



WP1-L1.1,
Raport privind definirea conceptuala a
instalatiei HELENA2
Pachet de Lucru: WP1
Activitatea: A1.1-1

Responsabil livrabil: Marin CONSTANTIN (RATEN)

Autori: Marin CONSTANTIN (RATEN)

Marian HOROROI (RATEN)

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			
Funcția	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		
	Marian HOROROI		

CUPRINS

Rezumat	4
1. Introducere	5
2. Scop si obiective	9
3. Necesitatea si oportunitatea realizării investiției	10
4. Fenomenologie investigata	12
5. Rezultate aşteptate	17
6. Performante tehnice	18
7. Structura conceptuala.....	19
8. Elemente de investigație pentru proiectul conceptual	26
9. Recomandări	27
10. Concluzii	28
11. Referinte.....	29
Anexa A - Tema de proiectare	30
Glosar	39

Rezumat

Prezentul raport conține elementele de definire conceptuală pentru instalația HELENA2. Aceasta 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 sistemele nucleare de tip LFR, cu aplicație directă la configurațiile specifice ale reactorului de demonstrație ALFRED. 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 cu claritate elementele de investigații experimentale 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 competențe 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.

L1.1 – Raport privind definirea conceptuală a instalației HELENA2



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

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

Instalația experimentală **HELENA2** este destinată testării regimurilor de curgere (forțată si naturală) in circuit de tip buclă, testării comportării casetelor de combustibil, precum si 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 si echipamentelor (spre exemplu pompe si vane) in regimurile termohidraulice menționate, inclusiv testarea la coroziune. Scopul central consta in testarea, la scara reală, a comportării casetelor de combustibil pentru demonstratorul ALFRED in regimurile specifice de curgere. Toate secțiunile casetei combustibile vor fi simulate electric in mod corespunzător. Instalația va permite investigația de comportare in circulație forțată a agentului de răcire, precum si in regim de circulație naturală. Domeniul de temperatura, viteza de curgere a plumbului lichid, conținutul de oxigen sunt cele specifice tehnologiei LFR si ALFRED ($T_{max}=600^{\circ}C$, $v_{max}=2$ m/s, $c_{max,O_2}=10^{-8}\div 10^{-9}$ wt.%), Parametrii operaționali vor fi monitorizați on-line prin instrumentație adecvată. Instalația va fi prevăzută cu secțiuni capabile sa testeze casete de combustibil, bare de control si bare de oprire, eroziune/coroziune si testarea vanelor.

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

Meltin'Pot este o instalație experimentală destinată investigării fenomenologiei asociate accidentelor severe in sisteme nucleare cu neutroni rapizi si răcire cu plumb pur. In principal este vizată investigarea interacțiunii dintre combustibil, teacă si agentul de răcire. Instalația va fi de tip piscina de dimensiuni reduse destinată testării dispersării combustibilului in timpul unui accident sever, precum si retenției produșilor de fisiune. Instalația va cuprinde instrumentație adecvată de monitorizare si achiziție de date, precum si aparatura de analiza de laborator cuplată. Totodată instalația va permite investigarea fragmentării combustibilului in timpul unui accident sever si transportul acestor fragmente prin intermediul agentului de răcire. In acest scop pentru simularea transportului in configurația specifică este propusă realizarea unei bucle mici de circulație a plumbului.

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.

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.

ALFRED este reactorul de demonstrație al tehnologiei LFR. Principalele caracteristici sunt prezentate în Tabelul 1.1.

Tabelul 1.1 Principalele caracteristici tehnice ale demonstratorului ALFRED

Putere termică [MW _{th}]	300
Putere electrică [MW _e]	125
Agent de răcire (circuit primar)	Plumb pur
Sistemul primar	Tip piscină, compact
Circulația agentului de răcire în primar: - operare normal - situații de urgență	Circulație forțată Circulație naturală
Viteza maximă de circulație a plumbului [m/s]	2
Temperatura de intrare (zona activă) [°C]	400
Temperatura de intrare în generatorul de abur [°C]	480
Ciclul de răcire în secundar	Apa - abur supraîncălzit
Temperatura apei de alimentare (feed-water) [°C]	335
Presiunea aburului [(MPa)]	18
Eficiența ciclului [%]	40
Deteriorarea structurală maximă, DPA maxim [dpa]	2
Tip combustibil	MOX (imbog.max Pu 30%)
Grad de ardere maxim la descărcare [MWd/kg-HM]	90÷100
Deteriorarea maximă a tecilor prin interacțiunea cu	100

neutronii [dpa]	
Temperatura maxima a tecii la operare normala [°C]	550

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

Prezentul raport este dedicat prezentării rezultatelor studiului de definire a elementelor de baza pentru demararea activităților de realizare a proiectului conceptual, pentru instalația experimentală **HELENA2**.

2. Scop si obiective

HELENA2 este o instalație experimentală de tip buclă pentru investigarea regimurilor termohidraulice și pentru testarea de componente ale tehnologiei LFR.

Instalația este dedicată realizării de teste, investigații, precum și pentru demonstrarea controlului complet al proceselor fizico-chimice care au loc în plumb pur aflat în regim de circulație naturală sau forțată.

Scopul principal constă în testarea la scala 1:1 a casetei de combustibil nuclear pentru reactorul ALFRED, în condițiile de solicitare maximă (putere termică, regim de curgere)..

Obiectivul principal al realizării HELENA2 constă în:

(OP) construirea unei instalații experimentale care să ofere capacități complete pentru studiul comportării componentelor LFR în regimul termohidraulic caracteristic sistemelor nucleare de tip LFR.

Obiectivul secundar constă în:

(OS) obținerea unei configurații care să permită testarea, conform cerințelor de autorizare caracteristice cadrului de reglementare existent, a casetelor de combustibil pentru demonstratorul ALFRED.

Caseta va fi realizată la dimensiunile reale furnizate de proiectul conceptual al demonstratorului ALFRED. Condițiile de operare nucleară (puterea termică eliberată de fiecare element combustibil al casetei) vor fi asigurate prin încălzirea electrică a fiecărui element combustibil simulat. Domeniul de temperaturi de funcționare, precum și domeniul de putere este cel caracteristic casetelor de combustibil prevăzute să funcționeze în reactorul de demonstrație 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 reactorilor energetici bazați pe spectru de neutroni rapizi si răcire cu plumb pur, topit. Rezultatele preconizate au, in foarte mare măsură, potențial pentru transfer tehnologic.

Instalația experimentală HELENA2 este destinata acoperirii următoarelor **necesități**:

- (1) Testarea la scara reala 1:1 a comportării casetelor de combustibil in regim de circulație forțată in mediu de plumb topit pur, in vederea acoperirii activităților de investigații necesare in programul de autorizare pentru demonstratorul ALFRED,
- (2) Demonstrarea controlului regimului de curgere la nivel de circulație in sistem bucla, inclusiv investigarea regimului de circulație naturala,
- (3) Obținerea de date experimentale relevante despre distribuțiile de temperatura la nivelul tecilor elementelor combustibile, al subcanalelor de curgere din caseta, precum si al diverselor secțiuni ale casetei de combustibil,
- (4) Obținerea de date experimentale despre distribuția de presiuni in interiorul casetei,
- (5) Obținerea de date experimentale privind comportarea materialelor casetei in regimul de coroziune si eroziune al plumbului topit,
- (6) Testarea de componente, sisteme si echipamente in regim de circulație forțată sau naturala,
- (7) Calificarea unor materiale, componente, sisteme pentru funcționarea in condițiile operaționale din ALFRED,
- (8) Obținerea de date experimentale pentru validarea si verificarea modelelor introduse in coduri de calcul pentru tehnologia LFR.

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, în condițiile oportunităților existente pe piața privind dezvoltarea sistemelor de Generație IV.

4. Fenomenologie investigata

Instalația HELENA2 este dedicată, în principal, investigării comportării casetelor de combustibil ALFRED în regim de circulație forțată sau naturală. Configurația de curgere din reactorul de demonstrație ALFRED este prezentată, simplificat, în Fig. 4.1.

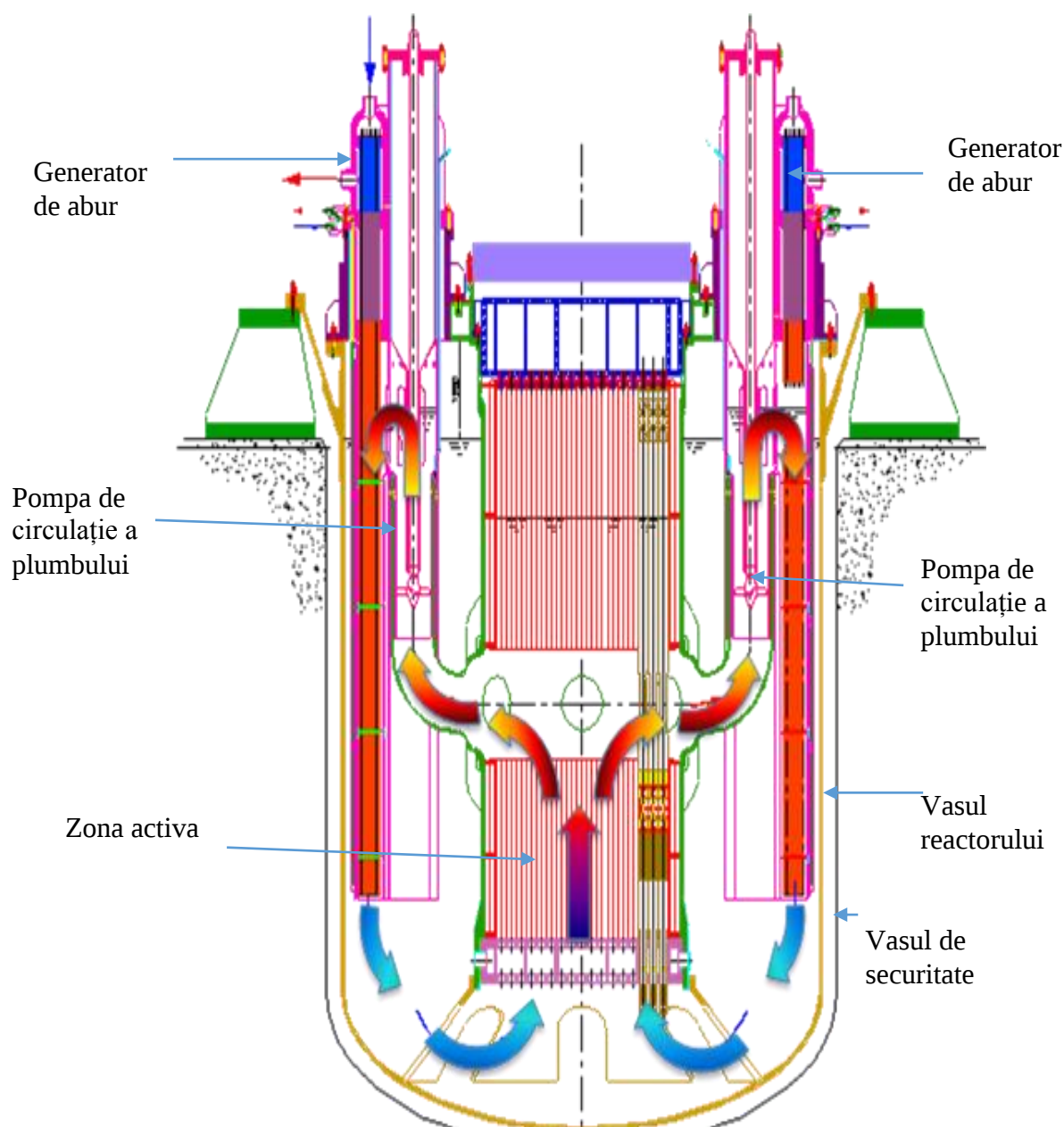


Fig. 4.1 Reprezentare simplificată a curgerii în reactorul ALFRED

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.

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.

Circulația plumbului are loc ascendent prin zona activă, fiind stimulată de pompele de tip centrifugal care antrenează plumbul, precum și de configurația geometrică favorizând circulația naturală.

Plumbul intră ca „plumb fierbinte” prin orificiile inferioare ale casetei în sunbcanalele de curgere și iese în zona pompelor, fiind împins în generatorii de abur. Aici pierde o parte din energie și coboară către partea inferioară a RV, ca „plumb mai rece”. În Fig. 4.1 circulația „plumbului mai fierbinte” este reprezentată prin săgeți roșii, în vreme ce circulația „plumbului mai rece” este reprezentată cu săgeți albastre.

Prin urmare la nivel de caseta plumbul mai rece intră prin partea inferioară, preia căldură evacuată de combustibilul nuclear, și iese ca plumb cald în zona de pompare.

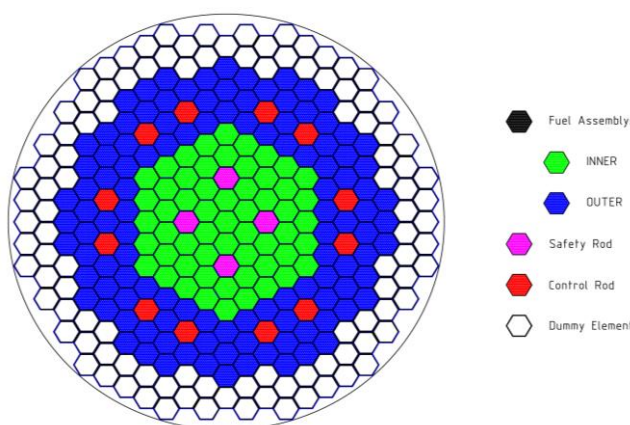


Fig. 4.2 ALFRED – configurația zonei active

Zona activă este bazată pe casete de tip hexagonal specifice reactorilor cu neutroni rapizi (Fig. 4.2). Casetele au dimensiuni geometrice identice indiferent de poziționarea acestora în geometria radială.

Caseta de combustibil este supusa următoarelor fenomene:

- (1) Transfer de căldura prin: convecție (circulația plumbului), conducție (din porțiunea de zona activa in părțile fără surse de căldura), precum si prin radiație (de la pinii combustibili către structuri),
- (2) Coroziune prin atacul chimic pe care plumbul pur îl are asupra materialelor imersate, in special asupra suprafețelor elementelor combustibile, aflate la temperaturi in domeniul de corozieune,
- (3) Eroziune prin curgerea plumbului cu densitate si vâscozitate mare, pe suprafețele materialelor, in special in regim de curgere ne-liniara, sau prin impact in zonele de schimbare rapida a liniilor de curent,
- (4) Impact chimic prin formarea de specii între atomii materialelor de suprafață si plumb,
- (5) Vibrații ale casetei in anumite regimuri de curgere.

Controlul chimic in mediile cu plumb topit, mai general in sistemele cu metale lichide (HLM), precum si monitorizarea permanenta a parametrilor chimici reprezintă un element critic din următoarele motive [8]:

- (1) Coroziunea si/sau disoluția trebuie ținute la un nivel minim pentru a menține materialele structurale in limitele proprietăților de rezistența mecanica, pe întreaga durată de viață a instalației. In acest sens este nevoie de a utiliza metode de limitarea a coroziei, spre exemplu controlul oxigenului (fie la valori foarte scăzute, fi la valori care sa formeze un strat protectiv de oxid pe suprafața materialelor),
- (2) Activarea datorată coroziei, prin pătrunderea produșilor de fisiune in agentul de răcire.
- (3) Aglomerarea de oxizi in locurile înguste, prin intermediul transportului masic dat de curgere. Pentru a evita acest fenomen este nevoie de asigurarea unei stabilități termohidraulice (regim de curgere si regim de transfer termic) pe întreaga durată de viață a instalației care sa evite formarea de oxizi de plumb (PbO). Producerea de oxizi, urmata de transfer masic prin convecție, poate conduce la blocarea canalelor de curgere. Pe de alta parte depozitele formate pot reduce capacitatea de transfer termic la nivel local, putând conduce la formarea de puncte fierbinți („hot spots”),

Din acest motiv este nevoie de demonstrarea controlului chimic in timpul operării. Acesta include:

- (1) Controlul oxigenului,
- (2) Controlul tuturor impurităților relevante, incluzând produșii de corozieune,
- (3) Controlul produșilor de fisiune care au fost eliberați accidental in mediul agentului de răcire.

Controlul oxigenului poate introduce anumite particularități legate de tipul circuitului, viteza de curgere, cantitatea de plumb in discuție.

În cazul instalației HELENA2 circuitul este de tip buclă cu circulație forțată (antrenare cu ajutorul pompei) sau cu circulație naturală. Cantitatea de plumb este mult mai mică decât în demonstratorul ALFRED, precum și cele din instalațiile experimentale ATHENA și ELF. Pentru HELENA2 interesul major constă în coroziunea la nivelul elementelor combustibile, urmată de antrenarea produșilor de coroziune și depozitarea acestora în canalele de curgere sau la nivelul conductelor circuitului.

În cazul controlului oxigenului la un nivel foarte scăzut, este de menționat faptul că originea oxigenului în circuitul de tip buclă (HELENA2) precum și în cele de tip piscină (ALFRED, ATHENA și ELF) vine din:

- (1) operațiile inițiale de pornire ale instalațiilor,
- (2) operațiile de întreținere,
- (3) contaminări accidentale cu oxigen.

În acest caz este necesar un sistem de purificare a oxigenului. Activarea acestuia este obligatorie pentru:

- (1) pornire,
- (2) re-start,
- (3) faza de întreținere.

Controlul oxigenului presupune monitorizarea permanentă a acestuia, purificarea sau adăugarea de oxigen în sistem. Pentru aceasta pentru orice tip de instalație HLM vor fi definite următoarele:

- (1) limita maximă permisă a concentrație de oxigen în sistem, în vederea evitării contaminării agentului de răcire cu oxizi,
- (2) limita minimă a concentrație de oxigen în sistem, în vederea realizării stratului protectiv la coroziune, pe suprafața materialelor de interes (limita este dependentă de material),
- (3) strategia de control a oxigenului în instalația în cauză, incluzând metodele de măsurare și de eliminare/adăugare a oxigenului.

Pentru concentrații între 10^{-8} și 10^{-10} wt.% are loc coroziunea prin soluție. Pentru concentrații mai mari de 10^{-7} - 10^{-6} are loc oxidarea otelului. Coroziunea observată la concentrații mici ale oxigenului (10^{-8} - 10^{-10}) începe prin formarea unor adâncituri pe suprafața de material. Cu timpul acestea cresc și se unesc formând un stat poros a cărui grosime crește liniar cu timpul [8].

În cazul predominanței unor suprafețe care se bazează pe materiale de tip otel, plasate în plumb pur, concentrația maximă a oxigenului este dependentă de temperatura și poate fi dată cu o bună aproximație de relația [9]:

$$\log(C_{O, \max, (wt, \%)}) = 3.2 - \frac{5000}{T}$$

unde $C_{O, (wt, \%)}$ este concentrația de oxigen dizolvat în plumbul pur, exprimată în procente de masă.

Principalul oxid format in plumb pur este monoxidul, PbO. Acesta este cel mai stabil dintre oxizii care pot fi formați in Pb. Limita maxima a concentrației de oxid de plumb permise este definita de solubilitatea monoxidului de plumb.

In plumb pur la temperatura de 330°C solubilitatea oxigenului este de 0.08 $\mu g / g$. Valoarea limita crește ajungând la 0.6 $\mu g / g$ la 400°C, la 5.4 $\mu g / g$ la 500°C, respectiv o valoare ridicata 11 $\mu g / g$ la 700°C.

Pentru limita inferioara a conținutului de oxigen in cazul materialelor pe baza de otel, aflate in mediu de plumb pur, o relație dependenta de temperatura absoluta a mediului de plumb pur este următoarea [8]:

$$\log(C_{O,\min,(wt,\%)}) = -\frac{3}{4}\log(C_{Fe,(%)}) + 2.355 - \frac{10600}{T}$$

Din punct de vedere termohidraulic prezenta metalelor lichide (HLM) introduce câteva particularități importante:

- (1) mediul are o conductivitate termica mare, $\lambda [W / mK]$,
- (2) mediul e caracterizat de o căldura specifica mica, $c_p [J / (KgK)]$,
- (3) viscozitatea cinematica a HLM este mica in comparație cu a apei, $\nu [m^2 / s]$,

Conductivitatea termica si căldură specifica pot fi agregate intr-un singur parametru, cunoscut sub numele de numărul Prandtl:

$$Pr = \frac{\rho \nu c_p}{\lambda} = \frac{\nu}{k}, \text{ unde } k = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

Sistemele HLM au numere Prandtl cu valoare mica in comparație cu apa. In sisteme cu convecție forțată in condiții de curgere laminara, conducția moleculara a căldurii, exprimata prin numărul Prandtl, controlează procesul de transfer de căldură intr-un mod similar sistemelor cu apa. Pentru curgere turbulenta deosebirile devin majore [8]. Din acest motiv regimul de curgere turbulenta datorat spre exemplu îngustării unui canal e curgere are nevoie de o tratare experimentală de detaliu.

In cazul curgerii laminare investigația experimentală va determina fluxul termic transferat prin peretele de interfață, in condițiile specifice ale geometriei si proprietăților fluidului.

Fluxul termic este exprimat prin:

$$q_w = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w$$

5. Rezultate așteptate

Pe baza activităților experimentale preconizate în instalația HELENA2 sunt așteptate următoarele tipuri de rezultate:

- (1) Distribuții de temperatură la nivelul tecii pinului combustibil,
- (2) Distribuții de temperatură în subcanalul de curgere,
- (3) Evaluarea coeficientului de transfer al căldurii,
- (4) Verificarea apariției și localizării punctelor fierbinți,
- (5) Măsurarea temperaturii maxime care apare la nivelul tecii,
- (6) Evaluarea stratificării axiale a agentului de răcire,
- (7) Regimul de curgere la intrarea și ieșirea din caseta, precum și din subcanalele de curgere,
- (8) Investigarea regimului de circulație naturală,
- (9) Investigarea regimurilor de circulație mixtă,
- (10) Comportamentul materialului tecii în regimuri de curgere, studii de coroziune și eroziune la nivelul tecii
- (11) Comportamentul altor materiale, componente și echipamente în regim de circulație naturală și forțată, în medii cu acțiune corozivă și erozivă.

6. Performante tehnice

Instalația HELENA2 va avea ca performante ținta următoarele:

- (1) Simularea regimului de curgere a plumbului topit la nivelul casetei de combustibil pentru demonstratorul ALFRED, la scara dimensionala 1:1, iar din punct de vedere al numărului de elemente combustibile la scara 1:2, cu reproducerea exacta a puterii liniare, fluxului de caldura, dimensiunilor geometrice ale pinilor,
- (2) Simularea electrica a încălzirii casetei prin utilizarea de încălzitoare pentru 61 de elemente combustibile simulate, având o zona activa cu lungimea de 60 cm, reproducând exact cele 4 ringuri interioare de elemente combustibile ale casetei de combustibil ALFRED (127 de pini, 6 ringuri)
- (3) Puterea casetei este de 1.2 MW (scalată la 1:2 din puterea casetei ALFRED) cu un flux de căldură maxim la nivel de pin de 1 MW/m^2 (același ca in ALFRED)
- (4) Puterea totala in HELENA2, 1.6 MW,
- (5) In regim de circulatie naturala puterea simulata va fi redusa la 0.08 MW,
- (6) Temperatura maxima de funcționare, la nivelul temperaturii in agentul de răcire, 550°C ,
- (7) Fluxul maxim de căldură prin suprafața tecii elementelor combustibile, 1 MW/m^2 ,
- (8) Presiunea maxima in circuit, 10 bar,
- (9) Viteza maxima de circulație a plumbului, 1.5 m/s,
- (10) Debitul maxim al pompei pentru plumb, $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (85 kg/s),
- (11) Debitul estimat pentru regimul de circulație naturala, 6 kg/s,
- (12) Gradientul de temperatura in regim de circulație forțată, 96°C ,
- (13) Instrumentarea pentru debitul plumbului, distribuția de temperatura si presiune,
- (14) Măsurarea nivelului de oxigen si controlul concentrației de oxigen in circuit

7. Structura conceptuala

Instalația HELENA2 este de tip bucla operata in regim de circulație a agentului de răcire (plumb pur). Circulația va fi asigurata cu ajutorul pompelor. In absenta funcționarii acestora regimul de lucru va fi cel de circulație naturala asigurat de gradientul de presiune si cel de temperatura rezultat din configurația geometrica.

Instalația va avea o structura care sa permită testarea la scala 1:1 a casetei de combustibil ALFRED (reprezentare simplificata in Fig. 7.1).

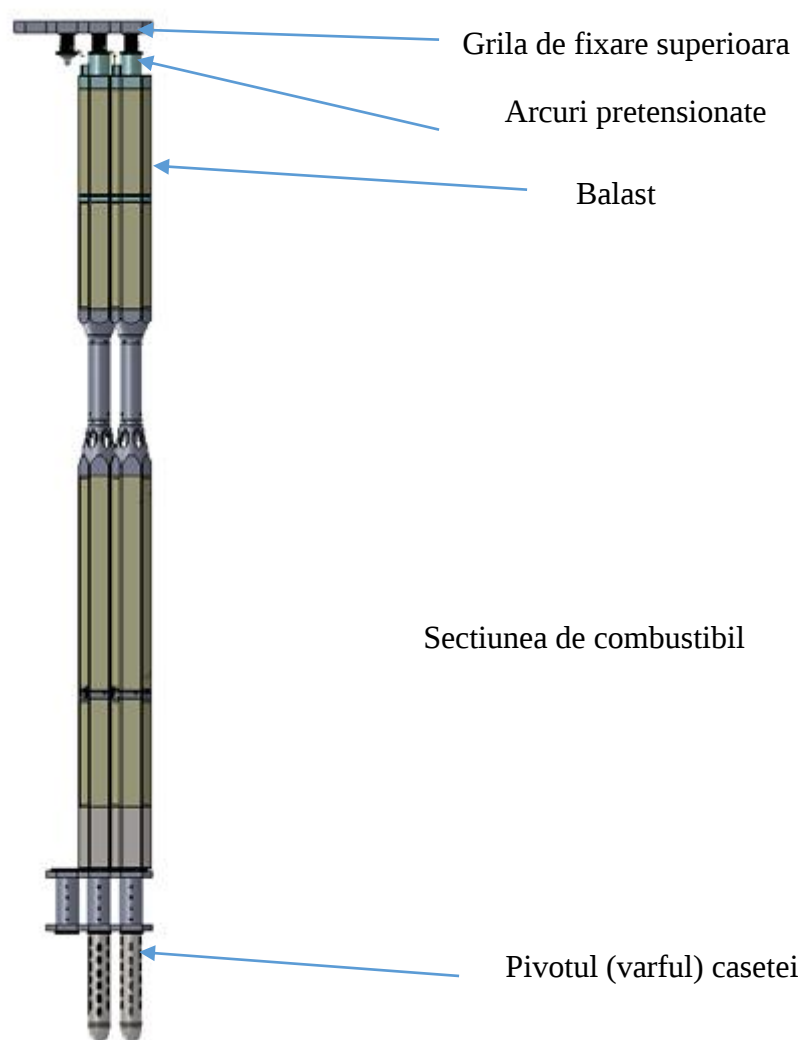


Fig. 7.1 Reprezentare simplificata a casetelor de combustibil pentru ALFRED

Din punct de vedere al necesarului de date experimentale este obligatorie simularea la dimensiunile reale a elementelor de prindere a cassettei in grila inferioara (distanțierii grilei, pivotul cassettei (spike), caseta hexagonala cel puțin pana la nivelul secțiunii

îngustate („funnel”). O reprezentare simplificată a elementelor casetei este prezentată în Fig. 7.2.

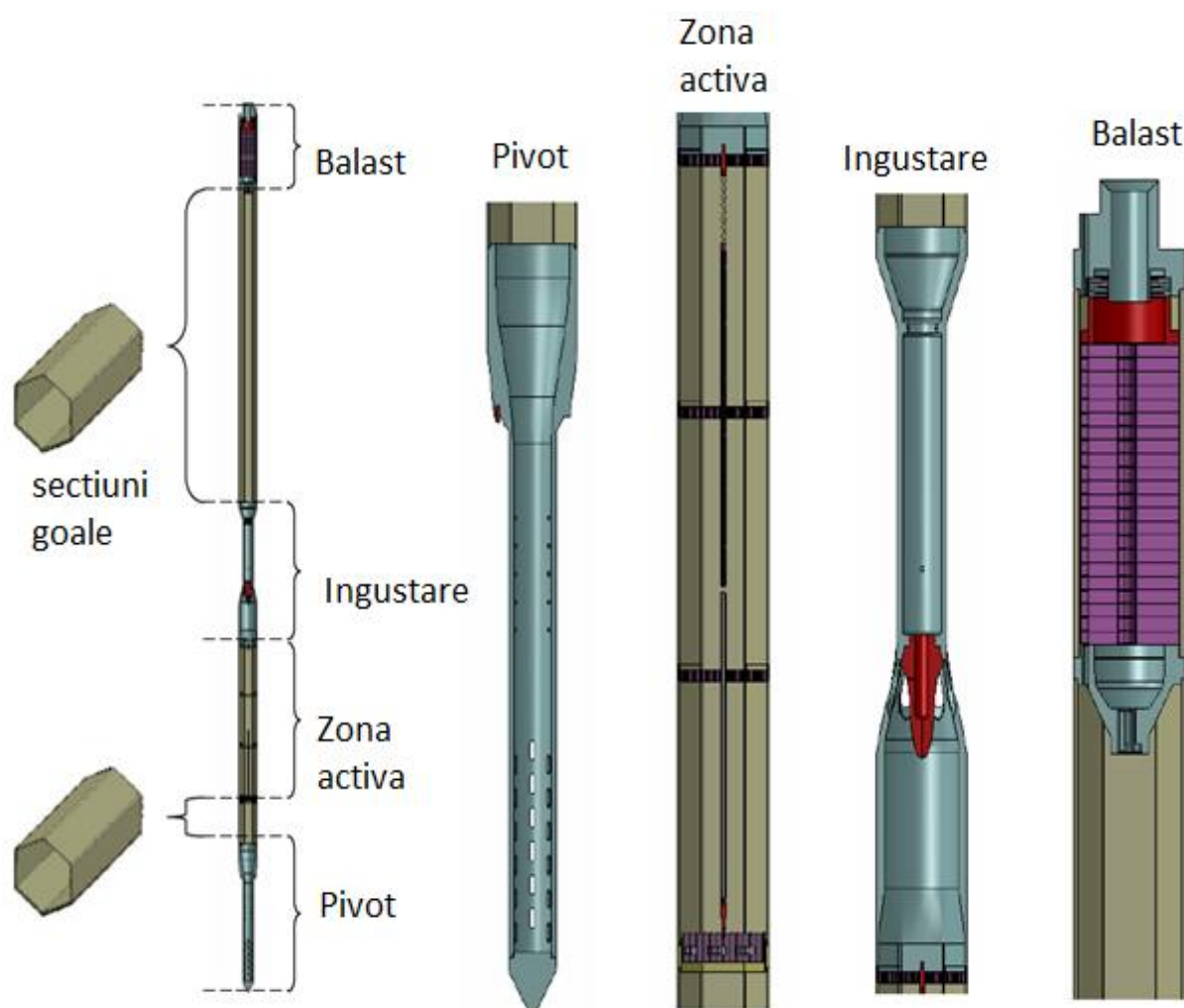


Fig. 7.2 Detalii constructive pentru caseta de combustibil ALFRED

Din punct de vedere conceptual instalația constă din 4 conducte (Fig. 7.3):

- (1) Doua conducte cu orientare verticală: una de circulație ascendentă („riser”), cealaltă pentru circulație descendentă („downcomer”) a agentului de răcire,
- (2) Doua conducte orizontale conectând cele doua conducte verticale.

Conductele verticale vor simula circulația ascendentă, respectiv pe cea descendentă a agentului de răcire în sistemul primar al reactorului de demonstrație ALFRED.

În partea inferioară a conductei de circulație ascendentă configurația geometrică va permite plasarea casetei de combustibil la scara 1:1 (încălzită electric).

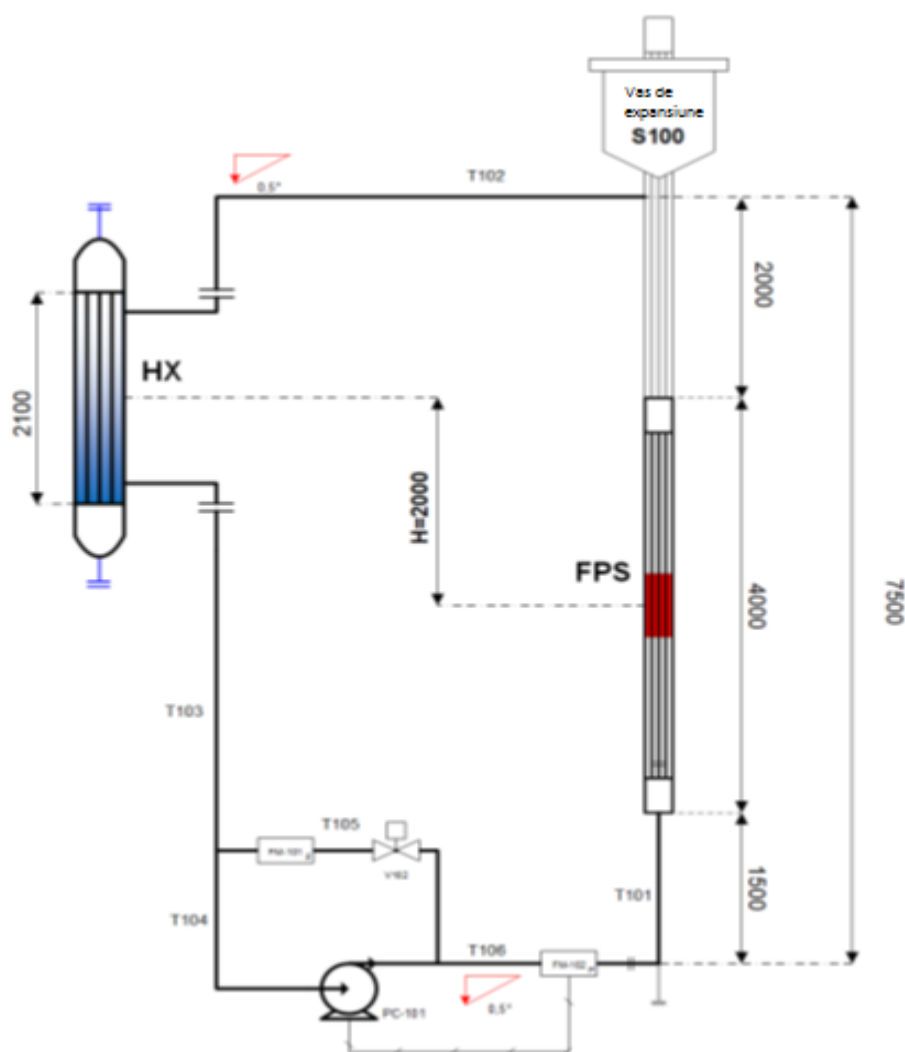


Fig. 7.3 Schema conceptuala a instalației experimentale HELENA2

În partea superioară a conductei de circulație descendentă va fi instalat un schimbător de căldură.

Circulația forțată va fi asigurată de către o pompa instalată în conducta orizontală inferioară (Fig. 7.3).

În partea superioară bucla va fi prevăzută cu un vas de expansiune, capabil să acomodeze variațiile plumbului în funcție de valorile de temperatură și presiune din timpul operației.

Bucula va fi realizata din hotel inox (AISI316) si va utiliza plumb cu puritate mare ca agent de racire. Domeniul de lucru al buclei va fi caracterizat de o temperatura maxima, $T_{\max}=550^{\circ}\text{C}$, si de o presiune maxima, $p_{\max}=10$ bar.

Bucula va fi prevăzută cu instrumentație necesara pentru măsurarea debitului, a temperaturii si presiunii, pentru diverse sectiuni.

Introducerea si extragerea casetei din conducta de circulație ascendentă se va face prin partea superioară a vasului de expansiune.

Dimensionarea sistemului va fi realizata in funcție de:

- (1) Dimensiunile reale ale casetei de combustibil ALFRED care trebuie integrata in conducta ascendenta,
- (2) Valorile necesare pentru căderea de presiune in conductele verticale (comparabila cu datele tehnice ale demonstratorului ALFRED)
- (3) Limitele derivate din menținerea domeniului de temperatura (capacitatea de răcire, încălzire a sistemului),
- (4) Regimul de curgere necesar la nivelul buclei (debitul de circulație forțată al pompei, proprietățile de curgere ale plumbului in regim forțat si in circulație naturala in funcție de secțiunile de lucru existente).

Regimul termohidraulic

Din punct de vedere al regimului termohidraulic calculele necesare pentru caracterizarea regimului de curgere vor lua in considerare:

- (1) Configurația geometrica exacta a casetei de combustibil ALFRED,
- (2) Configurația si proprietățile de material ale circuitului,
- (3) Prezenta vasului de expansiune,
- (4) Caracteristicile pompei,
- (5) Prezenta instrumentației .

Ținând cont de configurația casetei de combustibil pentru demonstratorul ALFRED vor fi considerate următoarele elemente:

- (1) Așezarea casetei in poziție verticala, fixata in grila inferioara prin intermediul vârfului,
- (2) Respectarea condițiilor de curgere determinate de pătrunderea plumbului topit prin partea cilindrica a vârfului casetei (pivotal de fixare). Aceasta este perforata pe o distanta de 1 m. Plumbul va pătrunde prin aceste orificii si va intra in caseta. Imediat in aval, plumbul va intra in zona conica si va pătrunde in secțiunea care conține elementele combustibile, plasate într-o rețea hexagonala (Fig. 5.4)
- (1) Respectarea condițiilor de curgere la nivelul tuturor secțiunilor si considerarea orificiilor de ieșire.

Simularea electrica a pinilor combustibili

Pentru simularea corecta a funcționalității casetei de combustibil aceasta va fi prevăzută cu încălzire electrica pentru 60 de pini din cei 61. Lungimea activa (zona încălzită) va fi de 60 cm, iar diametrul exterior va fi de 1.05 cm.

Fluxul maxim de căldură prin teaca pinilor combustibil va fi de 1MW/m^2 . Elementele combustibile simulate vor fi plasate in structura hexagonala din Fig. 7.4 printr-o așezare cu ajutorul grilelor de distanțare.

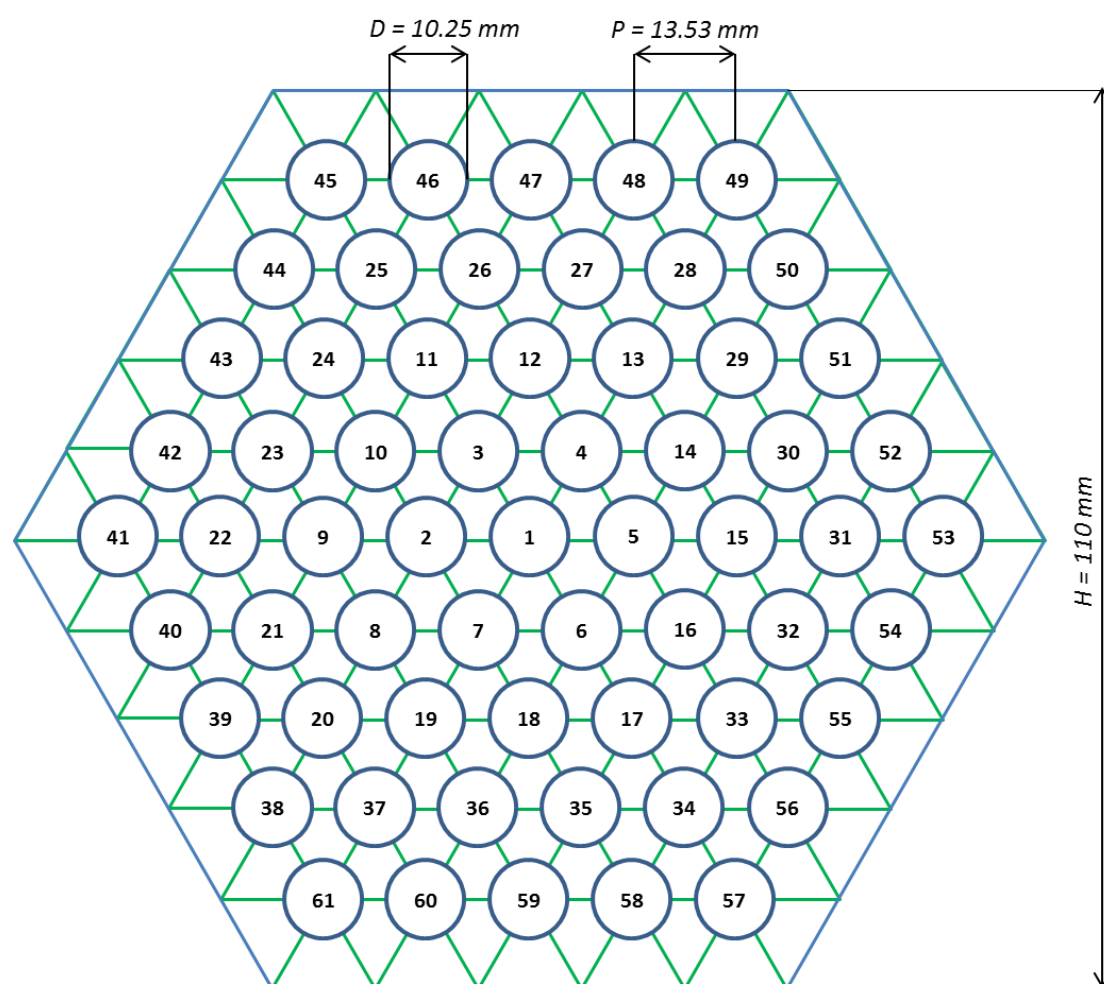


Fig. 7.4 Secțiune transversală în caseta ALFRED în regiunea zonei active

Pompa

Circulația plumbului va fi asigurată de către o pompă de tip centrifugal la o viteză de curgere de maximum 1.5 m/s și la un debit maxim de 30 m³/h (circa 85 kg/s). Materialele utilizate pentru pompă trebuie să asigure rezistența la coroziune și cea la eroziune, în special în zona rotorului. Defectarea pompei conduce la imposibilitatea folosirii instalației în regim de circulație forțată. Din acest motiv alegerea pompei trebuie făcută pe criterii de fiabilitate și robustețe mecanică.

Schimbătorul de căldură

Schimbătorul de căldură va permite transferul de căldură între plumbul topit aflat în instalația experimentală HELENA2 și circuitul exterior. Acesta va consta din circulație de apă în tubul exterior în sens invers față de circulația plumbului, în regim monofazic, presurizat.

Configurația geometrică va fi adoptată astfel încât să atenueze stresul termic al materialelor. Din experiența realizată prin operarea instalațiilor experimentale cu plumb o configurație de tip tub-in-tub poate satisface această condiție.

Materialele din care sunt realizate tuburile vor satisface condițiile de rezistență la acțiunea corozivă și erozivă a plumbului topit, precum și la cea de coroziune a apei. Un material recomandat pentru partea supusă la apă este AISI321, în vreme ce pentru zona expusă la plumb AISI316L este un material potrivit.

Dimensionarea schimbătorului de căldură se va face în funcție de regimurile de operare ale instalației astfel încât să asigure controlul temperaturii în sistem. În Fig. 7.5 este prezentată schema de principiu a schimbătorului de căldură. Dimensionarea se va realiza în cadrul proiectului conceptual al instalației HELENA2.

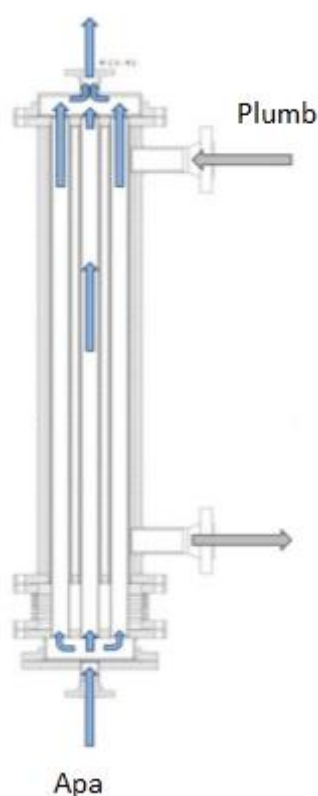


Fig. 7.5 Schema conceptuală a schimbătorului de căldură

Instrumentația

Instalația experimentală HELENA2 va fi prevăzută cu debitmetru pentru caracterizarea curgerii plumbului topit. Pe baza experienței altor instalații experimentale pentru tehnologia plumbului un debitmetru de tip FM101 (constând dintr-o porțiune de tip cilindric cu diametrul de 2"1/2 și o lungime totală de 70 cm) poate fi utilizat cu succes pentru scopul propus.

Pentru măsurarea distribuțiilor de temperatură și presiune în cadrul proiectului conceptual va fi definită instrumentația adecvată, precum și poziționarea acesteia.

Este necesara instrumentarea atât la nivel de pin, cat si la nivel de subcanal. Proiectul conceptual va furniza date de detaliu privind pinii si subcanalele propuse pentru instrumentare. Alegerea acestora se va face pe criteriul reprezentativității tipologiilor de pin in funcție de poziționarea acestora in structura de caseta.

Controlul oxigenului

Instalația experimentală HELENA2 va fi prevăzută cu controlul concentrației de oxigen in vederea reducerii efectelor de coroziune in mediu de plumb topit. In acest sens in cadrul proiectului conceptual se va stabili pragul limita al concentrației, modalitățile de măsurare si control al concentrației de oxigen.

Controlul oxigenului este realizat prin metoda via-gaz ($\text{Ar-H}_2 + \text{Ar-O}_2$). Pentru monitorizare sunt folosiți senzori de oxigen plasați in fluxul de curgere in partea rece, precum si in partea de temperatură maxima a buclei. Schema de principiu este prezentata in Fig.7.6.

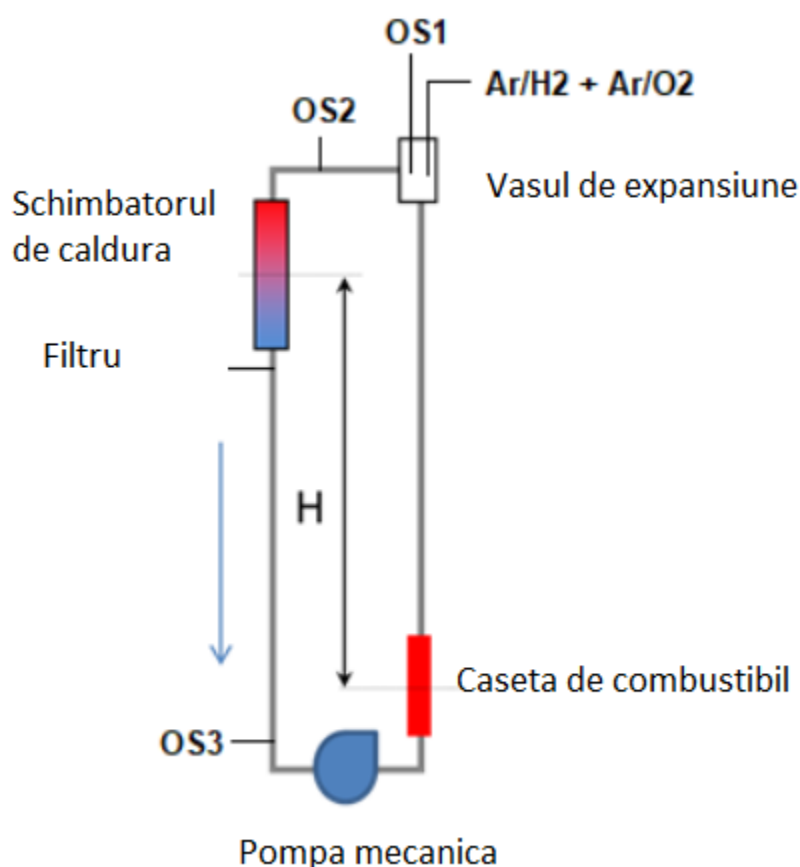


Fig. 7.6 Schema conceptuală a controlului chimic

8. Elemente de investigație pentru proiectul conceptual

În cadrul proiectului conceptual vor fi investigate următoarele:

- (1) Soluții pentru caracterizarea regimurilor de curgere la nivelul zonei active a demonstratorului ALFRED, precum și posibilitatea de a utiliza instalația pentru alte experimente de tip LFR, prin adăugarea de instrumentație suplimentară și secțiuni de testare,
- (2) Identificarea instrumentației optime pentru folosirea instalației pentru testarea casetelor de combustibil ALFRED,
- (3) Definirea pinilor și subcanalelor instrumentate în vederea caracterizării complete a regimului termohidraulic din caseta de combustibil a reactorului ALFRED,
- (4) Menținerea unei opțiuni deschise pentru adăugarea de instrumentație suplimentară, cu intervenții minime asupra configurației de bază, în vederea acoperirii altor experimente necesare pentru testarea componentelor LFR în regim de circulație forțată sau naturală, definirea acestor intervenții, a instrumentației necesare și a poziționării acesteia,
- (5) Aspecte privind regimul de operare și cel de întreținere.

9. Recomandări

În vederea implementării instalației experimentale HELENA2, în orizontul de timp planificat pentru realizarea reactorului de demonstrație ALFRED, sunt recomandate următoarele acțiuni:

- (1) realizarea proiectului conceptual în care să fie realizată dimensionarea instalației pe baza condițiilor necesare pentru simularea situațiilor operaționale din tehnologia LFR, cu accent pe reactorul de demonstrație ALFRED, a calculelor de curgere, a transferului termic și a impactului pe care îl pot avea fenomenele de coroziune și eroziune,
- (2) 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 HELENA2,
- (3) investigarea posibilității de amplasare într-o clădire care să găzduiască și alte instalații experimentale ale infrastructurii ALFRED, în funcție de funcționalitatea integrată a acestora și de reducerea costurilor,
- (4) realizarea studiului de fezabilitate pentru implementarea instalației experimentale HELENA2, într-un studiu separat sau într-un studiu cuplat cu a altor instalații experimentale în funcție de varianta aleasă (HELENA2 într-o clădire separată, HELENA2 în clădire comună cu alte instalații experimentale).
- (5) pregătirea elementelor necesare pentru realizarea aplicației pentru accesarea de fonduri nerambursabile în vederea depunerii în cadrul primei competiții pentru care HELENA2 poate fi eligibilă.

10. Concluzii

(C1) Raportul prezintă fenomenologia de investigație pentru regimuri termohidraulice specifice tehnologiei LFR și reactorului de demonstrație ALFRED în vederea definirii conceptuale a instalației de tip buclă, HELENA2.

(C2) În acest sens, cerința cea mai importantă constă în testarea comportării casetelor de combustibil ALFRED în regim de circulație forțată a plumbului pur, precum și în situația accidentală a opririi pompelor, când răcirea se va baza pe circulația naturală determinată de diferența de structură pe verticală a circuitului primar.

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

(C4) Instalația va fi de tip buclă, în vederea reducerii cantității de plumb necesare, a simulării circulației verticale a plumbului, precum a investigării curgerii în subcanalele definite de structura casetei de combustibil nuclear, în condițiile termohidraulice specifice tehnologiei LFR și reactorului de demonstrație ALFRED

(C5) Realizarea proiectului conceptual al instalației HELENA2 va fi orientată către folosirea cu minime adaptări viitoare ale instalației pentru investigarea unui set cât mai larg de componente, materiale, sisteme din reactorii de tip LFR.

(C6) 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] NEA/OECD, „Handbook of LBE Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies”, NEA, 7268, Paris 2015
- [9] Gromov B.F. et al, „The Problem of Technology of the Heavy Liquid Metal Coolant”, Proceedings of the Conference on HLM in Nuclear Technology, Obninsk, Russian Federation, 1998, 5-9 October

Anexa A - Tema de proiectare

1. Denumirea temei, numărul și actualizarea:

Instalație experimentală pentru testare parametri termohidraulici HELENA 2

Nr. 5-5136-TP, Act.0

2. Denumirea obiectivului:

Dezvoltarea infrastructurii ALFRED în vederea realizării de activități CDI în domeniul tehnologiei reactoarelor cu neutroni rapizi, bazate pe răcirea cu plumb topit (LFR, Lead Fast Reactors).

3. Client: RATEN ICN Pitești

4. Număr contract /Fază: 4404/2019

	ÎNTOCMIT	VERIFICAT	SEF COMPARTIMENT	CLIENT
Nume și prenume	Marian HOROROI	Marius COMĂNESCU	Alina DEACONU	Marin CONSTANTIN
Semnătura				
Data				

P-TH-04-0,act.2

1. INFORMAȚII GENERALE

1.1 Denumirea obiectivului de investiții:

Instalație experimentală pentru testare parametri termohidraulici HELENA 2

1.2. Ordonator principal de credite/investitor:

Ministerul Cercetării și Inovării (MCI).

1.3. Ordonator de credite (secundar/terțiar):

Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară (RATEN).

1.4. Beneficiarul investiției:

Regia Autonomă Tehnologii pentru Energia Nucleară, Institutul de Cercetări Nucleare Pitești (RATEN ICN Pitești).

1.5. Elaboratorul temei de proiectare:

RATEN ICN, Serviciul 6 Proiectare.

2. DATE DE IDENTIFICARE A OBIECTIVULUI DE INVESTIȚII

2.1. *Informații privind regimul juridic, economic și tehnic al terenului și/sau al construcției existente, documentație cadastrală*

Terenul propus pentru realizarea construcției necesară pentru amplasarea instalației HELENA 2 este situat pe platforma RATEN ICN Pitești. S-a luat în calcul ca în clădirea propusă pentru amplasarea instalației să fie montată și instalația experimentală ELF. Această clădire va fi construită pe amplasamentul specificat la subpunctul 2.2 a).

Informații privind regimul juridic, economic și tehnic sunt precizate în Ordonanța 54/2013, publicată în M.O al României, Partea I, nr.369/20.06.2013.

2.2. *Particularități ale amplasamentului/ amplasamentelor propus/ propuse pentru realizarea obiectivului de investiții, după caz*

a) descrierea succintă a amplasamentului/amplasamentelor propus(e) (localizare, suprafața terenului, dimensiuni în plan)

Terenul propus pentru realizarea clădirii în care se vor amplasa instalațiile HELENA2 și ELF este localizat între axele 9A+50 ÷ 10A și 9B+00÷9B+50, cu suprafața de 0,4 ha și dimensiunile(Lxl): 75x55 [m] – conform plan amplasament Anexa 1, întocmit în urma studiului geotehnic nr. 311/25.06.2018 realizat de către Geotec Consulting.

L1.1 – Raport privind definirea conceptuală a instalației HELENA2



b) relațiile cu zone învecinate, accesuri existente și/sau căi de acces posibile

Terenul propus pentru amplasarea investiției se află pe platforma RATEN ICN Pitești, în zonă fiind căi de acces după cum rezultă din Anexa 1.

c) surse de poluare existente în zonă

Pe platforma RATEN ICN Pitești există unități care produc ape uzate industriale potențial radioactive (Reactor TRIGA, LEPI, STDR, Laborator Radioprotecție, Unitatea nucleară C6, Fabrica de combustibil nuclear FCN).

d) particularități de relief:

Aria ocupată de platforma RATEN ICN Pitești se încadrează în extremitatea sudică a Podișului Getic respectiv Platforma Căndești, la limită cu Câmpia Română. Cotă Platforma +450 N.M.B.

e) nivel de echipare tehnico-edilitară a zonei și posibilități de asigurare a utilităților

Amplasamentul fiind pe platforma RATEN ICN Pitești, există posibilitatea de racordare directă cu principalele utilități curente (alimentare cu apă, gaze, internet, etc.). Necesarul energetic estimat al instalației HELENA 2 propune o putere electrică 2 MW la care trebuie luată în calcul și cea estimată de la instalația ELF de 10 MW, ceea ce impune o stație electrică nouă, similară cu cea existentă.

f) existența unor eventuale rețele edilitare în amplasament care ar necesita relocare/protejare, în măsura în care pot fi identificate

Nu este cazul.

g) posibile obligații de servitute

Nu este cazul.

h) condiționări constructive determinate de starea tehnică și de sistemul constructiv al unor construcții existente în amplasament, asupra cărora se vor face lucrări de intervenții, după caz

Nu este cazul.

i) reglementări urbanistice aplicabile zonei conform documentațiilor de urbanism aprobate - plan urbanistic general/plan urbanistic zonal și regulamentul local de urbanism aferent

Nu este cazul.

j) existența de monumente istorice/de arhitectură sau situri arheologice pe amplasament sau în zona imediat învecinată; existența condiționărilor specifice în cazul existenței unor zone protejate

Nu este cazul.

2.3. Descrierea succintă a obiectivului de investiții propus din punct de vedere tehnic și funcțional

a) destinație și funcțiuni

Obiectivul investiției îl reprezintă proiectarea, execuția și punerea în funcțiune a instalației experimentale HELENA2.

Instalația HELENA2

Obiectivul principal constă în realizarea unei instalații experimentale care să ofere capabilități complete pentru studiul comportării casetelor de combustibil nuclear pentru reactorul de demonstrație ALFRED, precum și altor componente în regimul termohidraulic caracteristic sistemelor nucleare de tip LFR.

Obiectivul secundar constă în obținerea unei configurații optime care să permită testarea, conform cerințelor de autorizare caracteristice cadrului de reglementare existent, a casetelor de combustibil pentru demonstratorul ALFRED.

Instalația HELENA2 este de tip buclă și este destinată investigării comportării casetelor de combustibil ALFRED în regim de circulație forțată (antrenarea fluidului de răcire, în circuitul închis, cu ajutorul pompei), precum și în regim de circulație naturală. Configurația de tip buclă are avantajul utilizării unei cantități de plumb mult mai mici decât în cazul unei configurații de tip piscină.

Scopul principal constă în testarea la scara 1:1 a casetei de combustibil nuclear pentru reactorul ALFRED, în condițiile de solicitare maximă (putere termică, regim de curgere), în vederea determinării comportării mecanice și în regim de coroziune, la nivelul elementelor combustibile. Caseta va fi realizată la dimensiunile reale stabilite în proiectul conceptual al demonstratorului ALFRED.

Condițiile de operare nucleară (puterea termică eliberată de fiecare element combustibil al casetei) vor fi asigurate prin încălzirea electrică a fiecărui element combustibil simulat. Domeniul de temperaturi de funcționare, precum și domeniul de putere este cel caracteristic casetelor de combustibil prevăzute să funcționeze în reactorul de demonstrație ALFRED.

Instalația va avea o structură care să permită testarea la scara 1:1 a casetei de combustibil ALFRED (reprezentată simplificat în Fig.1) și va fi alcătuită din 4 conducte (conf. Fig. 2):

- Două conducte cu orientare verticală: una de circulație ascendentă, cealaltă pentru circulație descendentă a agentului de răcire;
- Două conducte orizontale conectând cele două conducte verticale.

Conductele verticale vor simula circulația ascendentă, respectiv pe cea descendentă a agentului de răcire în sistemul primar al reactorului de demonstrație ALFRED.

În partea inferioară a conductei de circulație ascendentă configurația geometrică va permite plasarea casetei de combustibil la scara 1:1 (încălzită electric).

În partea superioară a conductei de circulație descendentă va fi instalat un schimbător de căldură. Circulația forțată va fi asigurată de către o pompa instalată în conducta orizontală inferioară.

În partea superioară bucla va fi prevăzută cu un vas de expansiune, capabil să acomodeze variațiile plumbului în funcție de valorile de temperatură și presiune din timpul operării.

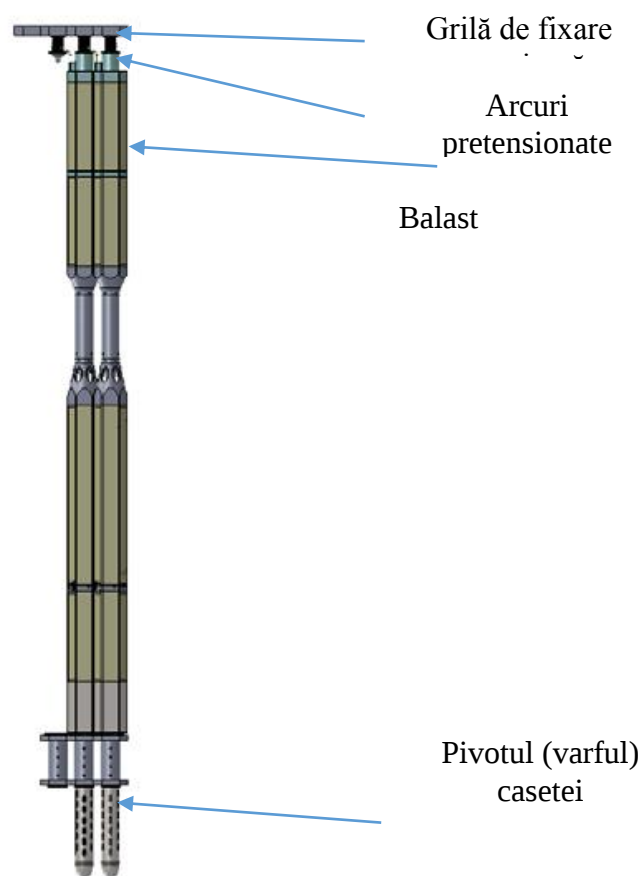


Fig.1- Reprezentare simplificată a casetelor de combustibil ALFRED

b) caracteristici, parametri și date tehnice specifice, preconizate:

Instalația HELENA2 va funcționa cu următoarele caracteristici:

- Secțiunea de testare va fi alcătuită din două trasee de conducte pentru testarea coroziunii/eroziunii materialelor și un traseu lung pentru teste la scara 1:1 a ansamblului și subansamblelor;
- Dimensiuni de gabarit (LxlxH): ~ 10 x 15 x 15 [m];
- Circulația lichidului de răcire (plumb topit): forțată (pompare)/naturala (prin oprirea pompelor);

- Temperatura maximă: 550°C;
- Presiunea maxima in circuit, 10 bar;
- Conținut oxigen: 10.8 ÷ 10.9 wt.%;

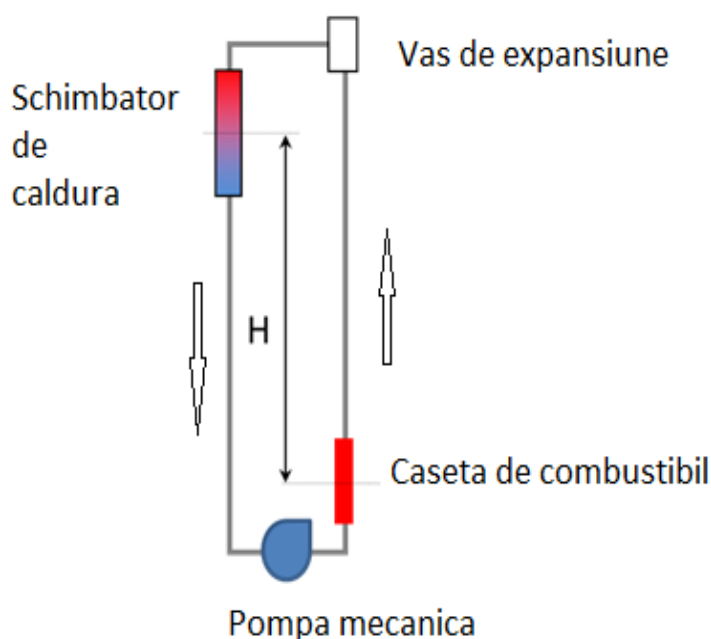


Fig. 2 - Concept instalație HELENA2

- Viteza de curgere: 1,5 m/s.;
- Instalații pentru monitorizare parametrilor: temperatură, presiune și conținut oxigen;
- Fluxul maxim de căldură prin suprafața tecii elementelor combustibile, 1MW/m²;
- Debitul maxim al pompei pentru plumb, 30 m³/h (85 kg/s).

Dimensionarea instalației HELENA2 va fi realizată în funcție de:

- Dimensiunile reale ale casetei de combustibil ALFRED care trebuie integrată în conducta ascendentă;
- Valorile necesare pentru căderea de presiune în conductele verticale (comparabilă cu datele tehnice ale demonstratorului ALFRED);
- Limitele derivate din menținerea domeniului de temperatură (capacitatea de răcire, încălzire a sistemului);
- Regimul de curgere necesar la nivelul buclei (debitul de circulație forțată al pompei, proprietățile de curgere ale plumbului în regim forțat și în circulație naturală în funcție de secțiunile de lucru existente).

Din punct de vedere al regimului termohidraulic al instalației HELENA2 calculele necesare pentru caracterizarea regimului de curgere se vor lua în considerare:

- Configurația geometrică exactă a casetei de combustibil ALFRED;
- Configurația și proprietățile de material ale circuitului;
- Prezența vasului de expansiune;
- Caracteristicile pompei;
- Prezența instrumentației .

Ținând cont de configurația casetei de combustibil pentru demonstratorul ALFRED vor fi considerate următoarele elemente:

- Așezarea casetei în poziție verticală, fixată în grila inferioară prin intermediul vârfului casetei (pivotal de fixare),
- Respectarea condițiilor de curgere determinate de pătrunderea plumbului topit prin partea cilindrică a vârfului casetei. Aceasta este perforat pe o distanță de 1 m. Plumbul va pătrunde prin aceste orificii și va intra în casetă. Imediat în aval, plumbul va intra în zona conică și va pătrunde în secțiunea care conține elementele combustibile, plasate într-o rețea hexagonală.
- Respectarea condițiilor de curgere la nivelul tuturor secțiunilor și considerarea orificiilor de ieșire.

Instalația va respecta toate condițiile impuse de standardele românești în vigoare pentru acest tip de echipament, dar nu trebuie să se limiteze la acestea.

De asemenea proiectul instalației va conține: structura de rezistență a instalației, căile de acces personal, structuri conexe instalației, etc.

c) nivelul de echipare, de finisare și de dotare, exigențe tehnice ale construcției în conformitate cu cerințele funcționale stabilite prin reglementări tehnice, de patrimoniu și de mediu în vigoare

Pentru clădirea, obiectul unei alte teme de proiectare, care se va construi pentru amplasarea instalației sunt prevăzute următoarele acțiuni:

- Amenajare platformă (aprobare defrișare, defrișare pădure, replantare pădure, etc.);
- Execuție clădire și sisteme auxiliare.

d) număr estimat de utilizatori: personal de operare estimat, 8 persoane

e) durata minimă de funcționare, apreciată corespunzător destinației/funcțiunilor propuse

- pentru instalație: 10 ani.

f) nevoi/solicitări funcționale specifice

Spațiul unde vor fi amplasate instalațiile trebuie să fie dotat cu:

- pod rulant de min.30 tone;
- instalație de ventilație pentru vapori de Pb cu filtrare de particule;
- rețele pentru utilitățile necesare funcționării instalației.

Configurația clădirii, obiectul unei alte teme de proiectare, va ține cont de cele două instalații HELENA 2 și ELF.

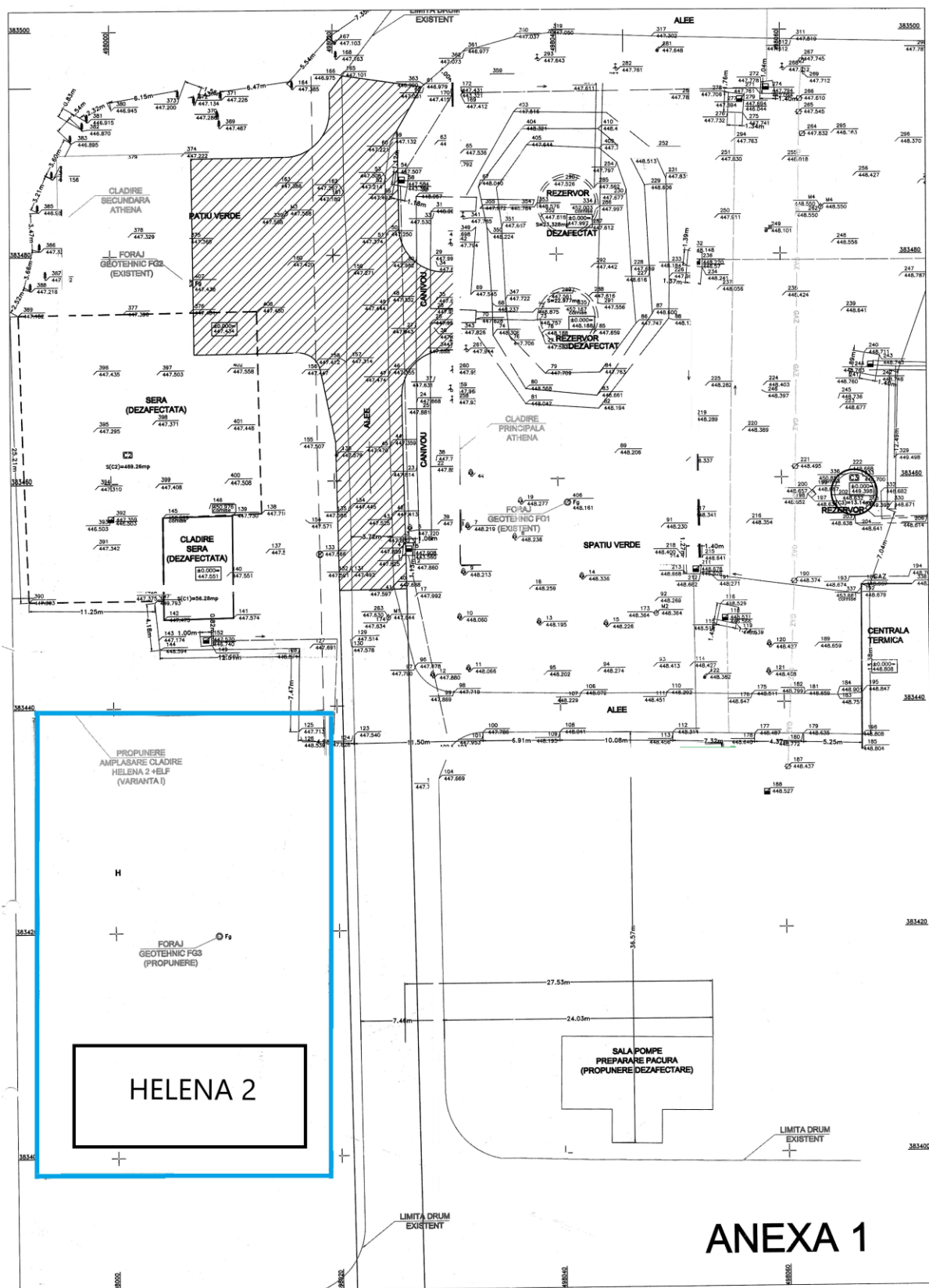
- g) corelarea soluțiilor tehnice cu condiționările urbanistice, de protecție a mediului și a patrimoniului – conform subpunctul 2.3.c).
- h) stabilirea unor criterii clare în vederea soluționării nevoii beneficiarului

Se va ține cont de solicitările beneficiarului, în orice moment al elaborării documentației de proiectare, până la finalizarea lucrării prin actualizarea temei de proiectare.

2.4. Cadrul legislativ aplicabil și impunerile ce rezultă din aplicarea acestuia

- Memorandum nr.2925/03.02.2011 privind construirea în România a reactorului nuclear de demonstrație, răcit cu plumb, ALFRED;
- Memorandum nr.21104 din 07.01.2014, privind construirea instalației ALFRED în România, pe amplasamentul de referință de la Mioveni.
- Strategia Națională de Cercetare, Dezvoltare și Inovare 2014-2020 (SN CDI 2020), aprobată prin HG 929/2014.
- Planul strategic European pentru tehnologii energetice (SET Plan) – obiectivul general din strategia UE pentru tehnologii energetice sustenabile privind realizarea a cel puțin unei instalații de demonstrație pentru tehnologii de generație IV.
- Acordul de colaborare (Consortium Agreement) al consorțiului internațional FALCON (FALCON – Fostering ALFRED Construction), coordonat de Ansaldo Nucleare, având ca obiectiv principal explorarea cerințelor de implementare și pregătire a consorțiului internațional pentru construcția demonstratorului ALFRED.
- Legislația română și europeană privind accesarea de fonduri europene structurale.
- Legislația privind autorizarea lucrărilor de construcție (50/1991 cu modificările).
- SR EN ISO 9001-2015 – Sisteme de management al calității. Cerințe;
- SR EN ISO 14001-2015 – Sistem de management al mediului. Ghid de utilizare;
- SR OHSAS 18001:2008 - Sistem de management al Sănătății și Securității

Anexa 1 (la Tema de proiectare) – Amplasarea instalatiei HELENA



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,

Dpa (deplacement per atom)=indicator de impact al radiației asupra materialelor, deplasări per atom,

EIA (Energy International Agency)=Agenția Internațională pentru energie,

ESNII (European Sustainable Nuclear Industry Initiative)=Inițiativa industriei nucleare europene,

HLM (Heavy Liquid Metal)= tehnologii bazate pe metale grele lichide,

LFR (Lead Fast Reactors)= tehnologia reactorilor cu neutroni rapizi, răciți cu plumb,

MOX (Mixed Oxide)=combustibil format din amestec de oxizi de uraniu și plutoniu,

NEA (Nuclear Energy Agency)= Agenția pentru energie nucleară,

RATEN=Regia autonomă tehnologii 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,

SG (Steam Generator)=generator de abur,

SV (Safety Vessel)= vasul de securitate.