



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

TEHNOLOGIE DE EVALUARE EXPERIMENTALĂ A REZISTENȚEI MECANICE LA SARCINI DE IMPACT A FASCICULULUI COMBUSTIBIL EXPERIMENTAL TIP CANDU

Tiberiu GYONGYOȘI, Valeriu Nicolae PANAITESCU, Ilie PRISECARU

TECHNOLOGY FOR EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE MECHANICAL COMPRESSION RESISTANCE AT IMPACT LOAD ON 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 dynamic impact load, using light water at representative parameters (pressure, temperature and flow rate) for CANDU 6 reactor operating conditions, is 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.

Cuvinte cheie: impact, buclă de testare, simulator adaptor combustibil, fascicul combustibil de testare, fascicul combustibil transportor

Keywords: impact, loop test, simulator adapter fuel, fuel bundle testing, fuel transporter beam

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.

La începutul operației de încărcare MID-urile sunt cuplate la ansamblul canal combustibil însă, în momentul în care cilindrul C al capului MID care încarcă, împinge primele două fascicule de combustibil proaspăt în fittingul terminal, coloana de 12 fascicule din tubul de presiune rămâne încă rezemată de dopul de protecție biologică. În momentul în care primul fascicul din cele două pătrunde în fittingul de capăt și ajunge în zona curgerii transversale a agentului de răcire, zonă a tubului de curgere, acesta va fi antrenat de fluid și accelerat pe o distanță „d”, [1], după care, lovește coloana de combustibil staționară.

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

Proiectarea și 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 Pitești au fost construite: o buclă de testare în afara reactorului și dispozitivele aferente destinate încercării combustibilului nuclear utilizând apa ușoară la parametri (presiune, temperatură și debit) reprezentativi pentru operarea reactorului CANDU 6.

Metodele de testare experimentale au fost îmbunătățite în timp prin modificarea dispozitivelor eliminând pas cu pas disfuncționalitățile identificate în timpul testelor efectuate, s-a continuat cu achiziția de traductoare de precizie ridicată și a unui echipament performant de achiziție a datelor.

Fiecare test în afara reactorului, efectuat pentru validarea soluțiilor aplicate în proiectarea combustibilului CANDU experimental, a contribuit mai mult sau mai puțin la îmbunătățirea tehnologiei de testare.

Unul din obiectivele încercărilor efectuate a constat în evaluarea stabilității structurale a fasciculelor de combustibil la sarcini mecanice de impact induse pe durata operațiilor de încărcare cu combustibil proaspăt.

Articolul prezintă noua tehnologie de evaluare a rezistenței mecanice la sarcini accidentale de impact a fasciculului combustibil experimental, demonstrând practic capacitatea de adaptare a laboratorului la evoluția tehnologică.

2. Descrierea facilităților tehnologice de testare

Schema de principiu a buclei de testare este prezentată în figura 1. Buclea de testare utilizează apa ușoară ca agent de lucru și constă practic din: două pompe de circulație, un ansamblu de conducte și armături, un presurizor, un schimbător de căldură și un încălzitor electric. Parametrii de operare: max. 573 K, temperatura agentului de lucru; max. 11 MPa, presiunea de intrare în secțiunile de testare; max. 31 kg/sec pentru debitul masic realizat în secțiunea de testare încărcată cu 12 fascicule de combustibil.

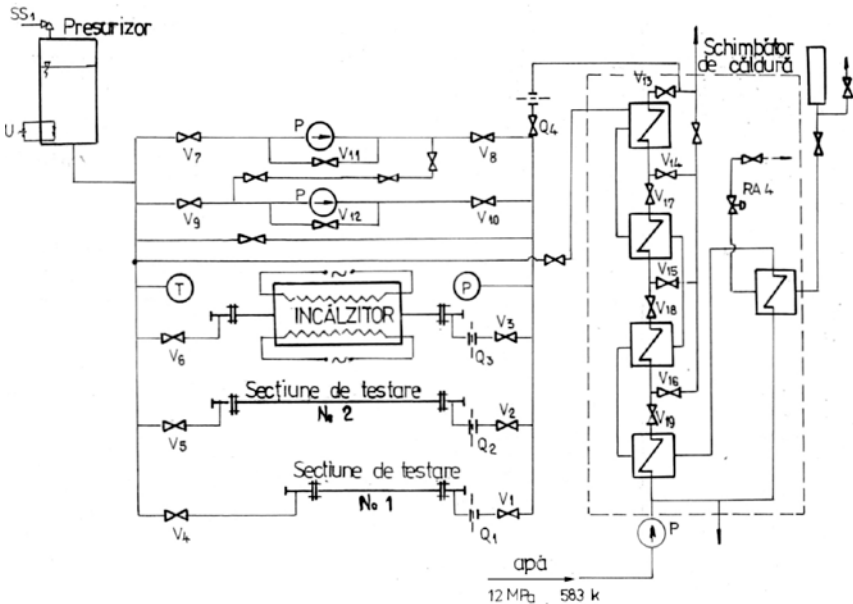


Fig.1 Buclea de testare - schema de principiu

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 la fel dar, de lungime redusă care respectă geometria de curgere a agentului primar, ambele montate cu flanșe în fittinguri de capăt. Fittingurile sunt închise la capete cu flanșe oarbe ce permit încărcarea manuală a fasciculelor combustibile și montarea dispozitivelor speciale pentru realizarea testelor. Fiecare din secțiunile

de testare a fost prevăzută 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 accidentale de impact a fascicului 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 integrității structurale a trei fascicule de combustibil test (fascicul proiectil, fascicul țintă și fasciculul rezemat pe dopul de protecție) la aplicarea unei forțe de impact generate de antrenarea hidraulică a fascicului proiectil și accelerarea lui pe distanța de ~ 600 mm dintre momentul inițial și consumarea impactului cu fasciculul țintă aflat în capul coloanei rezemate pe dopul de protecție biologică.

b) Tehnologia aplicată pentru verificarea păstrării integrității structurale și a încadrării deformațiilor rezultate la fasciculele de combustibil de testare ca urmare a aplicării forței de impact impune realizarea testului de impact.

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 și de limitări ale soluțiilor constructive:

- alegere defectuoasă a cuplei de materiale pentru componentele mecanismului de transmitere a mișcării aparținând dispozitivului de acționare sub sarcină;
- dificultatea corelării momentului antrenării hidraulice a fascicului de testare (proiectil) în zona curgerii transversale cu sistemul de măsurare.

Ca urmare, s-a proiectat, realizat și testat varianta îmbunătățită a ansamblului dispozitive de testare la impact a combustibilului nuclear experimental tip CANDU, figura 2.

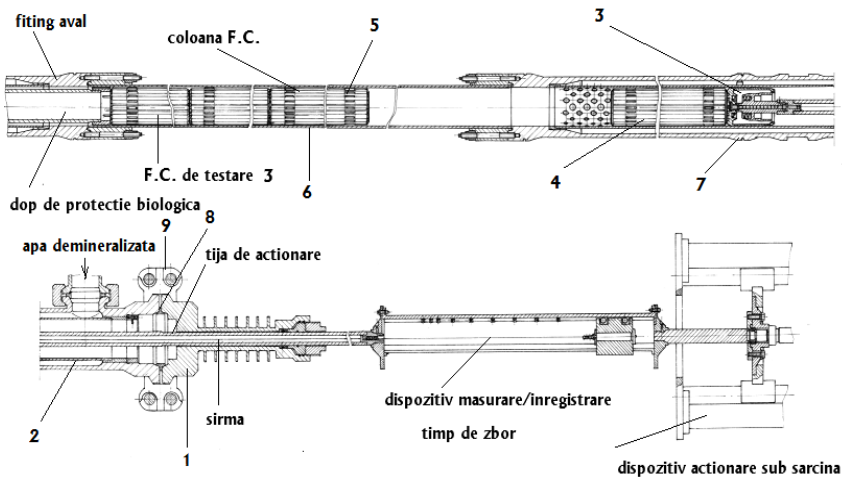


Fig. 2 Secțiunea de testare echipată pentru testul de impact

Se observă în interiorul tubului de presiune (6) modul de dispunere a combustibilului nuclear utilizat la testul de impact, figura 2. Pe dopul de protecție biologică din fittingul aval se reazemă direct 11 fascicule combustibil (fasciculul combustibil de testare 3, coloana de 9 fascicule combustibile de completare împreună cu fasciculul combustibil de testare 2 considerat fascicul „țintă” (5)) și, la o distanță anume, la intrarea în zona trecerii apei demineralizate prin orificiile tubului „linier” (2) din fittingul amonte (7), se află poziționat fasciculul combustibil de testare 1, considerat fascicul „proiectil” (4). De fasciculul proiectil (4) este legată o sârmă ce străbate etanș și central simulatorul adaptorului de combustibil și tija de acționare ajungând cu celălalt capăt în interiorul dispozitivului de măsurare unde este legat de un cilindru mobil liber rezemat pe trei căi de rulare. Tija de acționare străbate la rândul său central și etanș capacul special (1) montat etanș prin intermediul garniturii (8) și a bridelor de fixare (9) ale Graylock-ului de 6” de intrarea în fittingul amonte (7) având posibilitatea să înainteze în interiorul secțiunii de testare prin intermediul dispozitivului de acționare sub sarcină. Pe cilindrul mobil s-a amplasat o barieră optică în infraroșu și, de una din căile de rulare, s-a fixat o cale de obturare cu fante dreptunghiulare frezate la cote prestabilite în documentația de proiectare.

Apa demineralizată intră în fittingul amonte, trece prin orificiile tubului „linier” în tubul de presiune, străbate cele 11 fascicule de

combustibil, trece prin capătul dopului de protecție biologică și prin orificiile tubului „liner” și iese prin fittingul aval.

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 dopul de protecție biologică din fittingul de capăt aval.

3.3 Aplicarea noii tehnologii de testare

Noua tehnologie s-a aplicat în cadrul programului de calificare a fascicului transportor, [4]. Testul de impact s-a realizat pe secțiunea de testare configurată ca în figura 2, coloana de combustibil de 11 fascicule combustibil rezemându-se cu fasciculul de testare 3 de dopul de protecție biologică din fittingul aval.

În momentul atingerii parametrilor de operare proceduraj 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 pentru stabilizarea curgerii prin secțiunea de testare. S-a pornit dispozitivul de acționare sub sarcină astfel încât subansamblul dispozitiv de măsurare-tijă de acționare-simulator adaptor combustibil să înainteze cu o viteză redusă împingând la rândul său fasciculul de testare 1, fasciculul proiectil (4), în tubul „liner”.

Fasciculul proiectil (4) ajuns în zona de pătrundere a apei în tubul „liner” a fost antrenat de apa (vehiculată în bucla experimentală) care, imprimându-i o mișcare accelerată, l-a izbit de fasciculul de testare 2, considerat ca fascicul „țintă” (5) fiind totodată și cap al coloanei de combustibil nuclear din secțiunea de testare. S-au monitorizat pe toată durata încercării parametrii de operare, presiunile absolute la intrare/ieșire în/din secțiunea de testare, căderea de presiune pe coloana de combustibil rezemată pe dopul de protecție precum și semnalul electric furnizat de lanțul de măsură al spațiilor parcurse în timp, spații dintre fante.

După încheierea testului de impact, cele trei fascicule combustibil de testare au fost verificate dimensional dacă mai corespund sau nu, cu criteriile de acceptare specificate în tehnologia de fabricație.

4. Rezultate experimentale și concluzii

■ Spre deosebire de celelalte teste în afara reactorului impuse de specificația de calificare a combustibilului CANDU, testul de impact este un test efectuat cu instalația de testare în regim tranzitoriu. Acest test urmărește verificarea integrității și stabilității structurale a fasciculului combustibil la solicitarea dinamică de impact identificată în timpul încărcării canalului de combustibil cu combustibil proaspăt. Condițiile de realizare a testului sunt voit stabilite ca fiind cele mai dezavantajoase (valorile debitului și ale distanței de accelerare). Deși durata mișcării accelerate a fasciculului combustibil „proiectil” este sub o secundă, valorile indicate de traductoarele de presiune se stabilizează după câteva minute. Practic, în secunda realizării testului propriu-zis rezistența hidraulică a ansamblului canal de testare se modifică continuu. Modificarea este resimțită atât de pompa de circulație (își modifică punctul de funcționare) cât și de traductorii de presiune absolută și respectiv, de presiune diferențială. Înainte și după test, pentru regimul de curgere stabilizat, s-au înregistrat atât valorile căderii de presiune pe coloana de combustibil nuclear, cât și valorile presiunilor absolute măsurate, la nivelul fittingurilor amonte și aval, la intrare/ieșire în/din tubul de presiune alături de debit și de temperatură.

■ Deplasarea în timp a fasciculului combustibil „proiectil” de la antrenarea sa până la impact este redată în figura 3.

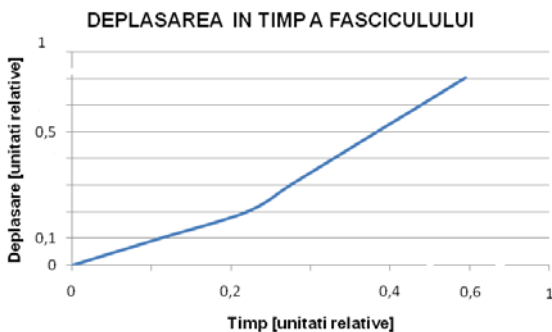


Fig. 3 Deplasarea în timp a fasciculului în secțiunea de testare

■ Se observă în figură momentul în care fasciculul proiectil părăsește zona de influență a intrării apei în tubul „liner”, zonă marcată de curgerea transversală a apei prin fasciculul „proiectil”.

■ În urma tehnologiei noi aplicate, s-a demonstrat atât eficiența sistemului de măsură și înregistrare a timpului de zbor realizat de

fasciculul combustibil de testare (proiectil) pe distanța de accelerare cât și valabilitatea noului ansamblu dispozitive utilizate în experiment.

■ Cele trei fascicule combustibil de testare supuse testului de impact, au suferit modificări dimensionale dar au fost extrase cu ușurință din canalul de testare. Niciunul din fasciculele combustibil testate nu a prezentat fisuri la nivelul sudurilor dop-grilă. După efectuarea controlului dimensional fasciculele combustibil experimentale au fost declarate „admis”. Prin urmare, din punct de vedere al rezistenței sale mecanice la operații de încărcare/descărcare, fasciculul combustibil transportor a fost validat, [4].

■ 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., și alții, *Specificații pentru testele tip în afara reactorului*, Raport Intern nr.1383, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, 1983.
- [2] Gyongyoși, T., Cremene, I., și alții, *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., și alții, *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., Doca, C., și alții, *Testul tip de impact pe fasciculul combustibil transportor*, Raport Intern nr.5290, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești, 1998.

Ing. Tiberiu GYONGYOȘI, Ing.Dezv.Tehn.I, Șef colectiv, membru AGIR
Sucursala Cercetări Nucleare Pitești,
e-mail: tiberiu.gyongyoși@nuclear.ro

Prof. Dr.Ing. Valeriu Nicolae PANAITESCU,
Departamentul de Mecanica fluidelor, Mașini hidraulice și Ingineria mediului,
Universitatea "Politehnică" București, membru AGIR
e-mail: valp@hydrop.pub.ro

Prof. Dr.Ing. Ilie PRISECARU,
Departamentul de Producerea și Utilizarea Energiei,
Universitatea "Politehnică" București, membru AGIR
e-mail: prisec@gmail.com