute. S-au monitorizat pe toată durata încercării parametrii de operare, presiunile absolute la intrare/ieșire în/din secțiunea de testare și căderea de presiune pe coloana de combustibil rezemată pe opritori precum și valorile furnizate de lanțul de măsură al forței de compresiune.

Testul de rezistență pe un opritor s-a realizat în continuare pe aceeași secțiune de testare (figura 2), coloana de combustibil rezemându-se la fel, pe cepul de compresiune al celulei de forță.

Fasciculul de testare a fost poziționat rezemat cu cel puțin patru bare pe opritorul păstrat, pentru ca testul să fie luat în considerare. În momentul atingerii parametrilor de operare procedurați s-a crescut ușor debitul pe secțiunea de testare echipată și instrumentată la valoarea procedurată. Odată atinși parametrii de testare au fost menținuți în limitele procedurate timp de minim zece minute. S-au monitorizat pe toată durata încercării parametrii de operare, presiunile absolute la intrare/ieșire în/din secțiunea de testare și căderea de presiune pe coloana de combustibil rezemată pe opritor precum și valorile furnizate de lanțul de măsură al forței de compresie.

Dacă testele de rezistență au fost necesare pentru acceptarea fasciculului combustibil proiectat, s-a procedat la realizarea testelor unul după altul. După realizarea testului pe doi opritori, s-a extras doar simulatorul opritori pentru înlăturarea unuia din opritori. Simulatorul opritori astfel modificat și-a reluat poziția în canalul de testare. După încheierea testului pe un opritor, fasciculul combustibil de testare a fost verificat dimensional dacă mai corespunde sau nu, cu criteriile de acceptare specificate în tehnologia de fabricație.

#### **4. Rezultate experimentale și concluzii**

■ În urma tehnologiei noi aplicate, s-au obținut pentru fiecare test, valorile căderilor de presiune pe coloana de combustibil nuclear, urmărind creșterea pe etape a debitului până la valorile procedurate specifice fiecărui test efectuat și, corespunzător lor, s-au consemnat și valorile indicate de lanțul de măsură al forței de compresie,  $F_m$ , [3]. De asemenea, corespunzător acestor valori s-au înregistrat și valorile presiunilor absolute măsurate, la nivelul fittingurilor amonte și aval, la intrare/ieșire în/din tubul de presiune. Diferențele între forțele totale calculate și cele măsurate sunt mai mari ca valoare în perioada de creștere a debitului decât în perioada de menținere a lui la valorile specificate potrivit testului efectuat. În perioada de menținere a debitului (perioada de testare propriu-zisă) aceste diferențe se reduc considerabil ca valoare variind însă între ele.

■ Fasciculul transportor supus testului tip de rezistență, a suferit modificări dimensionale dar a fost extras cu ușurință din canalul de testare. După efectuarea controlului dimensional a fost declarat admis. Prin urmare, din punct de vedere al rezistenței sale mecanice la operații de încărcare/descărcare, fasciculul combustibil transportor a fost validat, [4].

■ Pentru ambele teste de rezistență efectuate, răspunsul elastic al coloanei de combustibil se reduce ca amplitudine în perioadele de testare propriu-zise, în urma deformației grilelor la contactul cu opritorii/opritorul.

■ Ondulația maximă a grilelor se înregistrează la fasciculul de testare în urma realizării fiecărui test de rezistență. Reducerea răspunsului elastic al barelor de combustibil în contact cu opritorii/opritorul, datorită deformării grilelor, explică faptul că, pentru perioada de menținere la parametrii de realizare ai fiecărui test efectuat, diferențele între valoarea forței totale calculate și valoarea forței măsurate variază foarte puțin între ele.

■ Rezultatele obținute s-au datorat atât preciziei instrumentației utilizate (1 %) cât și noii tehnologii aplicate, bazată pe îmbunătățirea ansamblului dispozitive de testare la rezistență a combustibilului nuclear tip CANDU. Ele au fost obținute într-o instalație modernizată și au demonstrat calitatea managementului laboratorului de testare acreditat în acord cu prevederile ISO 9001/2008.

## BIBLIOGRAFIE

[1] Stănilă, D., Gheorghiu, E., Gheorghiu, C., ș.a., *Specificații pentru testele tip în afara reactorului*, Raport Intern nr. 1383, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, 1983.

[2] Gyongyoși, T., Cremene, I., ș.a., *Îmbunătățiri aduse metodelor de testare în afara reactorului în vederea testării fasciculului transportor*, Raport Intern nr. 4372, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, 1994.

[3] Gyongyoși, T., Ionescu, Gh., Deloreanu, Gh., Doca, C., ș.a., *Testarea în afara reactorului a fasciculului transportor. Dispozitive și instrumentație*, Raport Intern nr. 5076, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, 1997.

[4] Gyongyoși, T., Deloreanu, Gh., Ionescu, Gh. ș.a., *Testul tip de rezistență pe fasciculul transportor*, Raport Intern nr. 5256, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, volumul I și II, 1998.

Ing. Tiberiu GYONGYOȘI, Ing.Dezv.Tehn.I, Șef colectiv,  
Sucursala Cercetări Nucleare Pitești, membru AGIR  
e-mail: tiberiu.gyongyoși@nuclear.ro  
Prof.Dr.Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU,  
Universitatea Politehnică București, membru AGIR  
e-mail: valp@hydrop.pub.ro  
Prof.Dr.Ing. Ilie PRISECARU,  
Universitatea Politehnică București, membru AGIR  
e-mail: prisec@gmail.com