



WP1-L1.4
Raport privind definirea conceptuala a
instalatiei HandsON
Pachet de Lucru: WP1
Activitatea: A1.1-4

Responsabil livrabil: Marin CONSTANTIN (RATEN ICN)
Autori: Marin CONSTANTIN

Termen: 25.11.2019

Proiectul PRO ALFRED este finantat de Ministerul Cercetarii si Inovarii prin Sub-Programul 5.5 – Program de cercetare, dezvoltare si inovare pentru reactori de Generatia a IV-a - ALFRED, Contract 5/18.09.2019

Avize si semnături			
Functia	Nume	Data	Semnatura
Șef compartiment MC	Doru SAVU		
Director Științific:	Alexandru TOMA		
Director/Responsabil Proiect:	Daniela DIACONU		
Responsabil Pachet de Lucru	Marin CONSTANTIN		
Responsabil Livrabil	Marin CONSTANTIN		
Autori:	Marin CONSTANTIN		

CUPRINS

Rezumat	4
1. Introducere	5
2. Scop si obiective	8
3. Necesitatea si oportunitatea realizării investiției	9
4. Descrierea generala a configurației ALFRED	10
5. Descrierea casetelor de combustibil pentru ALFRED	14
6. Descrierea mașinii de încărcat/descărcat	23
7. Rezultate așteptate	29
8. Performante tehnice	30
9. Structura conceptuala.....	31
10. Elemente de investigație pentru proiectul conceptual	38
11. Recomandări	39
12. Concluzii	40
11. Referinte.....	41
Glosar	42

Rezumat

Prezentul raport conține elementele de definire conceptuală pentru instalația HandsON. Aceasta este o instalație experimentală destinată testării manipulării casetelor de combustibil și a barelor de control la scară reală a demonstratorului ALFRED. Instalația va conține o porțiune din zona activă simulată la scară reală conținând casete de combustibil și casete de reflector. Instalația va demonstra capacitățile de manevrare a combustibilului (încărcare, descărcare, relocalizare casete). Simularea va fi realizată în aer (etapa 1) și apoi în plumb topit (etapa 2). Elementele prezentate sunt cerințe pentru activitatea de proiectare conceptuală. Pe baza proiectului conceptual se va realiza studiul de fezabilitate.

Raportul prezintă într-o secțiune separată fenomenologia investigată, indicând elementele de investigație experimentală necesare pentru dezvoltarea tehnologiei LFR și implementarea demonstratorului ALFRED. Rezultatele așteptate și performanțele tehnice solicitate sunt de asemenea prezentate în secțiuni dedicate. Raportul prezintă structura conceptuală a instalației experimentale. De asemenea sunt formulate recomandări pentru elaborarea proiectului conceptual și concluzii.

1. Introducere

Electricitatea este o cerință vitală a societății, iar reducerea emisiilor o prioritate majoră. Scenariul de limitare a creșterii temperaturii medii globale (2050) la 1.5°C necesită o pondere de 30% (AIEA, NEA, NEI, EIA) a electricității nucleare.

În ultimii ani au fost depuse eforturi importante pentru dezvoltarea unor sisteme nucleare inovative (de Generație IV, GenIV [1]) orientate către:

- (1) creșterea gradului de securitate,
- (2) creșterea eficienței utilizării resurselor,
- (3) reciclarea combustibilului,
- (4) reducerea volumului și toxicității deșeurilor,
- (5) competitivitate economică înaltă.

Forumul Internațional GenIV [1] a selectat 6 sisteme care pot atinge obiectivele, între acestea tehnologia reactorilor rapizi răciți cu plumb, LFR (Lead Fast Reactor). Comisia Europeană susține dezvoltarea LFR și a inclus demonstratorul tehnologiei (reactorul ALFRED [2]) în documentele sale strategice SET Plan [3], SNETP Strategic Agenda [4], ESNII Roadmap [5]. În martie 2018, în urma analizei maturității tehnologice [6], Comitetul Executiv ESNII a avansat ALFRED în prima linie de priorități, prevăzând construcția acestuia până în 2028.

În România, energia nucleară (17-20% din totalul electricității) oferă stabilitate, siguranță în funcționare și un cost competitiv. Strategia energetică susține dezvoltarea sectorului nuclear. România a dezvoltat un larg set de competente în domeniul nuclear (industrie, cercetare, educație). A fost creat cadrul favorabil participării la eforturile internaționale de dezvoltare a LFR, cu avantaje care vor consta în drepturi de proprietate intelectuală.

Pe baza participării RATEN ICN într-un număr mare de proiecte Euratom FP6, FP7, H2020 (dedicate LFR) și a dezvoltării capacităților de cercetare, în 2011, Guvernul României a exprimat disponibilitatea pentru construirea demonstratorului ALFRED în România. În decembrie 2013 a fost constituit consorțiul internațional FALCON pentru implementarea ALFRED în România. Platforma nucleară Mioveni este aleasă ca amplasament de referință [7], pe baza avantajelor sale (amplasament nuclear existent, utilități și protecție fizică, proximitatea specialiștilor, acceptanța publică).

Proiectul ALFRED este inclus în Strategia Națională de Cercetare-Dezvoltare-Inovare 2015-2020 și în Strategia de Specializare Inteligentă a Regiunii Sud Muntenia. În 2017, proiectul ALFRED a fost inclus în Roadmap-ul național al infrastructurilor de cercetare.

Proiectul ALFRED [7] constă în construcția a 6 instalații experimentale (infrastructura suport), realizarea demonstratorului și a unui Hub de coordonare.

Instalațiile experimentale sunt destinate testării, demonstrării, calificării componentelor LFR, precum și validării și verificării instrumentelor/metodologiilor de calcul.

Infrastructura ALFRED consta în construcția a 6 instalații experimentale (**ATHENA**, **ChemLab**, **HELENA2**, **ELF**, **HandsOn**, **Meltin'Pot**), **reactorul de demonstrație ALFRED** și un **Hub** de coordonare.

Instalațiile experimentale sunt destinate realizării de cercetări specifice tehnologiei LFR (regimuri termohidraulice, controlul chimic al oxigenului și impurităților, comportarea materialelor în regimuri de coroziune și eroziune, transportul elementelor și speciilor chimice în mediu de plumb topit și în gazul de acoperire, precum și testării, demonstrării și calificării componentelor LFR, a validării și verificării instrumentelor/metodologiilor de calcul. Sunt vizate, pe de altă parte, cercetări sinergice cu alte domenii (precum folosirea sistemelor LFR pentru stocare energetică).

Instalația experimentală **HELENA2** este destinată testării regimurilor de curgere (forțată și naturală) în circuit de tip buclă, testării comportării casetelor de combustibil, precum și a barelor de control din reactorii nucleari de tip LFR, cu aplicație directă la configurațiile specifice ale reactorului de demonstrație ALFRED. Totodată, instalația va permite investigarea comportării componentelor și echipamentelor (spre exemplu pompe și vane) în regimurile termohidraulice menționate, inclusiv testarea la coroziune. Scopul central consta în testarea, la scară reală, a comportării casetelor de combustibil pentru demonstratorul ALFRED în regimurile specifice de curgere. Toate secțiunile casetei combustibile vor fi simulate electric în mod corespunzător. Instalația va permite investigația de comportare în circulație forțată a agentului de răcire, precum și în regim de circulație naturală. Domeniul de temperatură, viteza de curgere a plumbului lichid, conținutul de oxigen sunt cele specifice tehnologiei LFR și ALFRED ($T_{\max}=600^{\circ}\text{C}$, $v_{\max}=2\text{ m/s}$, $c_{\max,\text{O}_2}=10^{-8}\div 10^{-9}\text{ wt.}\%$). Parametrii operaționali vor fi monitorizați on-line prin instrumentație adecvată. Instalația va fi prevăzută cu secțiuni capabile să testeze casete de combustibil, bare de control și bare de oprire, eroziune/coroziune și testarea vanelor.

Instalația experimentală **ELF** este de tip piscină, cu plumb pur, operată în regim de circulație naturală sau forțată. Instalația este destinată testelor de durabilitate pentru funcționarea componentelor, echipamentelor și sistemelor aferente reactorului de demonstrație ALFRED, precum și a măsurării caracteristicilor de fiabilitate. Zona activă va fi simulată prin încălzire electrică (elemente combustibile simulate). Domeniul de temperatură, viteza de curgere a plumbului lichid, conținutul de oxigen sunt cele specifice tehnologiei LFR și ALFRED. Din punct de vedere al configurației de lucru, vor fi simulate un număr reprezentativ de casete, bare de control și bare de securitate.

Meltin'Pot este o instalație experimentală destinată investigării fenomenologiei asociate accidentelor severe în sisteme nucleare cu neutroni rapizi și răcire cu plumb pur. În principal este vizată investigarea interacțiunii dintre combustibil, teacă și agentul de răcire. Instalația va fi de tip piscină de dimensiuni reduse destinată testării dispersării combustibilului în timpul unui accident sever, precum și retenției produșilor de fisiune. Instalația va cuprinde instrumentație adecvată de monitorizare și achiziție de date, precum și aparatura de analiză de laborator cuplată. Totodată

instalația va permite investigarea fragmentării combustibilului în timpul unui accident sever și transportul acestor fragmente prin intermediul agentului de răcire. În acest scop pentru simularea transportului în configurația specifică este propusă realizarea unei bucle mici de circulație a plumbului.

ATHENA și ChemLab sunt două instalații experimentale cuplate. ATHENA este o instalație de tip piscină destinată testării regimurilor termohidraulice în volume mari de plumb, precum și comportării echipamentelor în regim de curgere, coroziune și eroziune). ChemLab este dedicat investigării chimiei plumbului și gazului de acoperire. Cele două instalații nu fac obiectul documentațiilor tehnice propuse să fie realizate în cadrul pachetului 1 al proiectului PRO-ALFRED. Cele două instalații au fost propuse în cadrul unui proiect comun pentru finanțare în cadrul POC, secțiunea „Mari infrastructuri de cercetare”. În momentul de față proiectul se află în procesul de evaluare tehnică și financiară.

Aceste 6 instalații experimentale au rolul de a susține procesul de autorizare a demonstratorului ALFRED, precum și pentru investigarea aspectelor deschise ale tehnologiei LFR.

Hands-ON este o instalație experimentală destinată testării manipulării casetelor de combustibil și a barelor de control la scară reală a demonstratorului ALFRED. Instalația va conține o porțiune din zona activă simulată la scară reală conținând casete de combustibil și sisteme de control-comandă simulate. Instalația va demonstra capacitățile de manevrare a combustibilului (încărcare, descărcare, relocalizare casete). Simularea va fi realizată în aer (etapa 1) și apoi în plumb topit (etapa 2). Această simplificare este menită să decupleze fenomenele de natură mecanică de cele legate de termohidraulică.

ALFRED este reactorul de demonstrație al tehnologiei LFR. O prezentare separată a demonstratorului este inclusă în capitolul 4.

Centrul de coordonare (**Hub**) este destinat coordonării activităților experimentale realizate în infrastructura ALFRED, inclusiv prin colaborare cu alte centre experimentale din lume și prin utilizarea opțiunii de acces deschis. Centrul va asigura spațiul și logistica necesară coordonării. Pe de altă parte centrul este destinat găzduirii și organizării de activități educaționale și de formare în tehnologia plumbului.

Prezentul raport este dedicat prezentării rezultatelor studiului de definire a elementelor de bază pentru demararea activităților de realizare a proiectului conceptual, pentru instalația experimentală **HandsON**.

2. Scop si obiective

Instalația este dedicată realizării de experimente de manevrabilitate a casetelor de combustibil pentru reactorul de demonstrație ALFRED si pentru tehnologia LFR.

HandsON este o instalație experimentală de testare a manevrabilității casetelor de combustibil nuclear pentru reactorul de demonstrație ALFRED.

Scopul principal constă în testarea la scala 1:1 a extragerii casetelor de combustibil si mutării lor în alte locații ale zonei active, precum si în afara acesteia (simularea operației de descărcare/încărcare), inclusiv amplasarea în configurația specifică stocării intermediare umede a combustibilului ars.

Obiectivul principal al realizării instalației experimentale HandsON consta în:

(OP) construirea unei instalații experimentale care sa ofere capabilități complete pentru demonstrarea operațiilor de manevrare, în aer (etapa 1) si apoi în plumb topit (etapa 2), a casetelor de combustibil (re-localizare, descărcare, încărcare, transfer în bazinul de stocare) pentru demonstratorul ALFRED si tehnologia LFR.

Obiectivul secundar consta în:

(OS) obținerea de informații relevante pentru găsirea configurației optime si a sistemului de manevrare pentru cazul real al zonei active plasate în piscina cu plumb, ușor presurizată prin intermediul gazului de acoperire.

Zona activă ALFRED va fi simulată pe o porțiune relevantă pentru includerea tuturor situațiilor de manevrabilitate. Condițiile de operare vor fi la rece, în aer (etapa 1) si apoi la cald, în plumb topit (etapa 2). Casetele de combustibil vor fi realizate la dimensiunile si detaliile de proiectare ale demonstratorului ALFRED.

3. Necesitatea si oportunitatea realizării investiției

Infrastructura ALFRED este caracterizata de o înaltă complexitate si specializare. Este destinata dezvoltării tehnologice. Rezultatele sunt aplicabile direct in tehnologia centralelor nuclear-electrice bazate pe un spectru rapid de neutroni si pe răcire cu plumb topit pur. Rezultatele preconizate au, in foarte mare măsură, potențial pentru transfer tehnologic prin implementarea directa in tehnologia LFR.

Instalația experimentală HandsON este destinata acoperirii următoarelor **necesități**:

- (1) Testarea la scara reala 1:1 a manevrabilității casetelor de combustibil de combustibil nuclear, in geometria reala a zonei active, in aer (etapa 1) si apoi in plumb topit (etapa 2), in vederea acoperirii activităților de demonstrare necesare in programul de autorizare pentru demonstratorul ALFRED,
- (2) Demonstrarea controlului operațiilor de încărcare, descărcare, re-poziționare a casetelor de combustibil nuclear, prin teste, realizate in aer (etapa 1) si apoi in plumb topit (etapa 2), privind capabilitățile sistemului de manevrare, inclusiv transferul casetelor in bazinul de stocare a combustibilului ars,
- (3) Obținerea de date experimentale relevante privind manevrabilitatea casetei de combustibil in scopul întocmirii procedurilor de manevrarea a combustibilului nuclear in ALFRED si LFR, pentru toate situațiile de manevrabilitate.

Oportunitatea susținerii investiției este determinata de:

- (1) Existenta unui program de activități pregătitoare pentru implementarea reactorului de demonstrație ALFRED in Romania,
- (2) Acumularea de experiența in domeniul operării instalațiilor experimentale, inclusiv a celor pentru LFR, in RATEN ICN,
- (3) Posibilitatea de accesare a fondurilor nerambursabile, dedicate dezvoltării infrastructurilor de cercetare din Romania,
- (4) Impactul imediat pe care îl poate aduce un program de investigații tehnico-științifice, in condițiile oportunităților existente pe piața privind dezvoltarea sistemelor de Generație IV.

4. Descrierea generala a configurației ALFRED

Realizarea reactorului ALFRED are ca obiectiv principal demonstrarea viabilității tehnice a filierei LFR, precum si a celei economice, in condițiile care caracterizează piețele actuale/prognozate (pe termen mediu) de energie.

Pe de alta parte, strategia de dezvoltare a LFR si a demonstratorului ALFRED include obiectivul secundar al demonstrării caracteristicilor unui reactor mic modular (SMR).

In Tabelul 4.1 sunt prezentate principalele caracteristici tehnice ale demonstratorului ALFRED.

Tabelul 4.1 Principalele caracteristici tehnice ale demonstratorului ALFRED

Putere termica [MW _{th}]	300
Putere electrica [MW _e]	125
Agent de răcire (circuit primar)	Plumb pur
Sistemul primar	Tip piscina, compact
Circulația agentului de răcire in primar: - operare normal - situații de urgenta	Circulație forțată Circulație naturala
Viteza maxima de circulație a plumbului [m/s]	2
Temperatura de intrare (zona activa) [°C]	400
Temperatura de intrare in generatorul de abur [°C]	480
Ciclul de răcire in secundar	Apa - abur supraîncălzit
Temperatura apei de alimentare (feed-water) [°C]	335
Presiunea aburului [(MPa)]	18
Eficienta ciclului [%]	40
Deteriorarea structurala maxima, DPA maxim [dpa]	2
Tip combustibil	MOX (îmbogățire maximă in Pu 30%)
Grad de ardere maxim la descărcare [MWd/kg-HM]	90÷100
Deteriorarea maxima a tecilor prin interacțiunea cu neutronii [dpa]	100
Temperatura maxima a tecii la operare normala [°C]	550

In figura 4.1 este prezentata schema conceptuala a reactorului ALFRED (zona activa si circuitul primar).

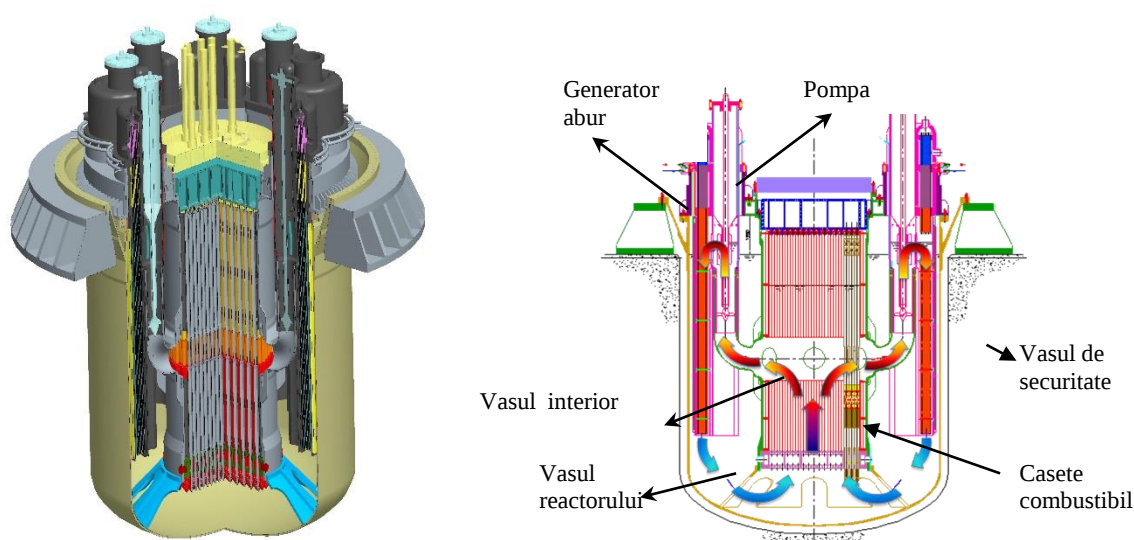


Fig. 4.1. ALFRED - Schiță 3D și secțiune verticală în zona activă și în circuitul primar

Configurația sistemului primar este de tip piscina, caracterizată de o geometrie compactă cu generatorii de abur direct inserați în plumbul topit din piscina. Fiecare generator de abur este prevăzut cu o pompa de circulație forțată a agentului de răcire.

Circuitul primar este simplu și are în componență următoarele structuri: (1) riser, (2) pompa, (3) generator abur, (4) downcomer. Configurația favorizează circulația naturală în cazul opririi accidentale a pompelor.

Piscina este formată dintr-un vas (numit vasul reactorului, RV) cilindric având partea inferioară toro-sferică. Vasul este ancorat de cavitatea reactorului prin suportul de vas aflat în partea superioară (Fig.1).

Un al doilea vas (numit vasul de securitate, SV) este situat coaxial cu RV și solidar cu structura de beton a cavității reactorului. Între RV și SV este prevăzut un interstițiu suficient de mare pentru realizarea activităților de inspecție (ISI). De asemenea, prin intermediul interstițiului vasul SV poate fi răcit de către același sistem care răcește structura de beton a cavității. Sistemul este inserat în beton și este independent de sistemul de răcire al reactorului. Prezența RV și SV este gândită să rezolve eventualitatea scurgerilor plumbului lichid din RV în cazul fisurării acestuia. Scurgerile vor fi reținute în SV, prevenind scăderea nivelului plumbului lichid în RV.

Zona activă constă în casete hexagonale grupând elemente combustibile cilindrice plasate în rețea hexagonală. Combustibilul este de tip MOX cu pastile prevăzute cu un orificiu central în vederea reținerii gazelor de fisiune și acomodării dilatării radiale. Înălțimea zonei active este redusă (0.6 m), ceea ce favorizează circulația naturală, în cazul pierderii circulației forțate.

Configurația zonei active (Fig. 4.2) include 171 casete de combustibil, 12 bare de control și 4 bare de securitate, înconjurate de 108 casete de reflector ($ZrO_2-Y_2O_3$) care realizează și funcția de protecție la radiație a vasului interior.

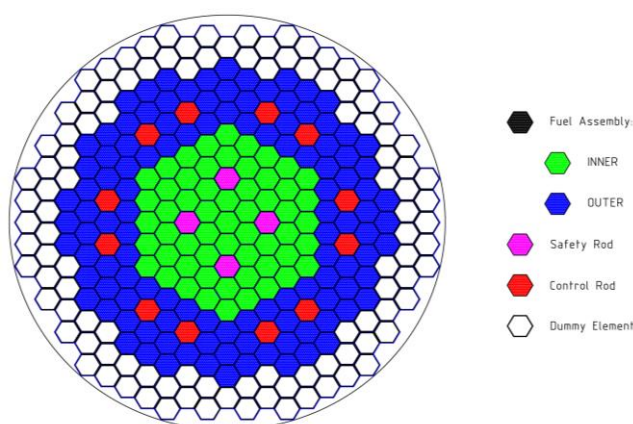


Fig. 4.2 ALFRED –configurația zonei active

Din punct de vedere al opririi reactorului, ALFRED este echipat cu doua sisteme diferite, redundante:

- (1) sistemul de bare de control (CR) utilizate pentru controlul normal al reactorului (pornire, oprire, controlul reactivității in timpul ciclului de combustibil), precum si pentru oprirea in caz de urgenta (SCRAM),
- (2) sistemul de bare de securitate (SR) utilizat doar pentru SCRAM.

Pentru ambele sisteme materialul absorbant utilizat este B4C îmbogățit in B-10 (90%), iar tuburile de ghidaj sunt realizate din T91, tecile sunt din 15-15 Ti iar ZrO2 (95%) - Y2O3 (5%) sunt utilizate pentru izolare si reflector.

Structura barelor CR consta dintr-un cluster de 19 pini absorbanți. Răcirea este asigurata prin circulația forțată/naturala a agentului din sistemul primar. Pinii sunt prevăzuți cu o zona de acumulare a gazelor (gas plenum), in partea superioara, in vederea colectării heliului si tritiului produse in reacțiile nucleare ale B-10. Barele sistemului CR sunt extrase in direcția inferioara (de sus in jos) si introduse prin deplasarea lor in sus datorita forței arhimedice.

Barele SR stau in situație normala in agentul de răcire. Barele sunt extrase in sus si inserate in jos împotriva forței arhimedice. Din acest motiv inserarea se realizează cu ajutorul unui sistem pneumatic. In cazul defectării acestuia este prevăzută utilizarea unui sistem de balast (din tungsten) care sa forțeze căderea gravitațională.

Generatorii de abur (SG) si pompele sistemului primar (PP) sunt integrate într-o unitate unica, dispusa vertical. Fiecare SG consta din 542 tuburi baioneta imersate in piscina reactorului, pe o porțiune de 6 m din lungimea totala. Numărul de SG, precum si de PP, este de 8. Atât SG, cat si PP, sunt amplasate intre vasul interior si peretele RV. PP este plasata in partea calda a SG si antrenează prin partea de secțiune plumbul topit către SG. Acesta trece prin zona centrala a pompei (elicea de antrenare),apoi trece, prin orificiile de intrare, in SG, coboară prin tuburile baioneta si iese din SG. Motorul pompei este amplasat deasupra RV.

ALFRED este prevăzut cu doua sisteme independente, pasive si redundante de evacuare a căldurii reziduale (în cazul pierderii sistemului primar): DHR1 (Decay Heat Removal) si DHR2. Fiecare este compus dintr-un sistem de condensare a vaporilor de apa (Isolation Condenser, IC) conectat la partea secundara a fiecărui SG.

Sistemul secundar este bazat pe o configurație de turbine duala cu trei extracții în partea de presiune înaltă (HP) si încă trei în partea de presiune scăzută (LP).

De asemenea, ALFRED este prevăzut cu un sistem de încălzire a agentului de răcire. Sistemul lucrează atunci când reactorul este oprit (iar căldura reziduala insuficienta) în scopul asigurării unei temperaturi minime a plumbului pentru a preveni solidificarea acestuia.

5. Descrierea casetelor de combustibil pentru ALFRED

În Fig. 5.1 este reprezentată schema conceptuală a casetelor de combustibil pentru tehnologia LFR, inclusiv pentru demonstratorul ALFRED.

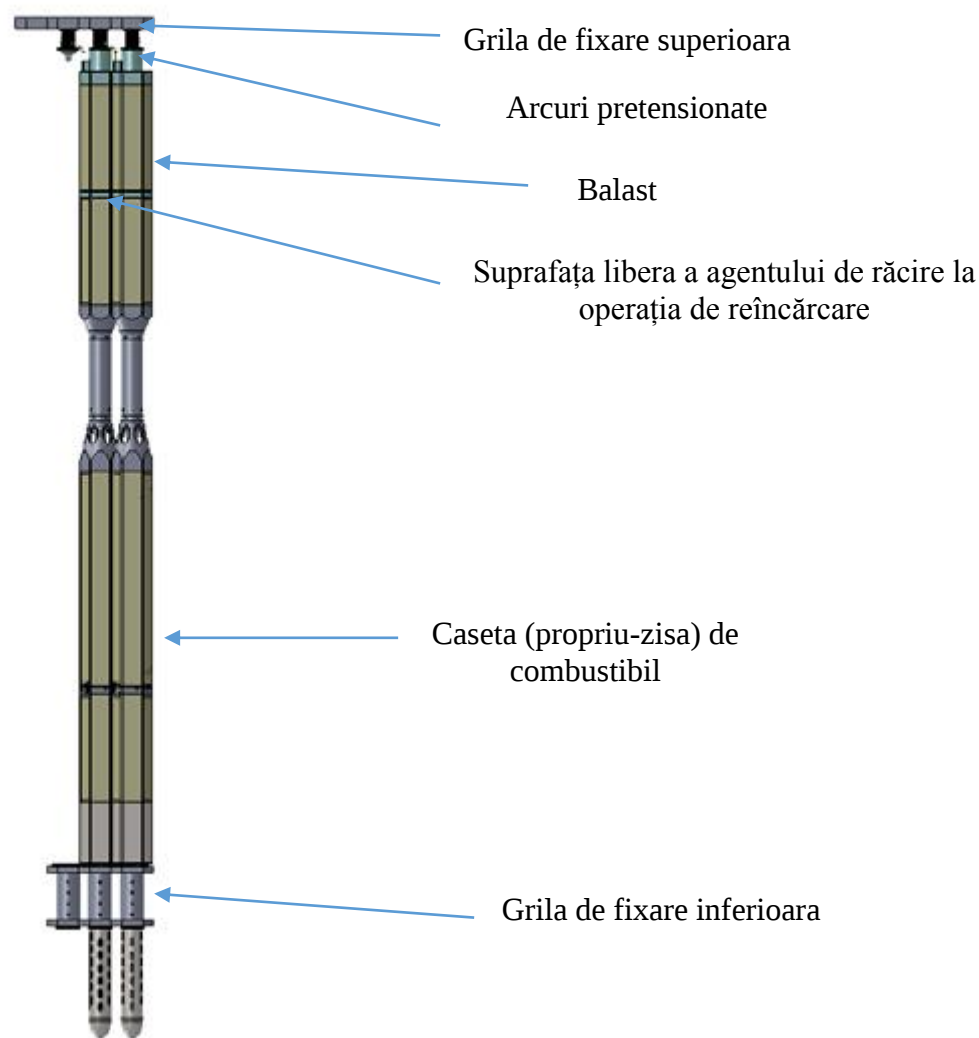


Fig. 5.1. Reprezentare simplificată a casetelor de combustibil pentru ALFRED

Datorită densității mari a plumbului (11.34 g/cm^3) casetele de combustibil sunt împinse de jos în sus de forța arhimedică și au tendința de plutire. Pentru a preveni acest efect:

- (1) în timpul realimentării/descărcării secțiunea superioară, umplută cu material de balast, plasată deasupra nivelului plumbului, acționează ca greutate suplimentară menținând caseta fixată în grila inferioară,

- (2) în timpul operării, datorită temperaturii mai mari (comparativ cu faza de realimentare) și a funcționării pompelor de circulație în sistemul primar, arcurile pretensionate plasate în partea superioară asigură o fixare suplimentară.

În Figura 5.2 sunt prezentate principalele dimensiuni longitudinale pentru casetele de combustibil ALFRED [8].

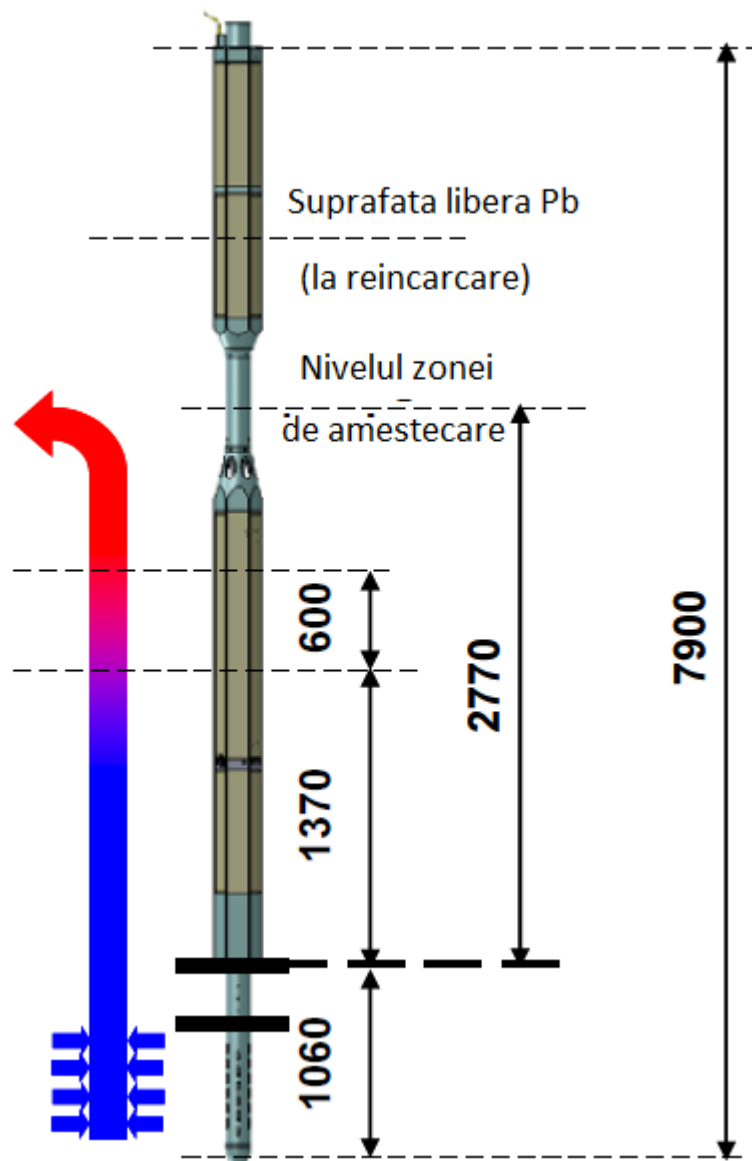


Fig. 5.2 Dimensiuni longitudinale pentru casetele de combustibil ALFRED

Din punct de vedere al secțiunii transversale casetele de combustibil pentru demonstratorul ALFRED sunt de tip hexagonal, amplasate în zona activă conform datelor prezentate în secțiunea anterioară (vezi Fig. 4.2) [8]. În Fig. 5.3 sunt prezentate dimensiunile caracteristice pentru structura de casete hexagonale.

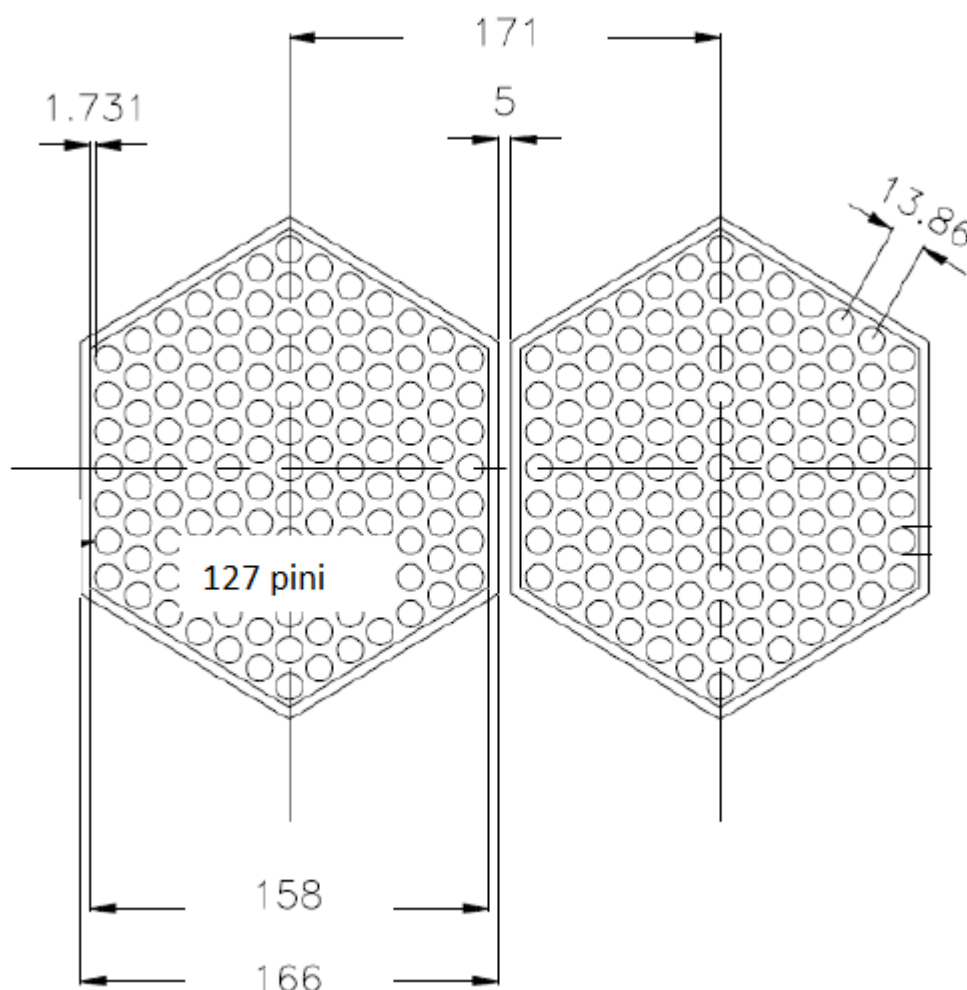


Fig. 5.3 Secțiune transversala in partea activa (zona de combustibil nuclear) a casetei pentru ALFRED

In Fig. 5.4 sunt prezentate detaliile constructive pentru diversele secțiuni ale casetei:

- (1) pivotul casetei, asigurând fixarea in grila inferioara si intrarea agentului de răcire in caseta,
- (2) zona activa, conținând elementele combustibile,
- (3) secțiune îngustată („funnel”), corespunzând zonei de ieșire a plumbului din zona activă,
- (4) secțiunea de balast, cu rolul de a menține caseta in poziție verticală,
- (5) capul superior al casetei, având rolul de prindere ferma in grila superioară, de menținere a poziției casetei in timpul operării, precum si de conectare cu capul mașinii de încărcare -descărcare in timpul manevrării casetelor.

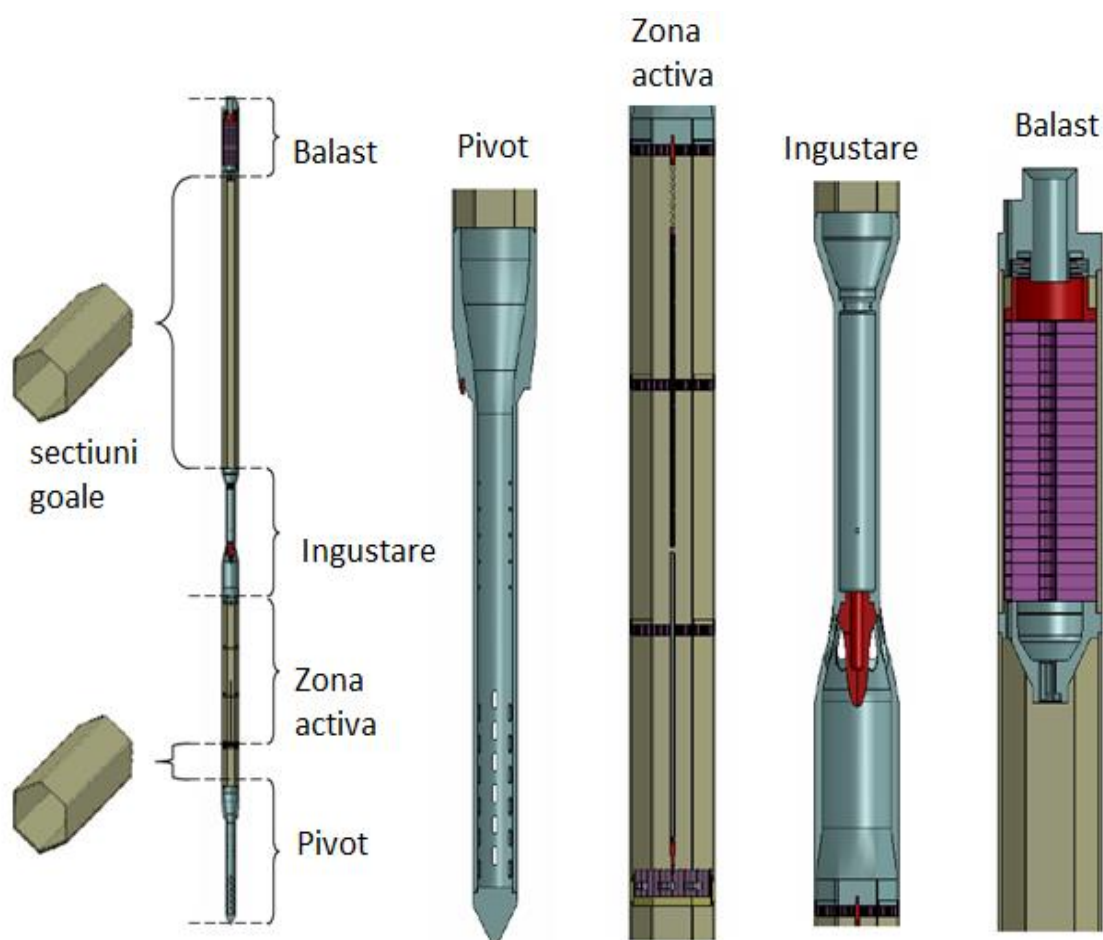


Fig. 5.4 Detalii constructive pentru caseta de combustibil ALFRED

In Fig. 5.5 este prezentata grila de fixare a casetelor de combustibil pentru configurația geometrica rezultata din proiectul conceptual al demonstratorului ALFRED. Elementele pentru fixarea casetei sunt prevăzute cu orificii-cheie având rolul de a preveni amplasarea greșită a unor casete in cadrul operației de repositionare („reshuffling”). Orificiile cheie vor fi definite prin strategia dedicata managementului de combustibil.

In Fig. 5.6 sunt prezentate detaliile constructive ale primei secțiunii a casetei, pivotul de fixare in grila inferioara.

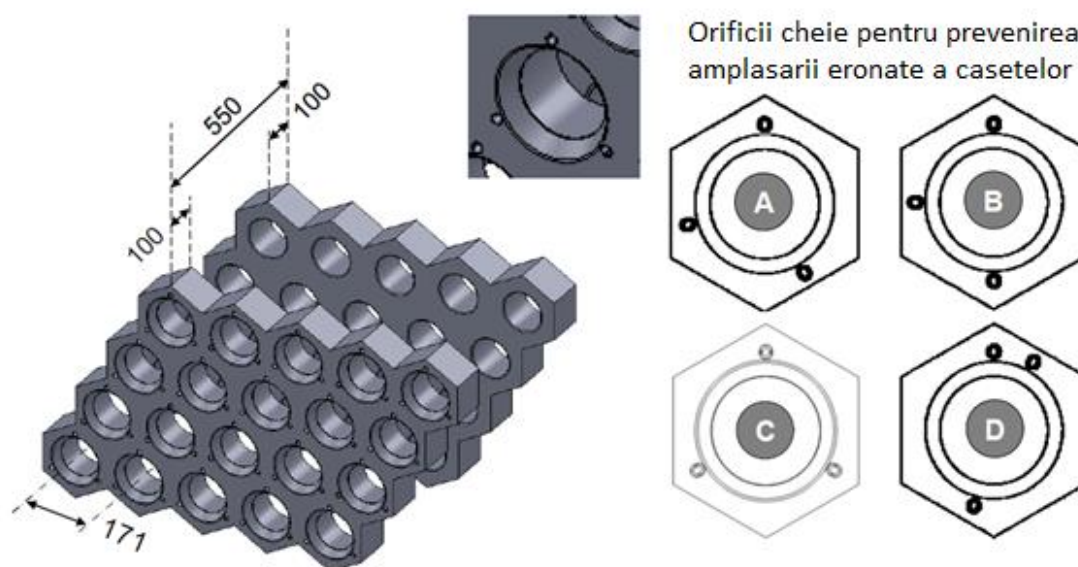


Fig. 5.5 Grila de fixare pentru casetele de combustibil ALFRED

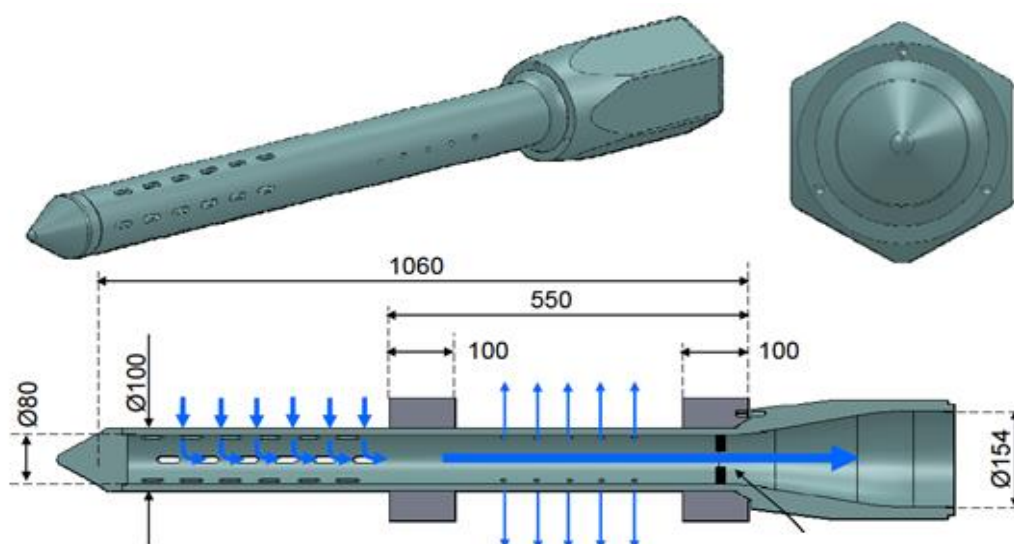


Fig. 5.6 Elementul de fixare in grila inferioara (pivotal, „spike”) pentru casetele de combustibil ALFRED

In Fig. 5.7 este prezentata secțiunea casetei de combustibil la nivelul zonei active, cu reprezentarea grilei suport pentru elementele combustibile si a grilelor de distanțare. In Fig. 5.8 sunt prezentate detaliile constructive pentru un element combustibil.

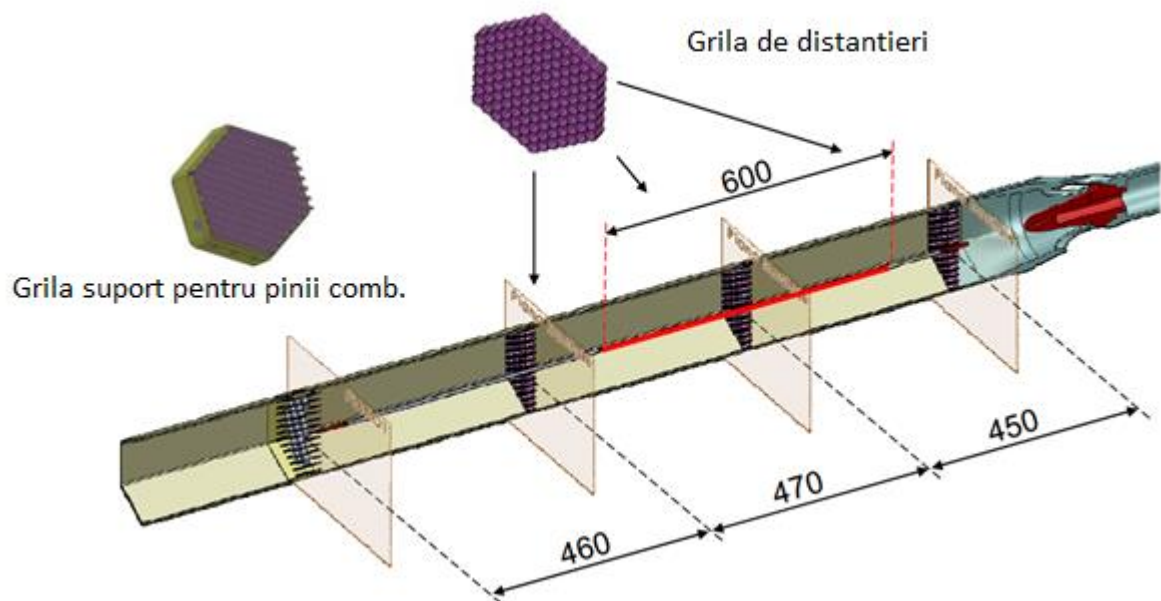


Fig. 5.7 Secțiunea cu elemente combustibile (zona activa) pentru casetele de combustibil ALFRED

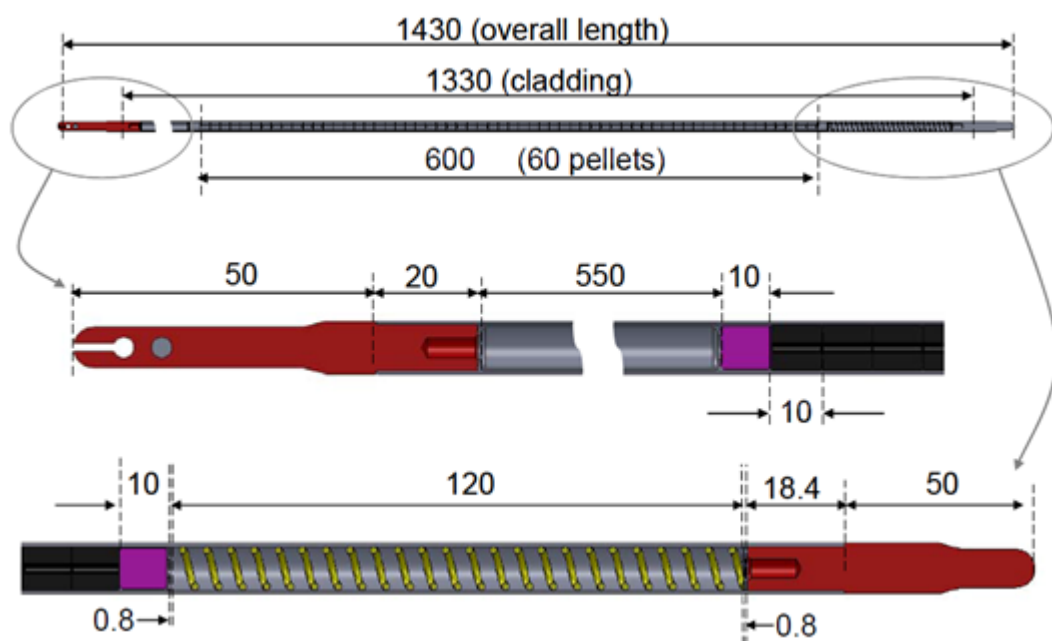


Fig. 5.8 Elementul de combustibil din caseta ALFRED

In Fig. 5.9 sunt prezentate detaliile geometrice privind fixarea pinilor combustibili in caseta ALFRED. In Fig. 5.9 este prezentata grila de distanțare a elementelor combustibile in caseta ALFRED.

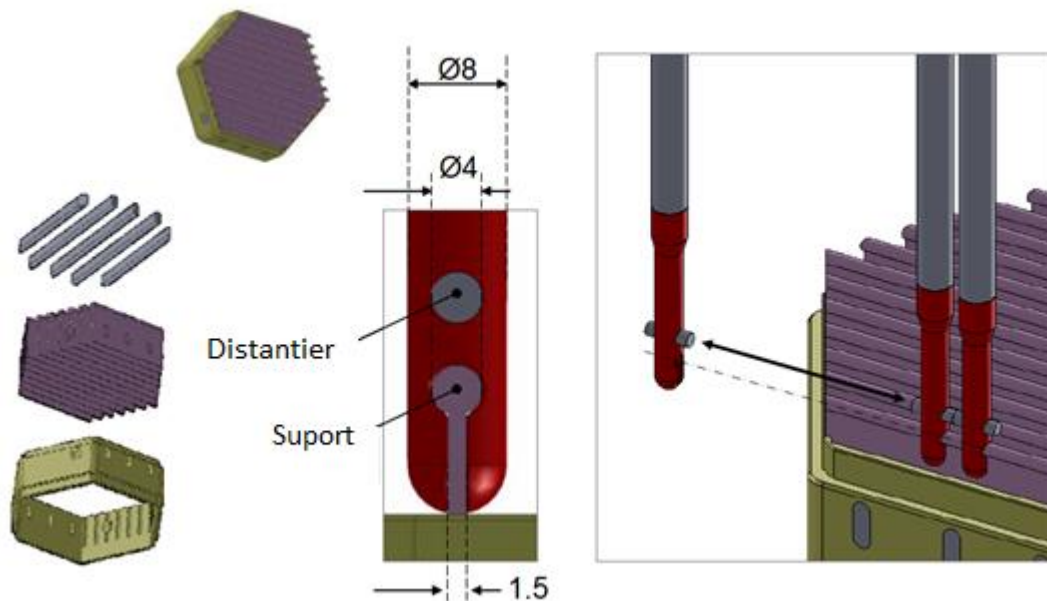


Fig. 5.8 Elemente pentru fixarea pinilor combustibili in caseta ALFRED

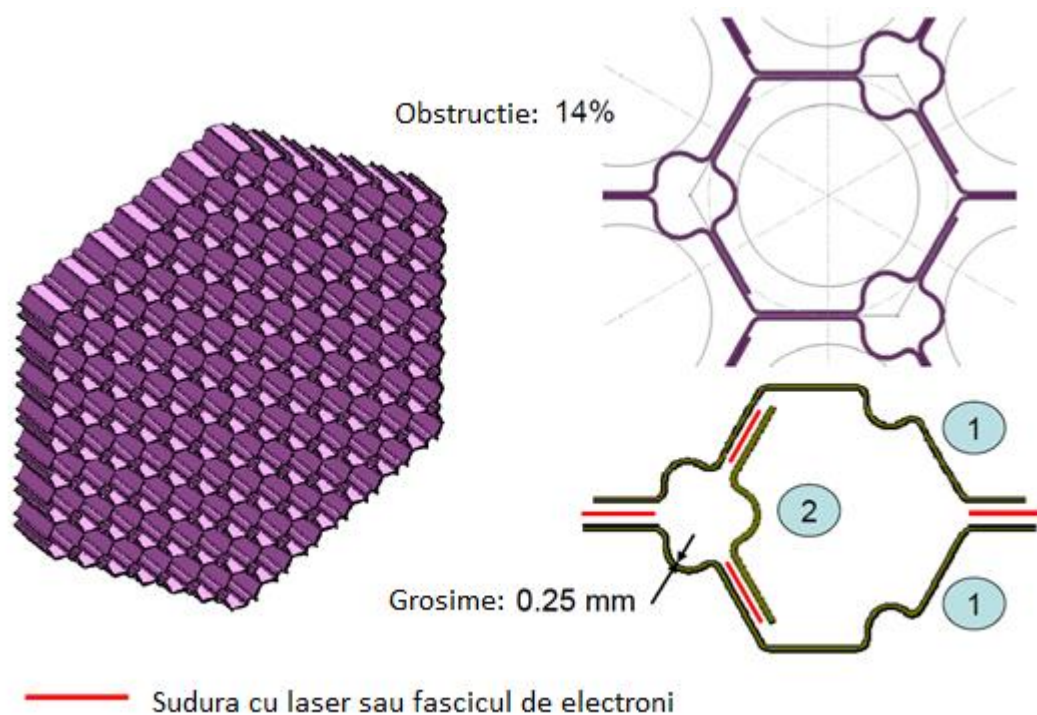


Fig. 5.9 Grila de distanțare a elementelor combustibile ALFRED

În Fig. 5.10 sunt prezentate detaliile geometrice la nivelul secțiunii îngustate („funnel”) a casetei de combustibil pentru ALFRED, iar în Fig. 5.11 secțiunea cu rol de balast..

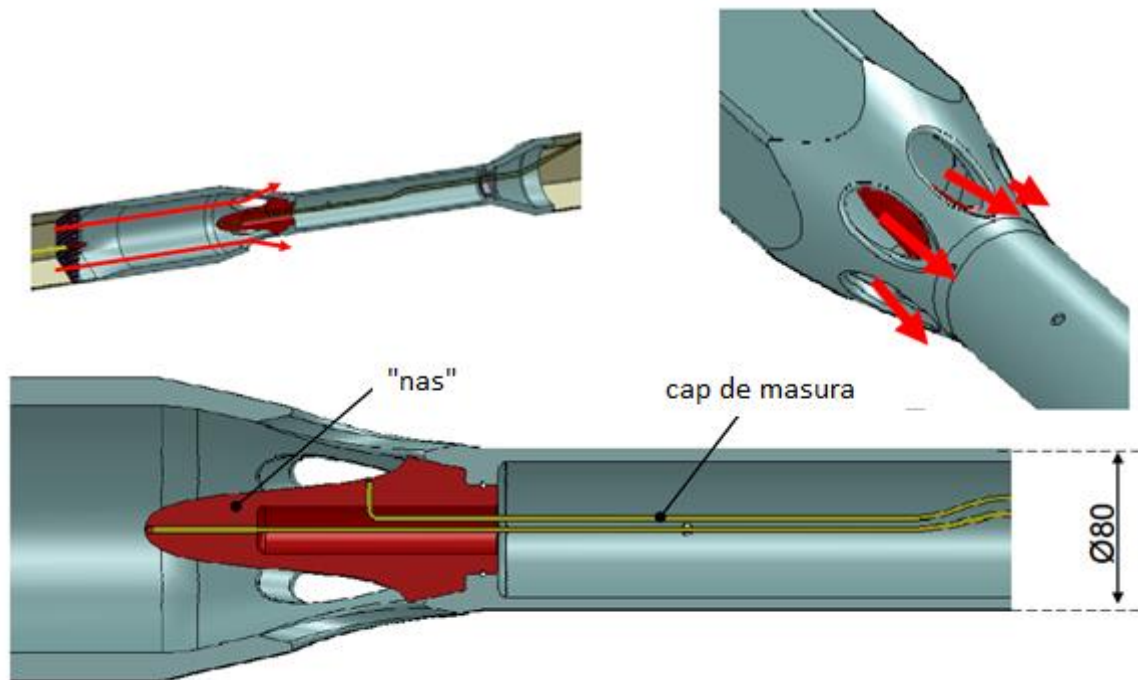


Fig. 5.10 Secțiunea îngustată („funnel”) a casetei de combustibil ALFRED

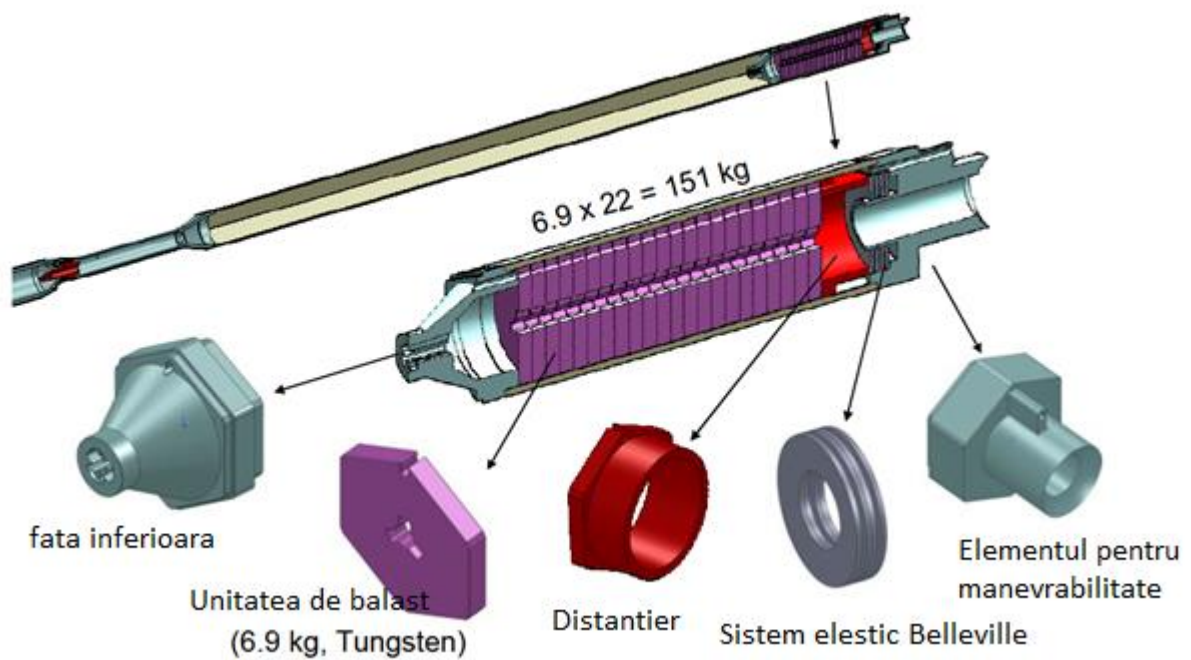


Fig. 5.11 Secțiunea cu rol de balast

In Fig. 5.11 sunt prezentate detaliile geometrice la nivelul secțiunii de prindere in grila superioara a casetei ALFRED.

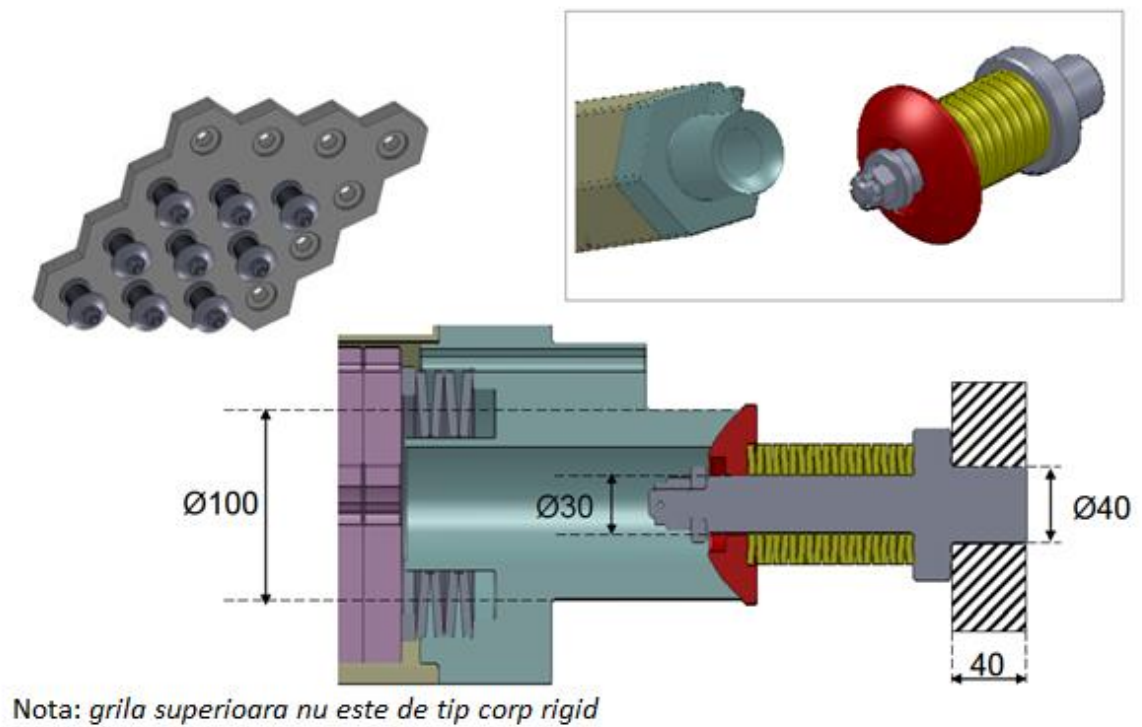


Fig. 5.12 Secțiunea de prindere in grila superioara a casetei ALFRED

6. Descrierea mașinii de încărcat/descărcat

Mașina de încărcat/descărcat (MID) are rolul de a extrage o caseta data din locația curentă și a o muta într-o locație liberă sau în sens invers din zona de alimentare în locația de destinație, precum și transferul combustibilului uzat către zona de stocare intermediară (bazinul de stocare umedă a combustibilului ars).

Casetele pot fi casete de combustibil, casete de reflector, casete conținând barele de control sau cele de securitate. Datorită structurii geometrice identice toate aceste tipuri sunt manevrate în mod identic de către MID.

Având în vedere configurația zonei active, mediul de lucru, precum și în special fixarea casetelor în grila superioară MID va trebui să îndeplinească două condiții:

- (1) în timpul extracției MID va bloca toate casetele adiacente, deoarece acestea se află în contact unele cu altele, iar operația de extracție este dedicată unei singure caseți,
- (2) este necesară prevenirea împingerii caseței, în timpul extragerii, de către forța arhimedică creată de densitatea mare a plumbului, ceea ce se poate realiza prin proiectarea unei MID care să asigure continuitatea structurală a caseței și mașinii.

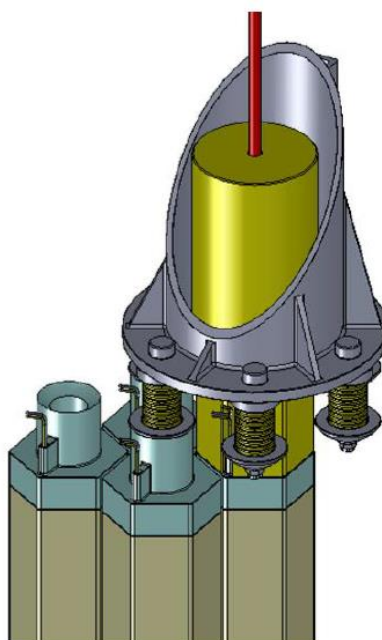


Fig. 6.1 Detaliu MID, blocarea casetelor adiacente pentru extragerea caseței curente

Acestea două condiții vor fi simulate complet de către instalația experimentală HandsON.

Pentru blocarea casetelor adiacente MID utilizează un sistem de arcuri de presiune care permite menținerea casetelor adiacente, în poziția lor normală, în timpul operației de extragere. În Fig. 6.1 este prezentat simplificat conceptul de funcționare.

Pentru realizarea continuității structurale mașina va avea un cap manevrabil, prevăzut cu o terminație de tip cheie. În Fig. 6.2 este prezentată operația de cuplare, urmată de cea de extracție.

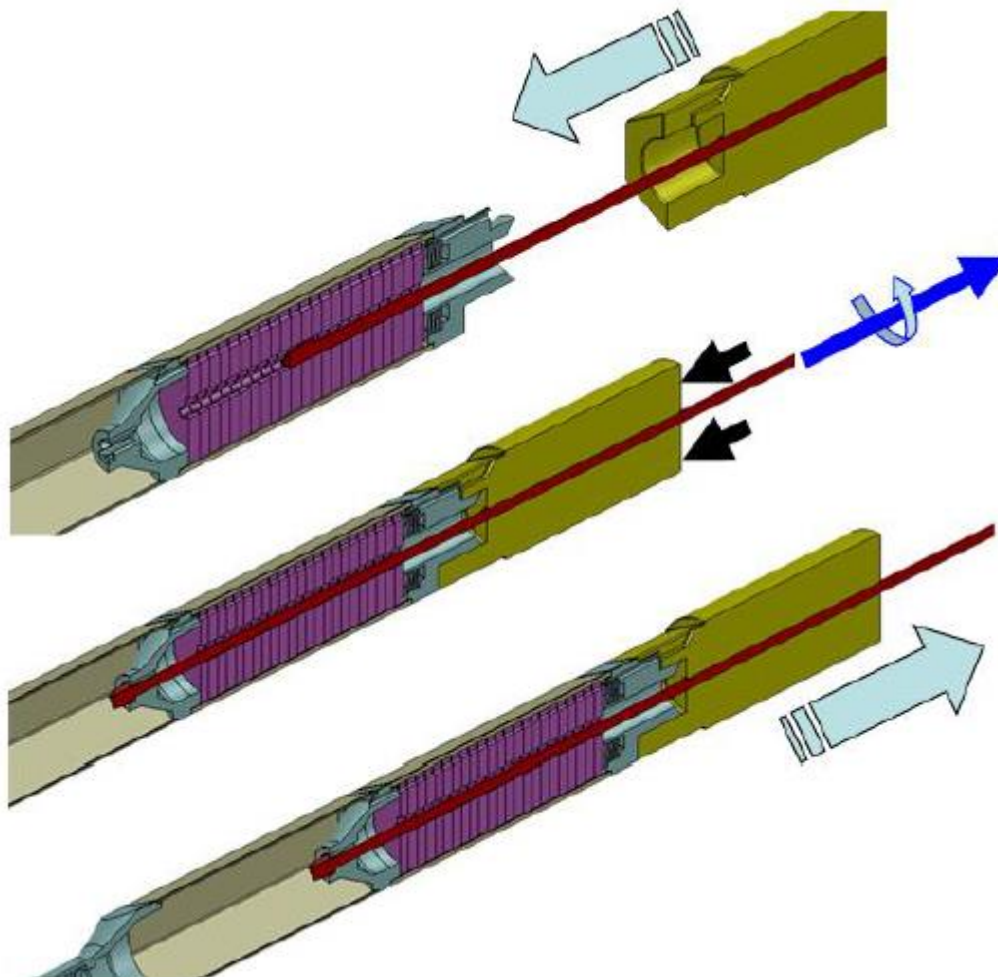


Fig. 6.2 Detaliu MID, continuitatea structurală, capul MID folosit pentru a se cupla cu caseta curentă

Operația de extragere constă în trei pași:

- (1) capul manevrabil al MID se inserează în orificiul existent în partea centrală a secțiunii casetei corespunzătoare zonei de balast (Fig. 5.11),
- (2) după inserarea completă, capul este rotit cu 60° în jurul axei verticale pentru a garanta conectarea capului de tip cheie cu capul de prindere a fetei inferioare a secțiunii de balast,
- (3) după aceasta capul mașinii este tras pentru a crea tensiunea necesară; după atingerea acestei condiții caseta poate fi manevrată de către MID.

În Fig. 6.3 sunt prezentate detaliile privind rotația capului MID și poziționarea acestuia pentru extragere.

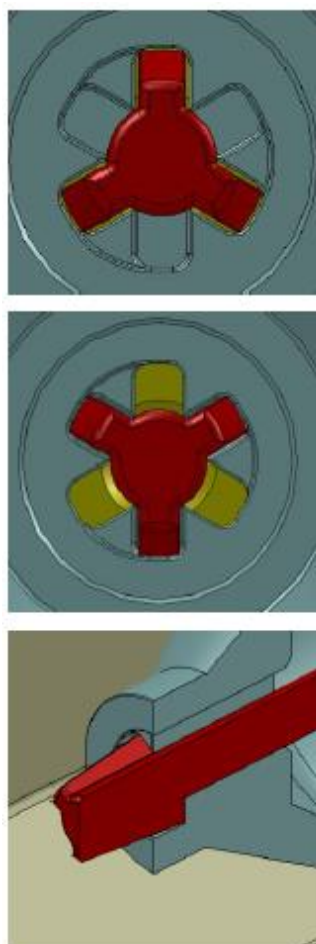


Fig. 6.3 Detaliu MID, operația de rotație a capului și poziționare finală pentru extragere, prin cuplarea la fața inferioară a secțiunii de balast

Operația de introducere în locația de destinație va consta din aceeași pași ca la cea de extragere dar parcurși în sens invers.

În cazul transferului unei casete în zona de stocare (bazinul de stocare a combustibilului ars, Spent Fuel Pool, SFP) poziționarea va fi similară, prinderea în grila inferioară va fi identică, iar pentru grila superioară sunt necesare detalii de proiectare a SFP. Acestea vor fi stabilite ulterior, nefăcând obiectul investigației curente.

În cele prezentate anterior au fost descrise operațiile efectuate de MID pentru extragerea unei casete de combustibil, sau a unei casete conținând bare de control/securitate. Operațiile acoperă spectrul de operații necesare pentru etapa 1, constând în testarea la rece, adică testarea fără plasarea casetelor de combustibil într-un mediu de plumb topit.

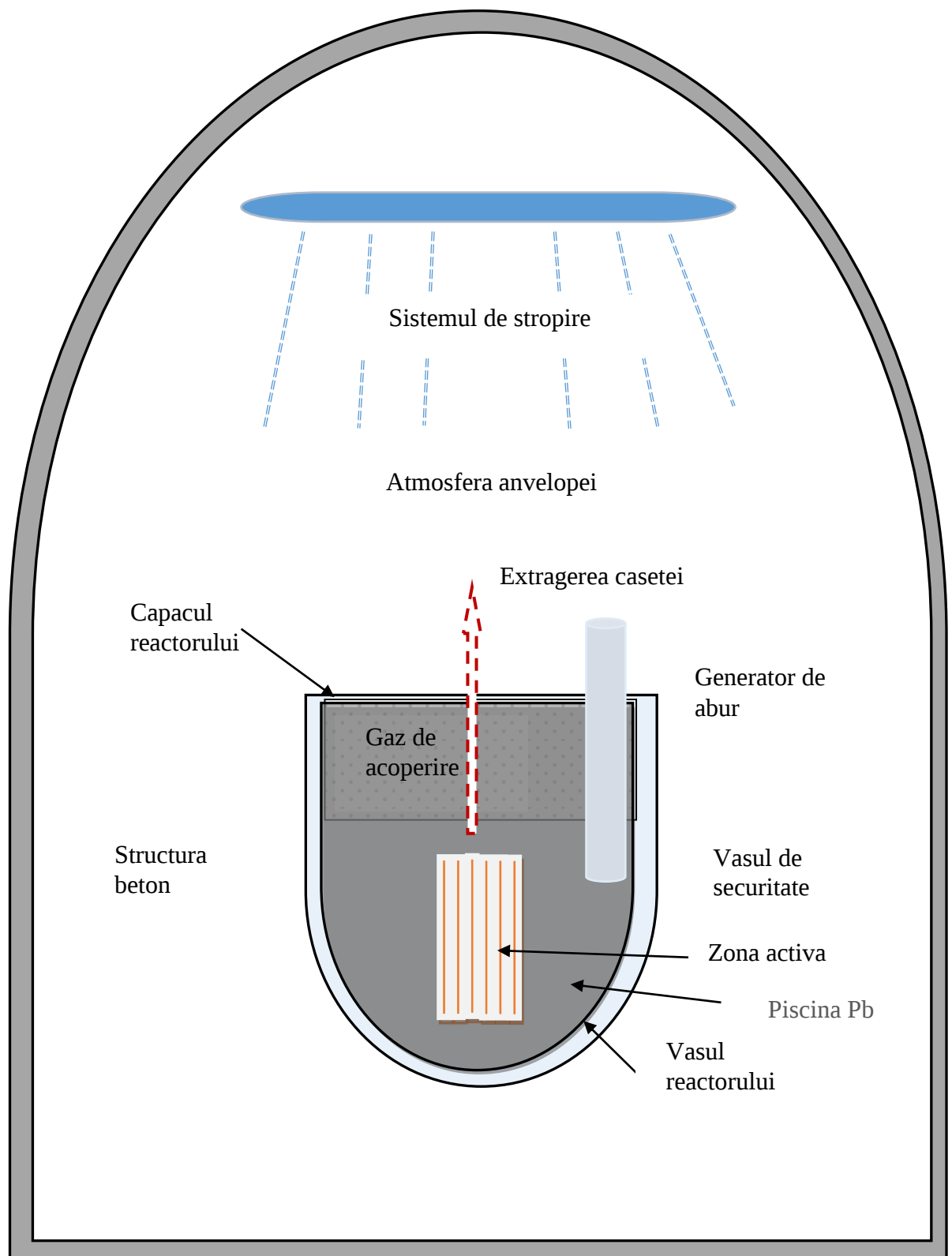


Fig. 6.4 Schița pentru conceptualizarea extragerii casetei aflată în mediu cu plumb topit

În cazul real al ALFRED și LFR casetele se afla într-o piscină cu plumb topit. Deasupra plumbului se afla gazul de acoperire având mai multe roluri, printre care și rolul de mediu de izolare față de exterior. Gazul de acoperire este un gaz nobil (spre exemplu argon) care să minimizeze interacțiunile de natură chimică cu agentul de răcire, plumbul topit.

În timpul operării normale gazul de acoperire, aflat în partea superioară a vasului reactorului, este menținut la o presiune și temperatură constantă prin intermediul unui sistem dedicat. Acesta este prevăzut și cu elemente de filtrare în vederea menținerii purității chimice a gazului prin eliminarea impurităților intrare în gaz.

Casetele de combustibil proaspăt trebuie aduse din depozitul de combustibil proaspăt și introduse în zona activă fără a produce oxidarea semnificativă a plumbului. În mod corespunzător extragerea unei casete cu combustibil ars și transferarea acesteia către sistemul SFP nu trebuie să conducă la formarea de oxizi ai plumbului în piscina reactorului.

Datorită acestei cerințe stringente în situația reală manevrarea combustibilului va fi realizată prin introducerea casetei de combustibil într-un container etanș. Acest container va fi extras printr-o ecluză (care să prevină pierderea gazului de acoperire) din vasul exteriorului în atmosfera anvelopei. Operația în sens invers (alimentarea cu combustibil proaspăt) va fi făcută similar prin intermediul containerului manevrat prin ecluză. În Fig. 6.5 este prezentată schema de transfer a unei casete de combustibil ars, din zona activă în SFP.

În Fig. 6.6 este prezentată schema de transfer a casetei și containerului în structura geometrică a zonei active a reactorului ALFRED.

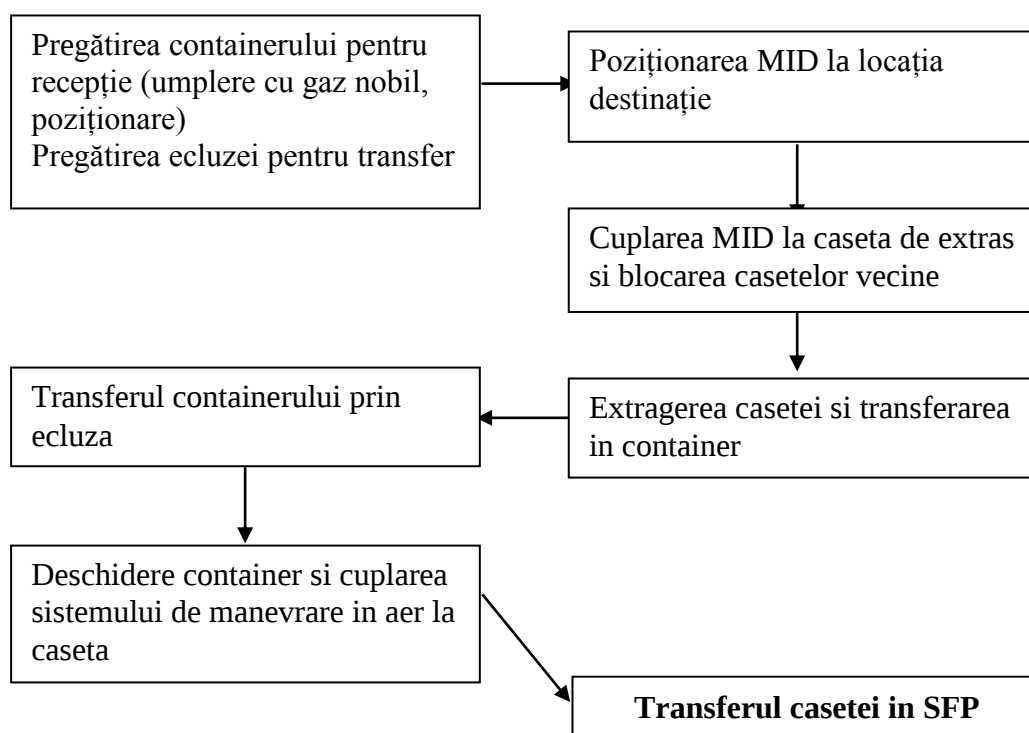


Fig. 6.5 Schema de transfer a casetei de combustibil ars din zona activă în SFP

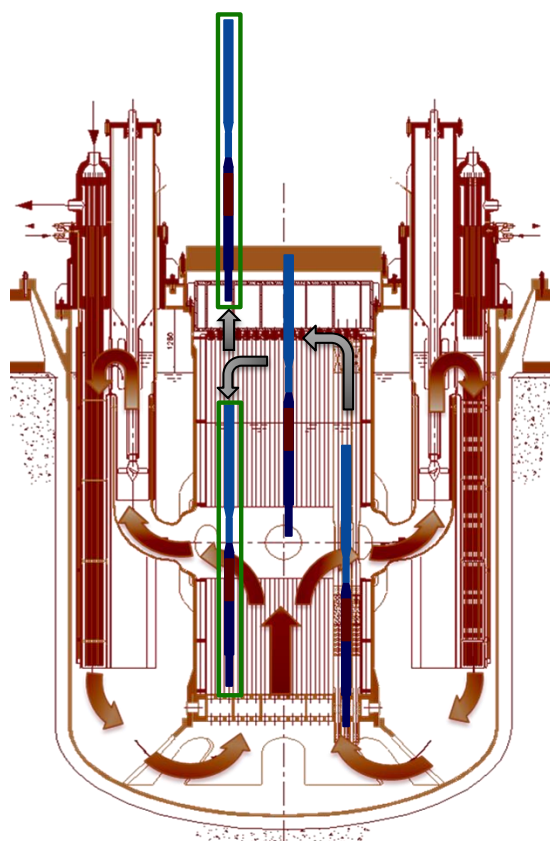


Fig. 6.5 Schema de manevrare a casetei si containerului de transfer in zona activa a reactorului de demonstrație ALFRED

7. Rezultate aşteptate

- (1) Testarea la scara reala 1:1 a manevrabilităţii casetelor de combustibil de combustibil nuclear, in geometria reala a zonei active, in aer (etapa 1) si apoi in plumb topit (etapa 2), in vedere acoperirii activităţilor de demonstrare necesare in programul de autorizare pentru demonstratorul ALFRED,
- (2) Demonstrarea controlului operaţiilor de încărcare, descărcare, re-poziţionare a casetelor de combustibil nuclear, prin teste, realizate in aer (etapa 1) si apoi in plumb topit (etapa 2), privind capabilităţile sistemului de manevrare,
- (3) Demonstrarea funcţionalităţii si fiabilităţii capului MID si a structurii de asamblare a secţiunii de balast a casetelor,
- (4) Demonstrarea funcţionalităţii si fiabilităţii sistemului de transfer in container, extragerea containerului prin ecluza si transferul casetei din container in sistemul de stocare intermediara a combustibilului ars,
- (5) Obţinerea de date experimentale relevante privind manevrabilitatea casetei de combustibil in scopul stabilirii procedurilor exacte de manevrare a casetelor de combustibil.

8. Performante tehnice

Operare în aer (fără plumb) în etapa 1,

Operarea cu extragerea casetelor de combustibil din plumb topit din circuitul primar (ușor presurizat prin intermediul sistemului gazului de acoperire), în etapa 2,

Număr de casete de combustibil simulate=6,

Număr de casete de control-comanda=1,

Număr de casete de reflector=30,

Dimensiuni caseta hexagonală: $D=0.166$ m, $H=7.9$ m,

Dimensiuni piscină: diametru interior=1.4 m, înălțime=10 m,

Dimensiuni clădire: secțiune=15x15m, înălțime minimă= 20 m,

Puterea electrică=250 KW,

Masa totală a casetei (fără plumb) = 464 kg,

Masa secțiunii de balast= $22*6,9$ kg=151.8 kg,

Masa casetei fără balast = 312 kg,

Capacitate maximă pod rulant= 15 t,

Conținutul maxim admis de oxigen în atmosfera camerei inerte= 10^{-7} wt%,

Manevrabilitate MID: electrică, în coordonate cilindrice (R, φ, Z) acoperind zona de lucru,

Manevrabilitate asigurată de operator: din camera de comandă

Precizie poziționare MID: 1 mm,

Personal de operare: 4 persoane (pe schimburi)

9. Structura conceptuala

Zona activa a reactorului ALFRED a cărei secțiune transversala este prezentata in Fig. 1.2 prezinta simetrie sectoriala de 90° . Pe baza acesteia poate fi aleasa o porțiune reprezentativa a zonei active, conform Fig. 9.1. Aceasta conține:

- (1) Casete de combustibil din zona interioara (îmbogățire mai mica),
- (2) Casete de combustibil din zona exterioara (îmbogățire mai mare),
- (3) Casete de reflector,
- (4) Bare de control,
- (5) Bare de securitate.

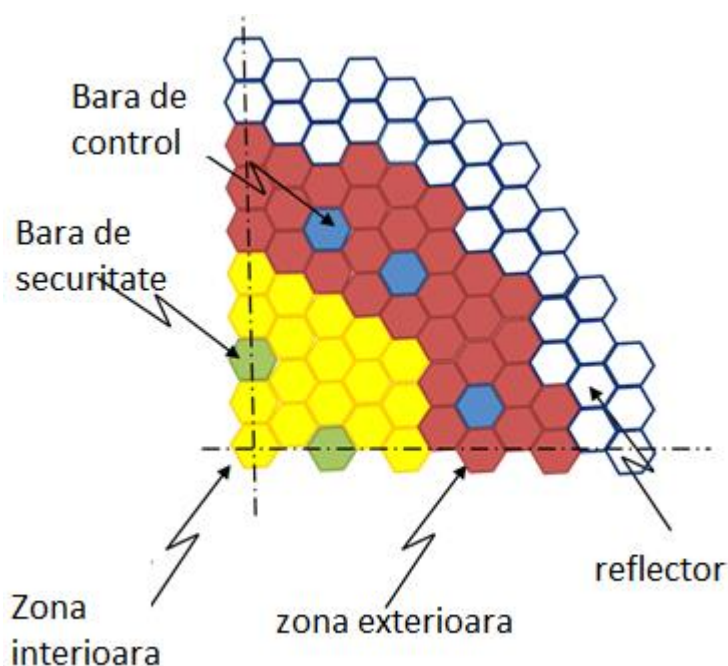


Fig. 9.1 Structurarea radiala a zonei active a reactorului ALFRED

In instalația experimentală HandsON structura minimală a zonei active va fi cea din Fig 9.2. Zona activă va conține 6 casete de combustibil (simulate la scara reală), 1 caseta de material absorbant (plasată central), înconjurată de 2 inele de casete de reflector (în total 30 de casete de reflector).

Structura va conține toate elementele de fixare ale casetelor. Zona activă va fi umplută, în etapa a 2-a cu plumb topit, la parametri nominali din ALFRED. Încălzirea se va face cu încălzitoare electrice.

Pentru a include configurația geometrică propusă diametrul intern al piscinei va fi de 1.4 m. Adâncimea piscinei va fi de circa 10 m astfel încât să simuleze la scară 1:1 situația din ALFRED, în vederea unei simulări reale a extragerii casetelor din reactor.

Din punct de vedere axial se va respecta integral structura casetei, conform proiectului conceptual al reactorului ALFRED.

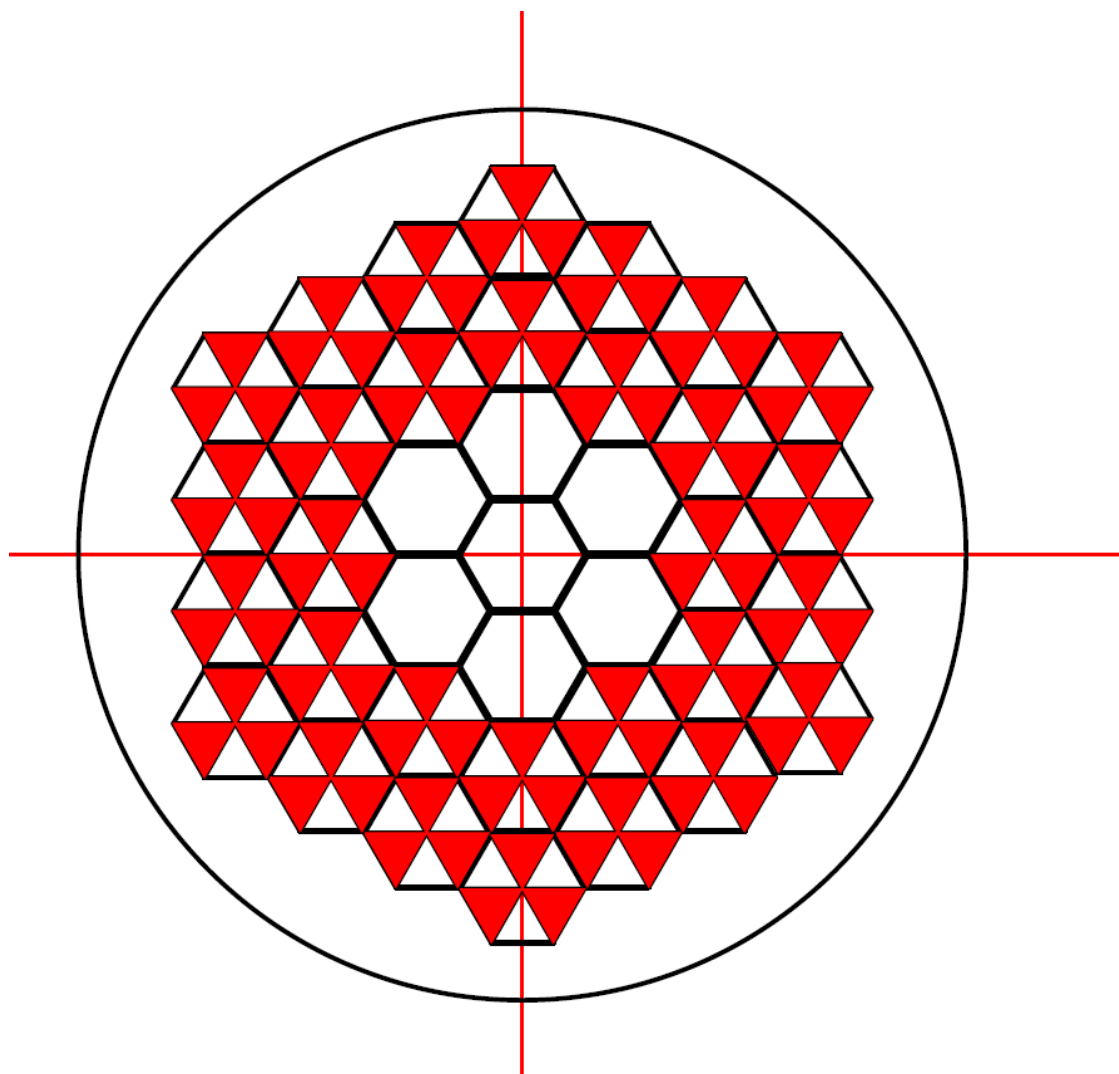


Fig. 9.2 Configurația minimală a zonei active simulate în instalația experimentală HandsON

Toate casetele vor avea dimensiuni identice corespunzând structurii de caseta din demonstratorul ALFRED. Casetele de combustibil vor fi prevăzute cu încălzitoare electrice pentru a simula căldura reziduală. Containerul de transfer va fi prevăzut cu elemente de suport pentru fixarea sa în afara zonei active după extragerea casetei de combustibil, în scopul simulării plasării în structura de depozitare intermediară.

Procesul de descărcare a unei casete de combustibil consta in următorii pași:

- (1) Mutarea laterala a casetelor de reflector din regiunea cea mai apropiata pentru caseta de extras; in Fig. 9.3 este prezentat acest pas, caseta care urmează sa fie extrasa fiind marcata cu culoarea roz

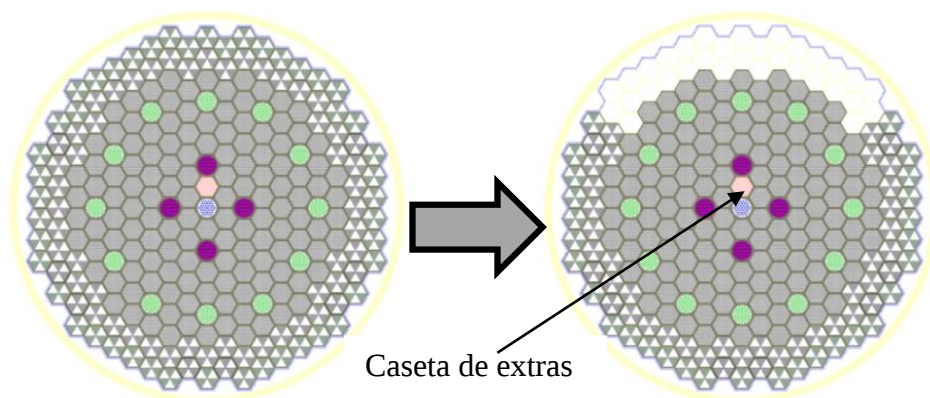


Fig. 9.3 Pasul 1: Mutarea casetelor de reflector

- (2) Mutarea laterala a casetelor de combustibil adiacente casetei de extras pe pozițiile libere ale casetelor de reflector (Fig. 9.4),

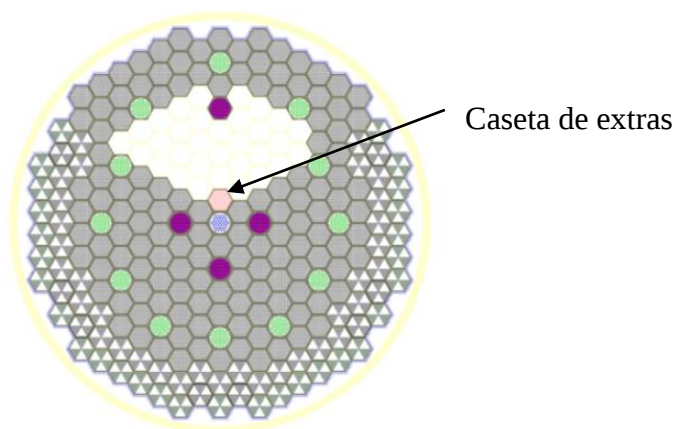


Fig. 9.4 Pasul 2: Mutarea casetelor de combustibil din zona adiacenta a casetei de extras

- (3) Introducerea containerului de transfer in zona adiacentă (libera) a casetei ce va fi extrasa a (Fig. 9.5), fixarea containerului in grila inferioară,

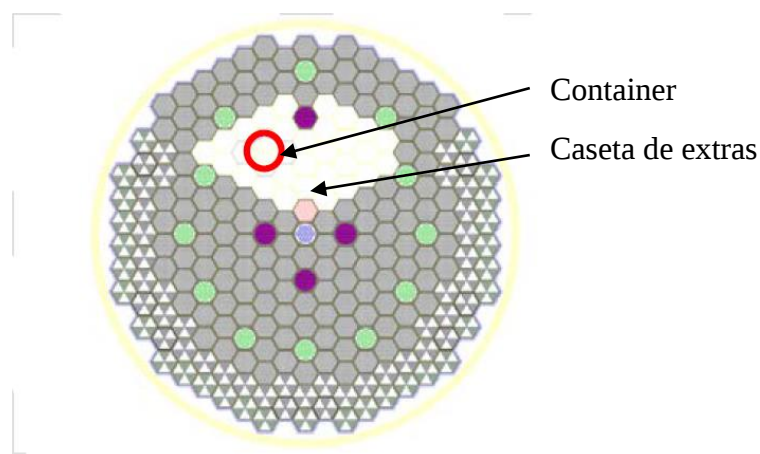


Fig. 9.5 Pasul 3: Introducerea containerului într-o poziție apropiată
casetei de extras

- (4) Mutarea prin semi-ridicare și tragere laterală a casetei în container,

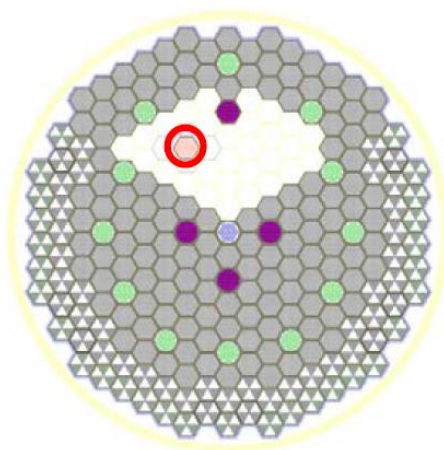


Fig. 9.6 Pasul 4: Introducerea casetei de extras în containerul de transfer

- (5) Închiderea și etanșeizarea containerului,
(6) Scoaterea containerului în zona de deasupra vasului cu plumb, în atmosfera liberă de oxigen,
(7) Plasarea containerului etanșeizat în locația de stocare temporară,
(8) Refacerea configurației prin mutarea în pozițiile inițiale a tuturor casetelor (combustibil și reflector) relocalizate la pașii (1) și (2).

Conceptul de manevrare a combustibilului ars (prin utilizarea containerului de transfer) are următoarele avantaje:

- (1) Imersarea continua in plumb a casetei de combustibil ars permite răcirea in siguranța a elementelor combustibile prin recircularea plumbului din container si evacuarea căldurii prin peretele containerului plasat in atmosfera sau in apa,
- (2) Este posibila proiectarea unei configurații care sa permită răcirea in atmosfera, in locul răcirii într-o piscina clasica cu apa (bazin de stocare combustibil ars),
- (3) Containerul poate fi prevăzut cu instrumentație de monitorizare continua a casetelor de combustibil,
- (4) Conceptul permite examinarea cu ușurință a combustibilului ars, la orice moment de timp;

Instalația experimentală HandsON va fi folosită, in principal, pentru validarea procedurii de manevrare descrisa anterior. In plus instalația va permite:

- (1) Măsurarea temperaturii la nivelul casetei de combustibil si al containerului in vederea verificării răcirii corecte in timpul operațiilor de manevrare (inclusiv va permite simularea situațiilor accidentale in procesul de manevrare).
- (2) Măsurarea solicitărilor (tensiunilor apărute) in timpul operării,
- (3) Simularea tuturor operațiilor de manevrare pentru casete care au suferit deformări in timpul iradierii.

In Figura 9.7 este prezentata structura conceptuala a instalației experimentale HandsON. In etapa a 2-a (testarea manevrabilității casetelor de combustibil plasate in plumb topit) deasupra piscinei cu plumb topit va fi amplasata o camera cu gaz inert in vederea eliminării oxidării plumbului din piscina si container in timpul operațiilor de manevrare.

Camera inerta

In camera inerta conținutul maxim admis de oxigen va fi de 10^{-7} wt%. Camera va include mașina de încărcat descărcat (MID) si podul rulant. Podul rulant va avea o capacitate maxima de 15 t.

MID

Mașina de încărcat-descărcat va fi capabila sa manevreze casetele de combustibil, casetele de absorbant, casetele de reflector precum si containerul de transfer.

Containerul de transfer

Containerul de transfer va avea dimensiunile necesare pentru a găzdui in interiorul sau casetele de combustibil la dimensiunile reale din reactorul de demonstrație ALFRED. Containerul va fi prevăzut cu încălzitoare electrice capabile sa mențină plumbul in stare lichida in orice moment al operațiilor de manevrare. Containerul va fi închis si etanșeizat înainte de extragerea din piscina si plasarea in camera inerta, in vederea evitării oxidării plumbului, precum si a eliberării de vapori de plumb in atmosfera camerei. In afara camerei inerte containerul va fi plasat intr-un suport special prevăzut pentru susținerea acestuia in poziție verticala.

Instrumentația

Instalația experimentală HandsON va include instrumentația necesară pentru controlul tuturor operațiilor de manevrare sau a altor operații experimentale. Pentru temperatura vor fi folosite termocuple plasate în piscina cu plumb, precum și în containerul de transfer. Termocuplele vor fi plasate în volumul de plumb, precum și pe suprafețele de interes (teci elemente combustibile, pereți container, etc.). De asemenea vor fi utilizați senzori (spre exemplu mărci tensometrice) pentru controlul tensiunilor și deformărilor induse de manevrarea casetelor.

Clădirea

Clădirea care va adăposti instalația HandsOn va avea o secțiune orizontală de 15x15 m și o înălțime de 20-30 m. Vasul reactorului ALFRED are circa 10 m. Pentru a permite inserarea sau extragerea de casete este nevoie de încă 10 m, în total 20m. La această înălțime trebuie adăugat un spațiu de rezervă pentru podul rulant și MID. Pe de altă parte, se poate lua ca variantă de lucru realizarea zonei active într-o cavitate sub cota zero, ceea ce va reduce din înălțimea clădirii. Aceste aspecte vor fi rezolvate în cadrul proiectului conceptual.

Puterea electrică

Puterea estimată pentru operarea instalației experimentale HandsON este de aproximativ 250 kW.

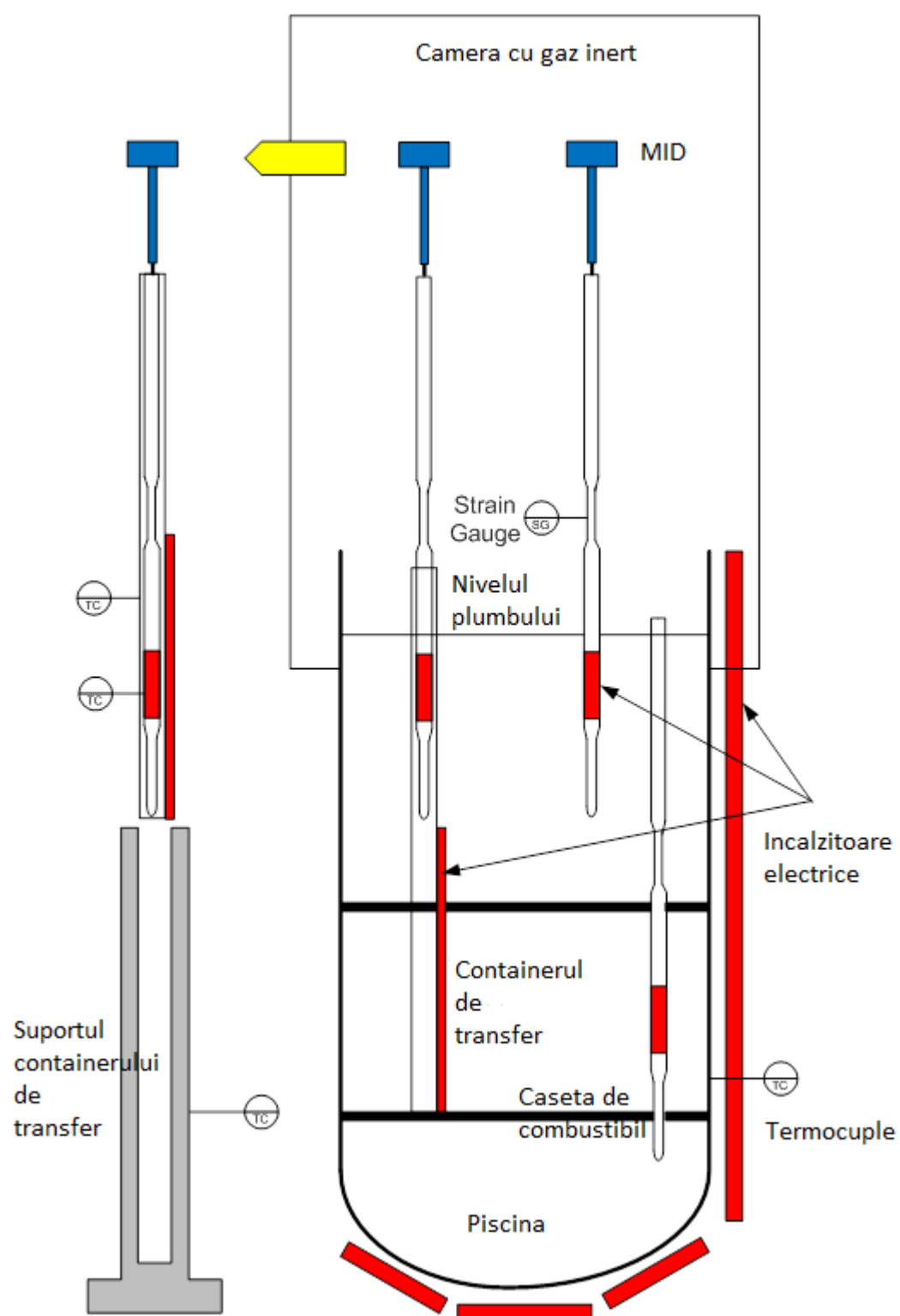


Fig. 9.7 Structura conceptuala a instalației experimentale HandsON

10. Elemente de investigație pentru proiectul conceptual

În cadrul proiectului conceptual vor fi investigate următoarele:

- (1) Definirea de soluții de proiectare pentru sistemul de manevrare, în aer (etapa 1) și apoi în plumb topit (etapa 2), a combustibilului pentru ALFRED,
- (2) Identificarea soluției optime care să satisfacă cerințele tehnice stabilite pentru ambele etape (etapa 1 – testare în aer, etapa 2 – testare completă în plumb), cu posibilitățile investiționale și cu elementele de sustenabilitate (după perioada de realizare a demonstrațiilor aferente reactorului ALFRED); în acest sens proiectul conceptual va investiga posibilitatea amplasării sistemului de manevrare a combustibilului dezvoltat în HandsON în instalația ELF sau în ATHENA și testarea completă în acea configurație, prin comparație cu avantajele și costurile variantei de instalație HandsON independentă,
- (3) Definirea parametrilor de performanță ai instalației și ai instrumentației de măsurare și control,
- (4) Aspecte privind regimul de operare și cel de întreținere, descrierea procedurilor de lucru,
- (5) Definirea soluției pentru amplasarea zonei active (în cavitate sub cota zero, sau deasupra cotei zero) pentru stabilirea regimului de înălțime al clădirii.

11. Recomandări

În vederea implementării realizării proiectului conceptual al instalației experimentale HandsON și ulterior a implementării, în orizontul de timp planificat pentru realizarea reactorului de demonstrație ALFRED, sunt recomandate următoarele acțiuni:

- (1) investigarea posibilităților de amplasare pe platforma nucleară de la Mioveni ținând cont de setul complet de instalații experimentale propuse pentru investigațiile LFR, precum și de proximitatea altor instalații nucleare și non-nucleare, precum și de disponibilitatea utilităților necesare pentru funcționarea normală a instalației HandsON,
- (2) investigarea posibilităților de amplasare în concept de cluster (instalațiile experimentale suport pentru ALFRED grupate în aceeași zonă a platformei nucleare Mioveni), precum și investigarea folosirii unor spații existente care ar putea găzdui instalația HandsON,
- (3) realizarea proiectului conceptual în care să fie introduse detaliile constructive, funcționale și tehnologice, dimensionarea instalației pe baza condițiilor necesare pentru simularea completă a situațiilor operaționale din ALFRED.

12. Concluzii

(C1) Raportul prezinta detaliile structurale ale casetelor de combustibil si amplasării acestora in structura zonei active, precum si conceptul mașinii de încărcat - descărcat, in vederea definirii conceptuale a instalației experimentale HandsON destinata demonstrării manevrabilității casetelor, in aer (etapa 1) si apoi in plumb topit (etapa 2), adică a operațiilor de încărcare, descărcare si repoziționare a casetelor in zona activa a demonstratorului ALFRED.

(C2) Datorita tipologiei geometrice comune folosite pentru casetele de combustibil, casetele de reflector, casetele cu bare de control sau bare de securitate testarea extragerii si repoziționarea acestora va fi făcută prin intermediul HandsON. Manevrabilitatea mașinii de încărcat - descărcat va fi realizata in coordonate cilindrice, cu o precizie de 1 mm fata de centrul casetei țintă. Mașina va fi capabila sa mute casetele in interiorul zonei active, sa mute containerul de transport in locația țintă, sa introducă caseta de extras in container, sa etanșezeze containerul si sa-l extragă din zona activa, sa transporte containerul in locația de depozitare intermediara.

(C3) Lucrarea oferă elementele conceptuale principale (structura geometrica a instalației, componente, funcționalitate, instrumentație) in vederea lansării activității de proiectare conceptuala, pe baza căreia se va realiza, ulterior, studiul de fezabilitate.

(C4) Lucrarea oferă un set de recomandări pentru realizarea proiectului conceptual, inclusiv formularea principalelor elemente de investigație necesare.

11. Referinte

- [1] https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_59461/generation-iv-systems
- [2] “ALFRED, Advanced Lead-cooled Fast Reactor Demonstrator”, GIF, September, 2018
- [3] EU, 2017, „The Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)”, DG RTD, DG Energy, JRC doi:10.27777/48982.
- [4] SNETP Strategic Research and Innovation Agenda, February 2013
- [5] <http://www.snetp.eu/esnii/>
- [6] P. Agostini, A. Alemberti, M. Apostol, M. Constantin, D. Diaconu, M. Frignani, G. Grasso, D. Gugiu, M. Nitoi, M. Tarantino, I. Turcu, G. Villabruna, „Elements of the ALFRED Project”, FALCON-PUB-GOP-001, prezentat la sedinta Comitetului Executiv ESNII, Brussels, 21 martie 2018
- [7] M. Constantin, „Elemente strategice privind dezvoltarea filierei LFR in cadrul FALCON”, RATEN-ICN, RI-11358-2017
- [8] [ALFRED DB] E.Bubelis, K.Mikityuk, “Plant Data for the Safety Analysis of the ETDR (ALFRED)”, FP7-LEADER, TEC58-2012
- [8] M.Teodorescu, „Studiu privind amplasarea instalațiilor experimentale suport pe amplasamentul ICN” , PRO-ALFRED, WP1-L1.6, Nov. 2019

Glosar

AIEA=Agenția internațională pentru energie atomică,
ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator)=Demonstratorul european al tehnologiei reactoarelor rapide răcite cu plumb,
ATHENA=instalație experimentală de tip piscină, pentru tehnologia LFR,
ChemLab=laboratorul chimic dedicat tehnologiei LFR,
CR (Control Rods)=bare de control și comanda,
DHR (Decay Heat Removal)=sistemul de evacuare a căldurii reziduale,
Dpa (deplacement per atom)=indicator de impact al radiației asupra materialelor, deplasări per atom,
EIA (Energy International Agency)=Agenția Internațională pentru energie,
ELF= instalație experimentală de simulare electrică a reactorului de demonstrație ALFRED
ESNII (European Sustainable Nuclear Industry Initiative)=Inițiativa industriei nucleare europene,
HLM (Heavy Liquid Metal)= tehnologii bazate pe metale grele lichide,
HP (High Presssure)= partea de înaltă presiune,
IC (isolation condenser)= sistem de condensare a aburului,
ISI (in-service inspectie)= activități de inspecție,
LFR (Lead Fast Reactors)= tehnologia reactorilor cu neutroni rapizi, răciți cu plumb,
LOCA (Loss of Coolant Accident)=accidentul de pierdere a agentului de răcire,
LP (Low Presssure)= partea de joasă presiune,
MID=mașina de încărcat/descărcat,
MOX (Mixed Oxide)=combustibil format din amestec de oxizi de uraniu și plutoniu,
NEA (Nuclear Energy Agency)= Agenția pentru energie nucleară,
PP (Primary Pump)=pompa de circulație în sistemul primar,
RATEN=Regia autonomă tehnologiei pentru energia nucleară,
RATEN ICN=Institutul de Cercetări Nucleare,
RV (Reactor Vessel)=vasul reactorului,
SET Plan (Sustainable Technology Plan)= Planul pentru tehnologii durabile,
SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform)=platforma tehnologică pentru energie nucleară sustenabilă,
SMR (Small Modular Reactor)=reactor modular mic,

SFP (Spent Fuel Pool) = piscina de stocare a combustibilei ars

SG (Steam Generator)=generator de abur,

SR (Safety Rods)=bare de securitate,

SV (safety vessel)= vasul de securitate.