



L 4.6 – Agenda de cercetare- dezvoltare- inovare pentru LFR în România

Pachet de Lucru: 4

Activitatea: 4.2-4

Responsabil livrabil: Daniela Gugiu (RATEN)

Autori: Minodora Apostol (RATEN)

Marin Constantin (RATEN)

Daniela Gugiu (RATEN)

Mirela Nițoi (RATEN)

Constantin Păunoiu (RATEN)

Alexandru Toma (RATEN)

Ilie Turcu (RATEN)

Termen: 13.11.2020

Proiectul PRO ALFRED este finanțat de Ministerul Cercetării și Inovării prin Sub-Programul 5.5 – Program de cercetare, dezvoltare și inovare pentru reactori de Generația a IV-a - ALFRED, Contract 5/18.09.2019

Avize și semnături			
Funcția	Nume	Data	Semnatura
Director Adj. Științific	Alexandru Toma		
Director Proiect	Daniela Diaconu		
Responsabil compartiment MC	Gheorghe Savu		
Responsabil Pachet de Lucru	Daniela Gugiu		
Responsabil Livrabil	Daniela Gugiu		
Autori:	Minodora Apostol		
	Marin Constantin		
	Daniela Gugiu		
	Mirela Nițoi		
	Constantin Păunoiu		
	Alexandru Toma		
	Ilie Turcu		

CUPRINS

Lista de acronime	1
Rezumat	3
1. Introducere	4
2. Scop.....	5
3. Obiectivele Agendei de cercetare-dezvoltare LFR.....	6
4. Direcții Strategice de Acțiune.....	10
4.1 DSA1- Dezvoltarea/Construcția /Operarea Infrastructurii Experimentale	10
4.1.1 Stadiul actual și perspective.....	10
4.1.2 Priorități de cercetare-dezvoltare	15
4.1.2.1 Studii privind materialele și chimia plumbului.....	18
4.1.2.2 Investigatii privind integritatea zonei active.....	20
4.1.2.3 Investigatii privind funcționalitatea generatorului de abur/schimbătorului de căldură.....	24
4.1.2.4 Sistemul de transport al combustibilului.....	26
4.1.2.5 Termohidraulică.....	27
4.1.2.6 Pompele pentru plumb și studii privind coroziunea/eroziunea.....	30
4.1.2.7 Iradierea ansamblului combustibil.....	30
4.2 DSA2- Dezvoltarea/Construcția /Operarea ALFRED	31
4.2.1 DA1 Obținere autorizație pentru amplasare	31
4.2.2 DA2 Validarea proiectului inovativ.....	32
4.2.3 DA3 Obținere autorizație pentru construcție și operare a instalației	33
4.3 Direcții de acțiune suport.....	39
4.3.1 Programul de Cercetare-Dezvoltare al RATEN în domeniul „Reactori Nucleari Avansati și Cicluri de Combustibil”	39
4.3.2 Resursa umană, Educație și Pregătire Profesională	45
4.3.2.1 Viziunea și recomandările organizațiilor internaționale	45
4.3.2.2 Obiectivele Strategiei de Resurse Umane pentru tehnologia LFR	47

4.3.2.3 Identificarea întregului spectru de competențe științifice și ingineresti necesare pentru funcționarea infrastructurii ALFRED	48
4.3.2.4 Evaluarea disponibilității acestor competențe în țară	54
4.3.2.5 Plan de asigurare a resurselor umane necesare	56
4.3.3 Consolidarea colaborării naționale și europene	59
4.3.3.1 Colaborare națională	59
4.3.3.2 Cooperarea cu organizații europene și internaționale	61
4.3.4 Surse de finanțare.....	64
Concluzii	72
Referințe.....	73

Lista de acronime

Acronim	Definiție
AIM-1	Material austenit îmbunătățit (oțel inoxidabil) - Austenitic Improved Material-1
AFA	Oțel austenit ce formează alumină - Alumina Forming Austenitic
ALFRED	Reactor Rapid Avansat Demonstrativ Răcit cu Plumb - Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator
ATHENA	Instalație experimentală avansată dedicată testelor termohidraulice pentru aplicații nucleare - Advanced Thermo-Hydraulics Experiment for Nuclear Application
CEA	Comisariatul pentru Energie Atomică și Energii Alternative (Franța)- Commissariat à l'Energie Atomique
CFD	Analiza dinamică a fluidelor - Computational Fluid Dynamics
CHEMLAB	Laborator pentru chimia plumbului - CHEMical LABoratory
CIRCE	Instalație experimentală dedicată testelor termohidraulice în plumb-bismut (Italia) - CIRColazione Eutettico
CR	Bară de control a reactivității - Control Rod
CS	Simulator de zonă activă - Core Simulator
DA	Ansamblu reflector/inert - Dummy Assembly
DC	Răcire în adâncime - Deep Cooler
DHR	Îndepărtare a cădurii reziduale - Decay Heat Removal
E-DHR	Îndepărtare în caz de urgență a căldurii reziduale - Emergency Decay Heat Removal
ELF	Instalație experimentală dedicată testelor termohidraulice de lungă durată în plumb - Electrical Long-running Facility
ENEA	Agenția Națională pentru Tehnologii Noi, Energie și Dezvoltare Economică Durabilă (Italia) - National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development
FA	Ansamblu de combustibil - Fuel Assembly
FALCON	Consortiu pentru construirea reactorului ALFRED - Fostering ALFRED Construction
FIV	Vibrații induse de curgere - Flow-Induced Vibration
FP	Prođuși de fisiune - Fission Products
FPS	Replică de element combustibil - Fuel Pin Simulator
GEN-IV	Generația IV - Generation IV
GIF	Forumul Internațional pentru Reactori de Generația IV- Generation IV International Forum
HANDS ON	Instalație de testare a comportamentului ansamblurilor de combustibil în plumb - Facility for fuel manipulator testing in lead
HELENA2	Instalație experimentală de tip buclă dedicată testelor termohidraulice în metale lichide - Heavy Liquid Metal Experimental Loop for Advanced Nuclear Applications 2
HLM	Metale grele lichide - Heavy Liquid Metal

IC	Condensator - Isolation Condenser
IRSN	Institutul pentru Protecție Împotriva Radiațiilor și Securitate Nucleară (Franța) - Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety
JRC	Centru Comun de Cercetare (Italia) - Joint Research Centre
LES	Simularea vârtejurilor mari - Large Eddy Simulation
LFR	Reactor rapid răcit cu plumb - Lead-cooled Fast Reactor
LME	Fragilizarea indusă de metalele lichide - Liquid Metal Embrittlement
MCNP	Cod de calcul ce utilizează metoda Monte Carlo pentru transportul particulelor - Monte Carlo N Particles
MELTIN’POT	Instalație experimentală de testare a interacției dintre combustibil-teacă-plumb - Facility for fuel-coolant-cladding interaction in lead
MOX	Combustibil mixt de tip oxid – Mixed OXide fuel
NACIE-UP	Instalație experimentală utilizată pentru studiul circulației naturale a agentului de răcire (Italia) - Natural Circulation Experiment-UPgrade
NPP	Centrală nucleară - Nuclear Power Plant
PLD	Depunere cu impulsuri laser - Pulsed Laser Deposition
RCS	Sistem de răcire a reactorului - Reactor Cooling System
RCP	Pompă de circulare a agentului de răcire - Reactor Circulation Pump
SCK.CEN	Centrul de Cercetare Nucleară (Belgia) - Belgian Nuclear Research Centre
SG	Generator de abur - Steam Generator
SGBT	Generator de abur cu tuburi de tip baionetă - Steam Generator Bayonet Tube
SGTR	Ruperea unui tub al generatorului de abur - Steam Generator Tube Rapture
SSRT	Fluaj - Slow Strain Rate Tensile
STH	Sistem termohidraulic - System Thermal-Hydraulic
TRIGA	Reactor de cercetare cu două zone active (în regim staționar și pulsat) - Training, Research, Isotopes, General Atomics

Rezumat

Definirea Agendei de cercetare – dezvoltare - inovare (CDI) în domeniul LFR în România are ca scop abordarea într-o manieră sistematică și integrată a tuturor aspectelor necesare progresului tehnologic al LFR prin implicarea tuturor actorilor cu expertiză în domeniu: organizații de cercetare, industrie, utilități, organisme de reglementare în domeniul nuclear, universități.

Prin elaborarea agendei naționale sunt definite activitățile și programele CDI care se vor derula în cadrul viitoarei infrastructuri ALFRED în domeniul tehnologiei LFR pornind de la cerințele și prioritățile generate de implementarea și perspectivele de utilizare a acestei infrastructuri strategice.

Documentul prezintă strategia CDI pentru LFR în România (scop, obiective, direcții de acțiune strategice) și planul de acțiuni pentru implementare ținând cont de rezultatele investigațiilor/activităților desfășurate în cadrul Pachetului de lucru 4 (asigurarea sustenabilității, identificarea și prioritizarea aspectelor specifice tehnologiei LFR ce necesită investigații suplimentare, definirea campaniilor experimentale necesar a se desfășura în infrastructurile experimentale în vederea verificării și validării ținând cont de regulile sistemului de management al calității, de tendințele cercetării și dezvoltării și previzionarea anticipată a nevoilor viitoare în domeniul LFR, precum și de rolul, expertiza și contribuția organizațiilor partenere din România.

1. Introducere

ESNII (Inițiativa Industrială Europeană pentru o Energie Nucleară Durabilă) a elaborat programul strategic european de dezvoltare a sistemelor nucleare de generație IV în care sunt considerate trei concepte tehnologice de reactori rapizi printre care și LFR.

Caracteristicile intrinseci și cele de securitate pasivă oferite de tehnologia LFR fac din aceasta un candidat credibil pentru dezvoltarea viitoare a unei filiere de reactori dar și pentru implementarea în viitorul apropiat ca SMR, reprezentând astfel o oportunitate pe termen scurt de a exploata comercial tehnologia LFR.

Infrastructura ALFRED (inclusiv reactorul de demonstrație) este destinată realizării de cercetări specifice tehnologiei LFR precum regimurile 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.

Activitățile de cercetare-dezvoltare sunt necesare pentru finalizarea proiectului, pentru susținerea procesului de pre-licențiere, precum și pentru construcția acestor sisteme.

Aspectele cheie în dezvoltarea LFR ce necesită investigații suplimentare și care fac obiectul prezentei Agende de cercetare-dezvoltare-inovare sunt sintetizate în următoarele categorii principale:

- Studii/analize/caracterizare corespunzătoare materialelor componente și chimiei agentului de răcire;
- Investigații privind integritatea zonei active, a componentelor aflate în mișcare în plumb topit (de exemplu, barele de control și securitate), a instrumentației, a activităților de mentenanță și reparații;
- Funcționalitatea generatoarelor de abur, a schimbătorilor de căldură și campaniile experimentale dedicate demonstrării securității și siguranței în funcționare a acestora;
- Termohidraulica sistemelor cu metale lichide (proces/fenomene) cu precădere în configurații de tip piscină;
- Fiabilitatea pompelor pentru HLM;
- Combustibili avansați și teste de iradiere;
- Aspecte neutronice (validare și verificare coduri de calcul).

2. Scop

Reactorul rapid de demonstrație răcit cu plumb ALFRED (Advanced Lead-cooled Fast Reactor European Demonstrator) și instalațiile experimentale asociate prevăzute a fi construite în România reprezintă o infrastructură complexă și flexibilă ce a fost proiectată astfel încât să facă față nevoilor actuale și viitoare generate de tehnologia reactorilor rapizi răciți cu plumb (LFR).

Proiectul ALFRED are ca scop verificarea la scară a tehnologiei LFR, ceea ce implică testarea caracteristicilor funcționale, a performanțelor combustibilului, a materialelor, a sistemelor componente, a caracteristicilor de securitate etc., precum și demonstrarea sustenabilității conceptului, în special, din punct de vedere economic (una din cerințele principale ale sistemelor nucleare inovative de Generație IV fiind eficiența economică).

Având în vedere aceste necesități, infrastructura ALFRED a fost concepută având ca scop principal accelerarea procesului de proiectare, de demonstrare a securității nucleare și de licențiere a reactorului ALFRED.

Definirea Agendei de cercetare –dezvoltare - inovare în domeniul LFR în România are ca scop abordarea într-o manieră sistematică și integrată a tuturor aspectele necesare progresului tehnologic al LFR prin implicarea tuturor actorilor cu expertiză în domeniu: organizații de cercetare, industrie, utilități, organisme de reglementare în domeniul nuclear, universități.

3. Obiectivele Agendei de cercetare-dezvoltare LFR

Din punct de vedere istoric, dezvoltarea LFR în Europa a fost justificată de potențialul tehnologiei de a excela în sustenabilitate, economie, securitate nucleară și fiabilitate, precum și de rezistența la proliferare și protecția fizică, ca domenii principale de interes pentru tehnologiile viitoare susținute de Forumul Internațional Gen -IV (GIF).

Activitățile propuse la nivel național și european pentru a atinge acest obiectiv inițial, au permis colectarea de informații și rezultate relevante care au extins în mod semnificativ baza tehnologică, deschizându-se calea nu numai pentru aplicații noi ale tehnologiei LFR în diferite segmente de piață, ci și pentru dezvoltarea interdisciplinară, intersectorială în domeniul energiei și în industrie.

De remarcat este faptul că s-a ajuns la un consens cu privire la oportunitatea de a scurta foaia de parcurs (Roadmap) de dezvoltare a LFR, vizându-se domeniul Reactorilor Modulari (SMR). De fapt, caracteristicile de siguranță intrinsecă și pasivă, oferite de utilizarea plumbului topit ca agent de răcire, par deosebit de adecvate pentru a aborda unele aspecte critice asociate dezvoltării conceptelor SMR; în același timp, ele oferă posibilitatea unor simplificări în procesul de proiectare (design) care permit atât utilizarea unor opțiuni tehnologice mature, deja aplicate cât și atingerea unui nivel înalt de competitivitate.

Astfel, în viziunea Consorțiului FALCON (Figura 1), implementarea Proiectului ALFRED vizează atingerea a două obiective majore a căror realizare va consolida poziția României în domeniul nuclear și va conferi Europei poziția de leader în domeniul LFR:

- **O1: Demonstrator al conceptului LFR de Generație IV;**
- **O2: Prototip pentru un reactor modular bazat pe tehnologia LFR (SMR-LFR) pentru implementare pe termen scurt.**

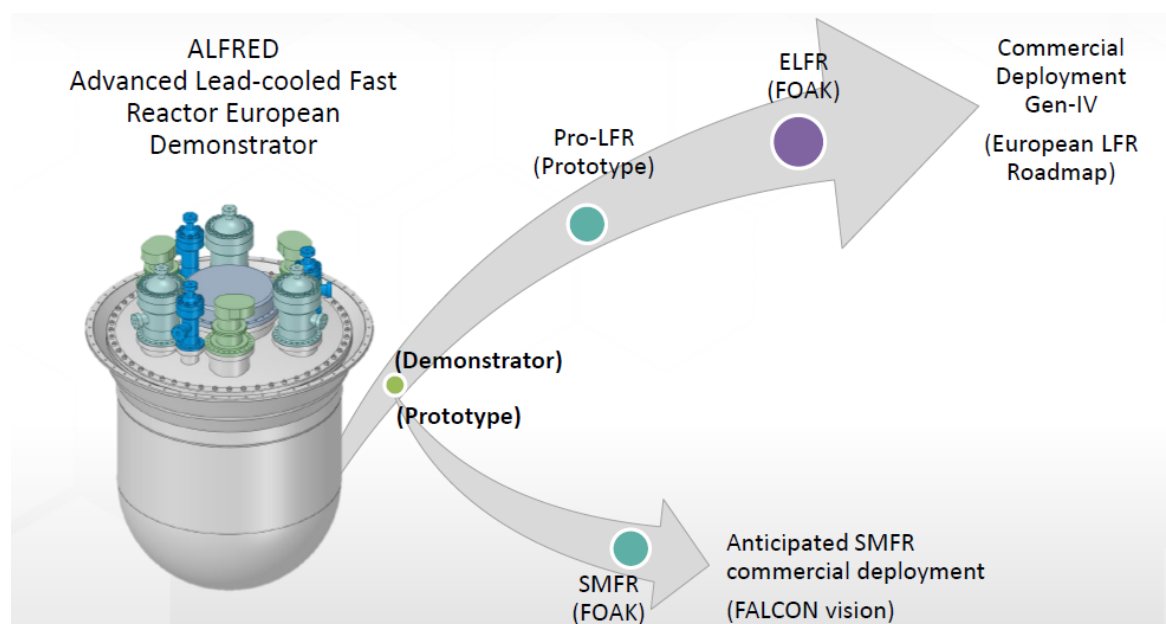


Figura 1 Obiectivele strategice ale Demonstratorului ALFRED

Astfel, Agenda de Cercetare –Dezvoltare - Inovare în domeniul LFR în România va urmări atingerea celor 2 obiective prin stabilirea direcțiilor de acțiune și a activităților asociate ținând cont de tendințele cercetării și dezvoltării la nivel internațional și de previzionarea anticipată a nevoilor viitoare în domeniul LFR, precum și de rolul, expertiza și contribuția organizațiilor partenerie din România.

„Proiectul ALFRED” reprezintă în fapt un proiect integrat cu un domeniu larg de aplicare; acesta cuprinde toate facilitățile experimentale planificate pentru susținerea cercetării, dezvoltării și calificării (RD&Q) sistemului nuclear inovativ ALFRED, precum și programul asociat de demonstrare a securității nucleare.

Mai mult, proiectul ALFRED este conceput ca o rețea distribuită de infrastructuri de cercetare, care contribuie sinergic la dezvoltarea tehnologiei metalelor grele-lichide (HLM) fiind un generator de inovație într-un mediu colaborativ constând din organizații de cercetare, industrie, autorități de reglementare în domeniul nuclear și mediul academic.

Toate acestea reflectă viziunea Consorțiului FALCON în ceea ce privește asigurarea pe termen lung a funcționării în condiții de securitate nucleară, durabilă și competitivă a viitoarelor reactoare LFR.

★ Agenda LFR în România este în consonanță cu Foaia de parcurs (Roadmap) pentru ALFRED și cu Planul de acțiune, documente ce au fost elaborate și comunicate Comisiei Europene în 2018 (Figura 2).

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



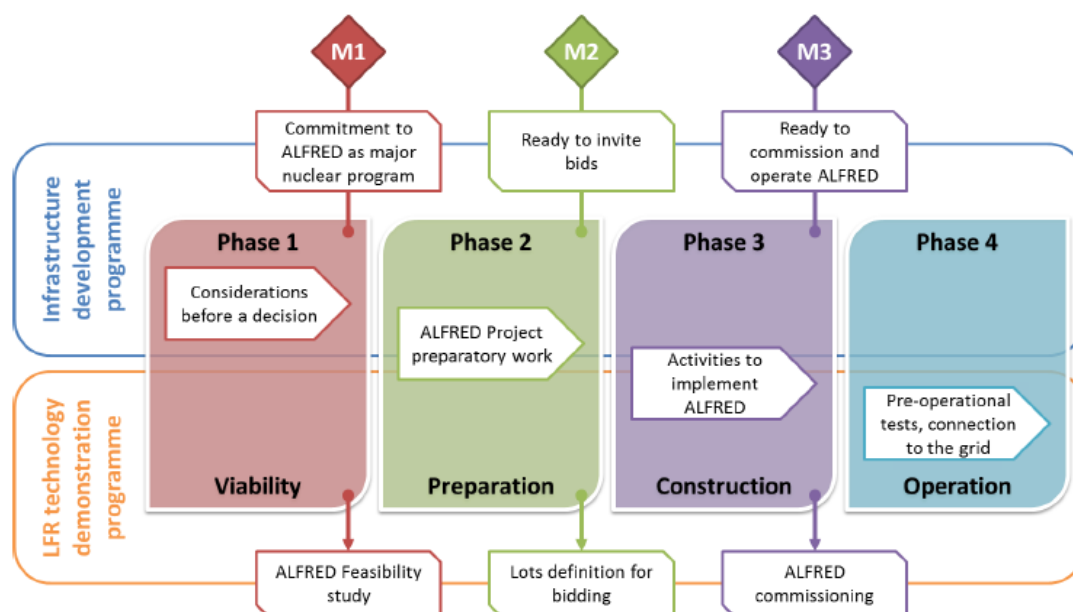


Figura 2 Foaia de parcurs pentru ALFRED

Foaia de parcurs este structurată în patru etape principale - Viabilitate, Pregătire, Construcție și Exploatare. Pentru fiecare etapă au fost definite cinci direcții de acțiune: Management, RD&Q, Licențiere, Inginerie și Resurse Umane (Figura 3) ce sintetizează pentru fiecare etapă acțiunile recomandate de către IAEA (în “Milestones in the Development of National Infrastructure for Nuclear Power” [1]) ca fiind absolut necesare pentru implementarea și operarea în deplină siguranță a unui sistem nuclear. Acțiunile întreprinse în fiecare etapă au ca scop îndeplinirea condițiilor necesare (M1 – M3) demonstrării încheierii cu succes a fiecărei etape.



Figura 3 Direcții de acțiune [1]

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



Agenda LFR în România vizează priorităților de cercetare-dezvoltare și ale campaniilor experimentale identificate în cadrul proiectului PRO ALFRED, luând în considerare nivelul actual internațional al cunoștințelor și expertizei în domeniul tehnologiei LFR.

Pentru a pregăti agenda de cercetare strategică în domeniul LFR în România a fost necesară analiza principalelor provocări specifice precum și a metodelor și tehnicilor de abordare și rezolvare a acestora.

Astfel, au fost efectuate investigații privind:

- identificarea tuturor aspectelor care necesită investigații suplimentare din punct de vedere științific și tehnologic datorită impactului pe care acestea le pot avea în ceea ce privește securitatea nucleară, funcționarea și / mentenanță instalațiilor;
- analiza soluțiilor moderne, actuale disponibile pe baza expertizei acumulate în instalațiile experimentale și infrastructurile de cercetare dedicate metalelor grele lichide existente în Europa și în întreaga lume;
- identificarea de soluții și recomandări privind optimizarea infrastructurii ALFRED, astfel încât acestea să contribuie la rezolvarea acestor provocări tehnice și științifice;
- identificarea activităților experimentale necesare și prioritizarea lor;
- definirea matricilor de testare pentru fiecare campanie experimentală astfel încât să se răspundă pe deplin nevoilor identificate;
- includerea necesităților de verificare și validare a instrumentelor de calcul destinate a fi utilizate pentru demonstrarea securității nucleare.

Rezultatele acestor investigații efectuate în cadrul proiectului PRO ALFRED (prezentate detaliat în Livrabilele L 4.1 - Document de strategie privind principalele direcții și acțiuni de asigurare a viabilității pe termen lung a infrastructurii de cercetare ALFRED, L 4.2 - Studiu de sinteză a aspectelor specifice LFR. Provocări specifice tehnologiei plumbului, L 4.3 – Priorități de cercetare și dezvoltare și a campaniilor experimentale) stau la baza definirii Agendei LFR în România.

4. Direcții Strategice de Acțiune

În scopul atingerii celor două obiective, sunt considerate **două Direcții Strategice de Acțiune (DSA)** ce au ca scop sprijinirea procesului de licențiere și a programului de demonstrație al securității nucleare.

- **DSA1- Dezvoltarea/ Construcția /Operarea Infrastructurii Experimentale;**
- **DSA2- Dezvoltarea/Construcția /Operarea ALFRED**

De asemenea, se au în vedere **patru Direcții de Acțiune Suport** absolut necesare în dezvoltarea , implementarea și operarea infrastructurii ALFRED.

- **Programul de Cercetare-Dezvoltare al RATEN în domeniul „Reactori Nucleari Avansați și Cicluri de Combustibil”;**
- **Resurse umane, Educație și Pregătire profesională;**
- **Consolidarea colaborării naționale și europene;**
- **Surse de finanțare.**

4.1 DSA1- Dezvoltarea/Construcția /Operarea Infrastructurii Experimentale

4.1.1 Stadiul actual și perspective

În prezent, comunitatea științifică se confruntă cu lipsa de facilități adecvate necesare pentru a efectua experimente specifice privind aspectele avansate ale tehnologiei LFR, fie privind testarea și caracterizarea de componente și sisteme prototip în scopul calificării acestora.

Ca urmare, a fost necesară definirea mai multor facilități și infrastructuri de cercetare care să acopere aceste necesități, acestea reprezentând componentele infrastructurii de cercetare ALFRED (RI).

Astfel, infrastructurile HELENA -2, ELF, Hands-On și Meltin’Pot alături de ATHENA și ChemLab (Figura 4) au fost concepute pornind de la analiza necesităților, a problemelor rămase deschise în domeniul LFR prin definirea clară a

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



scopului, a obiectivelor, a domeniului de lucru, a caracteristicilor tehnice astfel încât să se asigure o largă flexibilitate a acestora în abordarea și soluționarea atât a problemelor curente identificate dar și a noilor aspecte generate de evoluția tehnologiei.

Cele șase instalații experimentale, precum și rolul lor în activitățile de cercetare-dezvoltare necesare dezvoltării tehnologiei LFR sunt descrise succint în continuare, ele fiind prezentate detaliat în lucrările realizate în cadrul Proiectului PRO ALFRED [2-5].

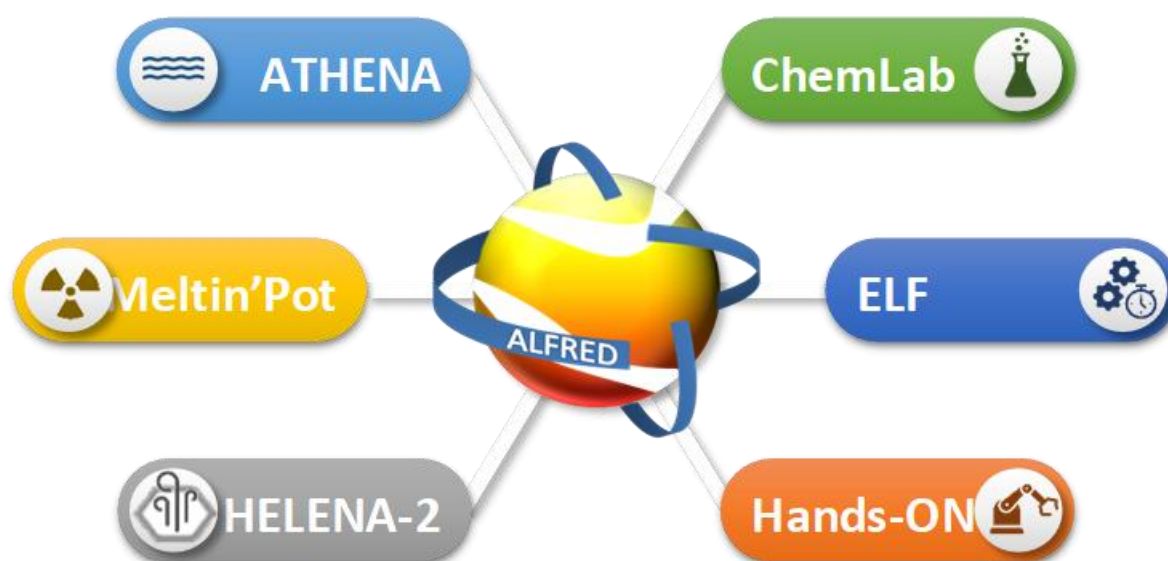


Figura 4 Infrastructura ALFRED

- **ATHENA** (Advanced Thermo-Hydraulics Experiment for Nuclear Application) este o instalație experimentală de tip piscină, încălzită electric, având ca scop investigarea unui spectru larg de aspecte specifice tehnologiei LFR precum: a) controlul chimiei agentului de răcire în geometrii de tip piscină; b) analiza/testarea regimurilor termohidraulice în volume mari de plumb; c) testarea componentelor și a sistemelor auxiliare la scară reală (generatorul de abur, sistemul de îndepărtare a caldurii reziduale (DHR), etc.); d) teste relevante pentru securitatea nucleară, cum ar fi interacțiunea plumb topit – apă și accidentul postulat de tip SGTR (ruperea unui tub al generatorului de abur), etc.

Realizarea campaniilor experimentale din instalația ATHENA (descrise în detaliu în livrabilul L 4.3 – „Priorități de cercetare și dezvoltare și ale campaniilor experimentale”) va contribui la dezvoltarea bazei de date experimentale necesare în

dezvoltarea modelelor matematice și în verificarea și validarea codurilor de calcul , aspect esential în procesul de licențiere al demonstratorului ALFRED.

- **ChemLab** (Lead Chemistry Laboratory) este dedicat studiilor privind chimia agentului de răcire, a fenomenului de coroziune precum și al comportamentului materialelor structurale în plumb topit. Activitățile de cercetare-dezvoltare dedicate chimiei agentului de răcire constau în: proiectarea și testarea senzorilor de oxigen, caracterizarea pompelor de oxigen, caracterizarea capacităților de capturare a oxigenului de diferite elemente chimice prezente în agentul de lucru, experimente de filtrare a plumbului topit, precum și experimente de testare a capacităților de reținere a impurităților în plumb utilizând capcane reci („cold traps”).

Cele două instalații, **ATHENA** și **ChemLab** au fost propuse în cadrul unui proiect pentru finanțare în cadrul POC, secțiunea „Mari infrastructuri de cercetare” care în acest moment (2020) se afla în derulare.

- Instalația experimentală **HELENA2** (Heavy Liquid Metal Experimental Loop for Advanced Nuclear Applications) este destinată testării regimurilor de curgere (forțată și naturală) în circuit de tip bucla, testării comportării casetelor de combustibil, precum și a barelor de control din reactorii nucleari de tip LFR. Scopul principal al instalației HELENA 2 constă în testarea, la scară reală, a comportării casetelor de combustibil (FA) în regimurile specifice de curgere din demonstratorul ALFRED.

De asemenea, datorită riscului de blocare a curgerii agentului de răcire se impune necesitatea realizării de experimente pentru stabilirea consecințelor produse de apariția unor astfel de blocaje. In acest sens, vor fi efectuate experimente pentru două scenarii: apariția unui blocaj extern (în afara FA) sau un blocaj intern (în interiorul FA).

In plus, se vor efectua experimente privind impactul vibrațiilor induse de viteza de curgere a plumbului topit asupra integrității structurale a fascicoului combustibil, precum și teste de deformare a FA pentru diferite configurații, atât în circulație naturală cât și forțată. Scopul acestor teste este de a stabili intervalul de temperatură în care operarea FA este sigură chiar în cazul în care se produce o pierdere a capacității de răcire a FA datorita deformării acestuia.

- Instalația experimentală **ELF** (Electric Long-running Facility) este de tip piscina, cu plumb pur, operata în regim de circulație naturala sau forțată. Testele de duranță din ELF vizează demonstrarea operabilității pe termen lung a reactorului ALFRED precum și, fiabilitatea sistemelor și componentelor acestuia. În acest scop, instalația va funcționa pentru un

interval de timp relevant în condiții de circulație forțată (FC) demonstrând funcționarea pe termen lung a sistemului primar al reactorului ALFRED (3 generatoare de abur de tip baionetă simetric poziționate în interiorul vasului principal, sistemul de îndepărtare a căldurii reziduale compus din trei schimbatoare de caldura scufundate în agentul de răcire și poziționate simetric, cele 3 pompe de circulație verticale). 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.

- **Meltin'Pot** este o instalație experimentală destinată investigării fenomenologiei asociate accidentelor severe în sisteme nucleare cu neutroni rapizi răcite cu plumb pur.

Instalația constă în fapt din 4 instalații (de tip piscină, de dimensiuni reduse) ce sunt dedicate investigațiilor privind: interacțiunea dintre combustibil și agentul de răcire, dispersia/relocarea combustibilului în timpul unui accident sever, dispersia/retenția produșilor de fisiune, precum și dispersia/retenția poloniului. Instalația dispune de instrumentație adecvată pentru monitorizare și achiziție de date, precum și aparatura de analiză de laborator asociată.

- **Hands-ON** este o instalație experimentală destinată testării sistemului de manipulare a casetelor de combustibil și a containerului de transport al combustibilului 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, relocare 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 plumbului topit. De asemenea, se vor efectua teste privind inserția și extragerea fasciculelor combustibile deformate.

Infrastructura de cercetare ALFRED va sprijini abordarea etapizată a demonstratorului [7] (în cadrul căreia sistemul este operat inițial în condițiile care pot fi realizate cu tehnologia actuală (Etapa 1), urmat apoi de trecerea secvențială la condițiile de operare (putere și temperatură mai mari) considerate pentru reactorii LFR, (Etapa 2 și Etapa 3)), abordând cele mai înalte priorități în ceea ce privește nevoile de cercetare și dezvoltare pentru a permite autorizarea și funcționarea în condiții de siguranță a reactorului în Etapa 1. Odată ce acest prim obiectiv va fi atins, infrastructura de cercetare va continua să sprijine optimizarea demonstratorului pentru

etapele ulterioare, extinzând astfel rezultatele obținute în etapele anterioare și contribuind astfel la asigurarea sustenabilității.

Situația actuală, precum și perspectivele privind construcția și operarea infrastructurii ALFRED sunt prezentate sintetic în Figura 5.

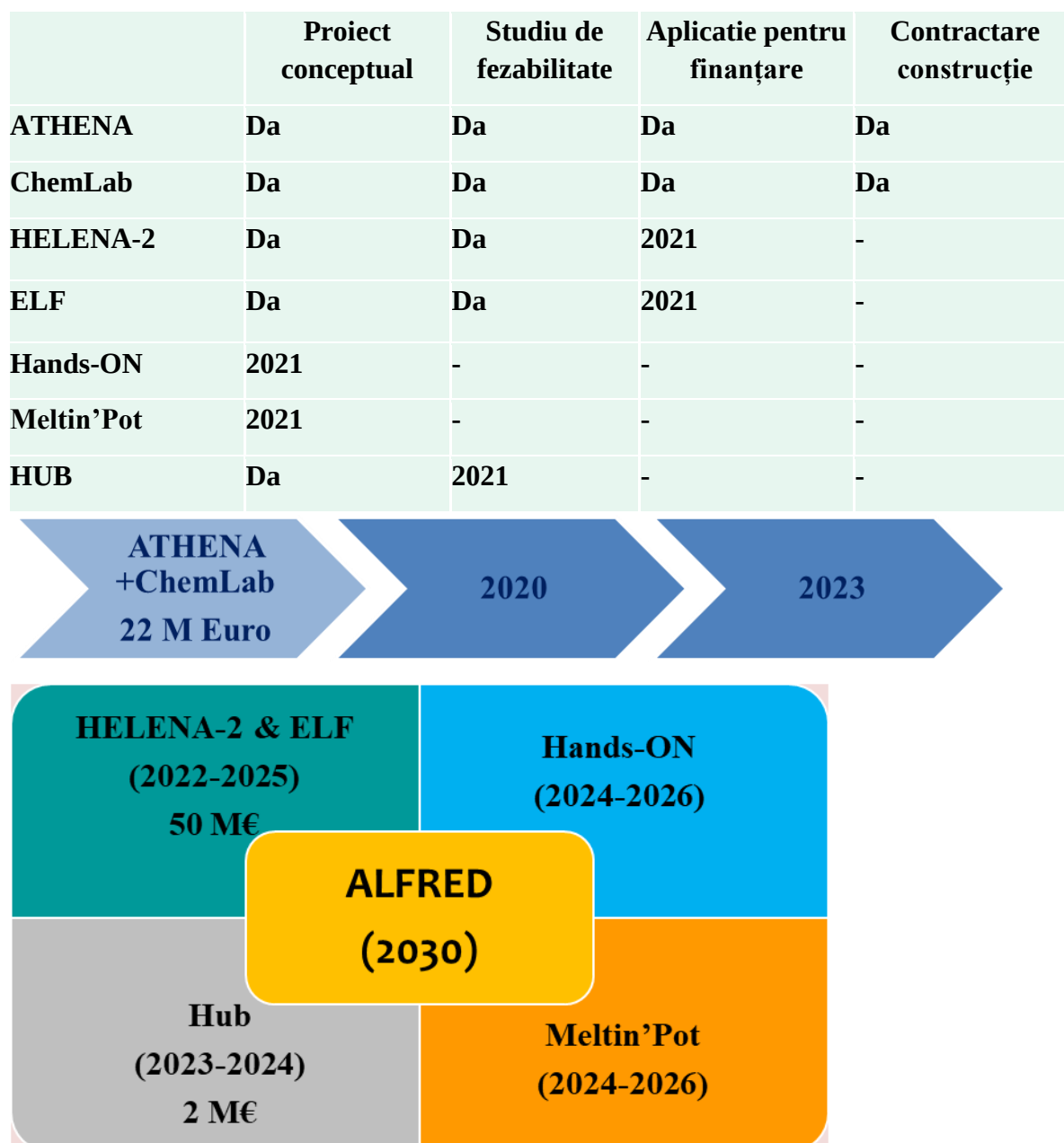


Figura 5 Stadiul actual și perspectivele privind infrastructura ALFRED

4.1.2 Priorități de cercetare-dezvoltare

Activitățile de cercetare-dezvoltare prioritare necesare pentru atingerea obiectivelor propuse prin susținerea procesului de pre-licențiere și prin programul de demonstrație al securității, ce vor fi desfășurate în mare parte în infrastructura ALFRED, au fost identificate în cadrul PRO ALFRED [5] fiind reprezentate de:

- Performantele materialelor utilizate în LFR :
 - Efectul coroziunii/eroziunii asupra materialelor
 - Efectul asupra proprietăților mecanice ;
 - Efectul iradierii asupra materialelor ;
- Investigarea aspectelor specifice tehnologiei LFR :
 - Controlul chimiei agentului de răcire ;
 - Controlul gazului de acoperire ;
 - Curățarea plumbului de pe componente
- Investigatii privind zona activă a reactorului :
 - Combustibilul nuclear ;
 - Termohidraulica zonei active;
 - Performanta sistemelor de bare de control și de securitate.
- Testarea sistemelor și componentelor reactorului:
 - Componentele din sistemul primar;
 - Sistemele de securitate;
 - Manipularea combustibilului.
- Aspecte privind operarea și mentenanța :
 - Instrumentație ;
 - Procesul de inspecție (ISI – In-Service Inspection).
- Investigatii privind comportarea integrală a reactorului:
 - Teste integrale;
 - Teste de durabilitate.

Tabelul 1 prezintă principalele direcții și activități de cercetare-dezvoltare ce definesc Agenda LFR în România.

Tabelul 1 Agenda activităților C&D&I din infrastructura ALFRED

Direcții C&D	Necesități/priorități C&D	Activități experimentale necesare	Infrastructura utilizata
Studii privind materialele și chimia plumbului	Chimia plumbului și coroziunea	- Testare senzori de oxigen în configurații de tip piscină - Conditionarea plumbului - Caracterizarea pompelor de oxigen - Caracterizarea captatorilor ("getters") de oxigen - Experimente de filtrare - Experimente cu capcane reci - Coroziunea în regim static	CHEMLAB ATHENA ELF
	Fragilizarea și degradarea structurilor	- Teste SSTR - Teste de fluaj - Teste frecare indusă de vibrații - Teste de eroziune	CHEMLAB
	Efectele iradierii asupra materialelor	Teste de iradiere în plumb topit	Instalații de iradiere ALFRED
	Materiale pentru rotorul pompei	Teste de eroziune în plumb	CHEMLAB ATHENA ELF
Studii privind integritatea zonei active	Evaluarea sistemului de manevrare al combustibilului	Teste de manevrare pentru ansamblu combustibil normal și deformat	HANDS ON
	Structura și suportul ansamblului combustibil	- Teste în circulație forțată - Vibrații produse de curgere - Comportarea integrală a ansamblului	HELENA2 HANDS ON
	Caracterizarea ansamblului combustibil	- Teste pentru circulație forțată - Teste pentru circulație naturală	HELENA2
	Răcirea ansamblului combustibil	- Teste de blocare a curgerii - Teste pentru ansamblu deformat	HELENA2
		- Interacțiunea combustibil-agent de răcire - Dispersia și relocarea combustibilului - Dispersia/retenția produsilor de	

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



Direcții C&D	Necesități/priorități C&D	Activități experimentale necesare	Infrastructura utilizata
	Integritatea zonei active (în caz de accident sever)	fisiune ▪ Dispersia/retenția Poloniului	▪ MELTIN'PO T
	Calificarea barelor de control	▪ Testarea mecanismelor și a componentelor barei de control	▪ ATHENA
Investigații privind funcționarea generatorului de abur/schimbătorului de căldură	Interacțiunea apa-plumb și evenimentul de tip SGTR	▪ Experimente SGTR	▪ ATHENA
	Calificarea generatorului de abur	▪ Evaluarea performanțelor generatorului de abur	▪ ATHENA ▪ ELF
	Calificarea sistemelor nucleare auxiliare	▪ Testarea DHR ▪ Testarea IC-DHR ▪ Testarea Dip-Coolers	▪ ATHENA ▪ ELF
Sistemul de transport combustibil	Manevrarea de la distanță a ansamblului combustibil și calificarea containerului de transfer	▪ Evaluarea procedurii de realimentare ▪ Teste de extragere a combustibilului ars	▪ HANDS ON
Termo-hidraulica	Evaluări de termohidraulică în configurație de tip piscină	▪ Evaluarea performanțelor RCS și comportarea în timpul tranzițiilor	▪ ATHENA ▪ ELF
	Termohidraulica zonei active	▪ Teste în circulație forțată ▪ Teste pentru circulație naturală ▪ Analize de tranziții	▪ ELF
	Teste integrale	▪ Analize de tranziții în operare și accidentale	▪ ELF
	Teste de durabilitate	▪ Fiabilitatea și performanța RCS	▪ ELF
	Termohidraulica ansamblului combustibil	▪ Tranzitia de la circulația forțată la cea naturală și convecția mixtă	▪ HELENA 2 ▪ ELF

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România

Direcții C&D	Necesități/priorități C&D	Activități experimentale necesare	Infrastructura utilizata
Pompele pentru plumb și studii privind coroziunea/eroziunea	Performanta pompelor și evaluarea materialelor pentru pompe	▪ Teste de evaluare a performantei și a materialelor	▪ HELENA2 ▪ ATHENA
	Evaluarea comportării pe termen lung a pompelor	▪ Teste de performanta și fiabilitate	▪ ELF
Iradieria ansamblului combustibil	Efectele iradierii asupra materialului tecii	▪ Caracterizarea materialului tecii și a stratului de acoperire (“coating”).	▪ Instalații de iradiere ▪ ALFRED

În continuare sunt argumentate pe scurt prioritățile de cercetare-dezvoltare prezentate în Tabelul 1.

4.1.2.1 Studii privind materialele și chimia plumbului

- **Chimia plumbului topit** este considerata o problema cheie în dezvoltarea tehnologiei LFR fiind reflectata în două aspecte principale ce necesită încă investigații suplimentare, și anume:
 - Oxidarea plumbului și depunerea oxizilor de plumb pe componentele reactorului, proces ce afectează termohidraulica agentului de răcire (poate împiedica transferul de căldură și/sau blocarea curgerii).
 - Coroziunea oțelurilor; problema principală este compatibilitatea chimică dintre plumb și oțeluri. Mai multe elemente de aliere din oțel (Ni, Cr, Fe) sunt solubile în metalul lichid, expunând astfel materialul structural la fenomene de coroziune prin dizolvare la interfața dintre plumbul topit și suprafața oțelului, proces ce este intensificat la temperaturi mari (precum cele din zona active a reactorului).

În plus, procesul de coroziune este influențat de cantitatea de oxigen dizolvată în plumbul topit, o anumită concentrație fiind necesară pentru a asigura formarea unui strat protectiv de oxizi pe suprafața oțelurilor.

În acest sens, strategia pentru ALFRED privind chimia agentului de răcire și controlul oxigenului [5] constă în asigurarea unei concentrații de oxigen mult mai mică decât cea de saturatie, pentru temperatura minima de operare (380° din Etapa 1), ce va fi cuprinsa în domeniul 10^{-6} - 10^{-8} pentru a reduce posibilitatea de formare a oxidului de

plumb. Coroziunea devine critica la temperaturi mai mari de 480°C chiar și în cazul unei concentrații de oxigen suficiente deoarece straturile de oxid ce devin fragile și permeabile și ca urmare își pierde capacitatea protectivă la aceste temperaturi. Astfel, pentru a evita degradarea severă a structurilor din reactorul ALFRED la temperaturi mari (Etapele 2 și 3) este obligatorie utilizarea de straturi de protecție, cu precădere pentru tecile și fasciculele de combustibil.

Un rol esențial în monitorizarea concentrației de oxigen în metale grele lichide îl au senzorii de oxigen. Pana în prezent au fost dezvoltati senzori ceramici ce pot fi utilizați în special în monitorizarea instalațiilor cu volum relativ mic de metal topit sau instalațiilor de tip buclă.

Oricum, pana în acest moment lipsește experiența monitorizării în volume mari de plumb astfel încât, în acest sens, instalațiile CHEMLAB, ATHENA și ELF vor juca un rol esențial.

- **Fragilizarea materialelor structurale**

Efectul combinat al plumbului topit și al tensiunii mecanice asupra componentelor structurale este cunoscut în literatura sub denumirea de fragilizarea indusă de metale lichide (LME, Liquid Metal Embrittlement) fiind cauza comportamentului casant al oțelurilor feritice martensitice. Fragilizarea (LME) depinde puternic de chimia agentului de răcire fiind necesară realizarea de experimente pentru evaluarea acestui proces în plumb pur atât în regim static cât și în regim dinamic. Testele în plumb topit cu controlul concentrației de oxigen vor fi efectuate în CHEMLAB și în laboratorul de testare mecanică.

- **Efectele iradierii asupra materialelor**

În cazul sistemelor nucleare răcite cu metale grele lichide, activitățile de cercetare vizează în general înțelegerea, cuantificarea și prezicerea acestor efecte asupra componentelor critice ale unei centrale nucleare. Se pune accentul pe performanțele materialelor în ceea ce privește fragilizarea (indusă de iradierea cu neutroni), comportamentul la corozie fisurantă sub sarcină, precum și efectele induse de iradierea neutronilor, cum ar fi fluajul și umflarea. Obiectivul principal este de a determina dacă iradierea va favoriza sau nu fragilizarea și corozia materialelor în plumb.

Cunoștințele actuale nu sunt complete și sunt necesare investigații experimentale suplimentare care să ofere rezultate de calitate privind comportamentul materialelor. Este de așteptat ca evaluările privind tecile de combustibil și materialele structurale din zona activă a reactorului supuse atât la temperaturi ridicate în mediu de plumb topit cât și la un flux intens de neutroni rapizi, să fie dificile, complexe.

În esență, performanțele materialelor candidate reprezintă o problemă importantă în dezvoltarea sistemelor LFR, următoarele aspecte necesitând studii experimentale suplimentare:

- Coroziunea în plumb sub iradiere a materialelor cu straturi de protecție și fără;
- Fragilizarea indusă de iradiere a materialelor selectate;
- Alungire indusă de iradiere;
- Umflarea materialului.

În acest moment există puține infrastructuri (instalații de iradiere, reactori de cercetare) în care se pot realiza experimente (iradieri) în condițiile dintr-un reactor LFR. Printre acestea se numără reactorul BOR-60 din Rusia sau reactorul TRIGA din RATEN ICN, etc.

Pe termen mai lung, reactorul ALFRED însuși, a fost gândit ca prin abordarea etapizată să ofere această capacitate de iradiere.

- **Materiale pentru rotorul pompei**

Viteza mare de rotație a pompei ce acționează în plumbul topit (densitate ridicată) face ca rotorul acesteia să fie supus unui proces intens de coroziune-eroziune ce poate afecta rapid performanțele materialului acestuia.

Practic, materialul rotorului trebuie să satisfacă o serie de cerințe iar demonstrarea performanțelor acestuia necesită o instalație experimentală specifică care să reproducă condițiile de funcționare din reactor.

Astfel, materialul din care este fabricat rotorul trebuie să facă față temperaturilor ridicate ale plumbului topit (de până la 520 °C), efectelor coroziunii și eroziunii datorate vitezei relative mari (10 m/s, și chiar până la 20m/s). În plus, trebuie demonstrate performanțele și fiabilitatea pompelor în operare pe termen lung.

În acest sens, instalațiile experimentale CHEMLAB, ATHENA și ELF vor contribui la soluționarea/demonstrarea acestor cerințe.

4.1.2.2 Investigații privind integritatea zonei active

- **Testarea/evaluarea sistemului de manevrare al combustibilului**

Printre principalele componente și sisteme relevante pentru funcționarea LFR se numără sistemul de manipulare al combustibilului nuclear care este de o importanță deosebită.

Proiectarea și funcționarea unui astfel de sistem trebuie testate înainte de instalarea în reactor, pentru a demonstra capacitatea să de a-și îndeplini funcțiile corespunzătoare și

în condiții de siguranță. Sistemul este utilizat pentru manipularea și depozitarea ansamblurilor de combustibil pe toată durata de viață a reactorului.

Obiectivul constă în demonstrarea capacității de manevrare a sistemului ce va fi utilizat în reactorul ALFRED și de a valida procedura de manipulare a combustibilului, contribuind astfel la susținerea procesului de licențiere a reactorului.

Integritatea mecanică și structurală a ansamblului de combustibil pentru o gamă largă de condiții de funcționare trebuie testată experimental pentru a verifica caracterul adecvat al soluțiilor de proiectare, inclusiv impactul vibrațiilor induse de curgerea agentului de răcire și interacțiunea dintre distanțieri cu creioanele de combustibil.

În acest sens, este absolut necesară testarea și evaluarea prototipului sistemului de manipulare al combustibilului și al componentelor sale într-o instalație experimentală în scopul calificării.

Astfel, instalația HANDS-ON a fost proiectată în scopul evaluării soluțiilor de proiectare adoptate pentru sistemul de manevrare din punct de vedere al fiabilității și robusteții. De asemenea, instalația HANDS-ON va fi utilizată pentru a testa inserția și extragerea fasciculelor de combustibil deformate, precum și a barelor absorbante deformate.

- **Structura și suportul ansamblului combustibil**

Prin testarea în instalația HANDS-ON a sistemului de manevrare și a procedurilor pentru ansamblurile/casetele de combustibil se realizează și evaluarea fiabilității soluțiilor adoptate privind structurile, componentele și suportii acestora [5].

Astfel, este posibilă simularea și validarea procedurii de extragere a casetei de combustibil din zona activă a reactorului ALFRED, precum și a sistemului de manevrare, a structurilor și a suportului/grilei ansamblului combustibil, atât în regim de circulație naturală cât și forțată a plumbului topit.

- **Evaluarea comportării ansamblului combustibil**

Unul din aspectele critice în proiectarea unui ansamblu combustibil pentru reactorii inovativi răciți cu metale grele lichide este reprezentat de proiectarea și evaluarea distanțierilor a căror geometrie și poziție pot influența semnificativ vibrațiile induse de curgerea metalului (FIV –flow induced vibration) [5]. Testele experimentale vor investiga impactul formei, numărului și poziției distanțierilor asupra vibrațiilor induse de curgerea metalului topit. De asemenea, vor fi realizate experimente privind frecarea indusă de vibrații (“fretting”) creion combustibil-distanțier. Testele vor fi efectuate atât în regim de circulație naturală cât și forțată a agentului de răcire (plumb topit).

Astfel, proiectul de ansamblu combustibil ALFRED va fi evaluat în instalația de tip bucla HELENA 2 în scopul demonstrării robusteții soluțiilor adoptate în procesul de proiectare. În acest sens, o replica a ansamblului combustibil va fi instalată în HELENA 2 având geometria, materialele precum și forma și poziția distanțierilor relevante pentru fasciculul ALFRED și pentru evaluările de securitate necesare în procesul de licențiere.

○ **Răcirea ansamblului combustibil**

Sunt prevăzute două experimente ce vor aborda problematica pierderii răcirii în ansamblul combustibil care se poate datora fie blocării curgerii metalului lichid, fie deformării acestuia [5], [8].

Blocarea curgerii metalului lichid poate avea loc fie în interiorul ansamblului combustibil la nivelul distanțierilor, fie în afară, în pivotul ("spike") ansamblului.

În ceea ce privește blocarea externă a curgerii, aceasta este ușor de simulat din punct de vedere experimental (în baza experienței acumulate în alte instalații cu metale grele lichide) prin impunerea unui debit mai mic decât cel nominal, păstrând constantă puterea în modelul experimental al ansamblului combustibil ce constă din 61 de creioane combustibile.

Pentru simularea blocajului intern este necesară proiectarea unei noi secțiuni de testare în instalația HELENA 2 numită BFPS (Blockage Fuel Pin Simulator) similară celei utilizate în instalația NACIE-UP (Italia) și vor fi urmărite distribuțiile de temperatură de-a lungul creioanelor combustibile în regiunile de blocaj ale distanțierilor.

Experimentele de blocare a curgerii reprezintă o cerință în procesul de licențiere, fiind de asemenea foarte utile în îmbogățirea bazei de date experimentale utilizate în verificarea și validarea codurilor de calcul de termohidraulică ce sunt utilizate în analizele de securitate și în proiectarea ansamblului combustibil.

În ceea ce privește pierderea răcirii datorată deformării fasciculului combustibil, aceasta poate fi studiată prin proiectarea și fabricarea unui fascicul cu grile de distanțieri deformat ce va fi instalat într-o nouă secțiune de testare în instalația HELENA 2. Creioanele de combustibil vor fi instrumentate cu termocuple care să furnizeze valori precise, corecte de temperatură necesare pentru a evalua impactul deformării creioanelor combustibile asupra distribuției de temperatură din ansamblul combustibil.

○ **Integritatea zonei active (în caz de accident sever)**

Mentinerea integritatii zonei active este un deziderat major pentru orice tip de reactor nuclear. Cu toate acestea, sunt necesare investigații pentru evaluarea și analiza fenomenelor ce pot apare în cazul unui accident sever.

Investigațiile efectuate în cadrul proiectului PRO ALFRED [5], [8] au evidentiat atât lipsa infrastructurii experimentale necesare cât și lipsa datelor, informațiilor privind fenomenele, procesele ce pot avea loc într-un reactor de tip LFR în cazul unui accident sever.

Ca urmare, se considera ca absolut necesară realizarea instalației Meltin’Pot, care să permită analiza unor fenomene specifice accidentelor severe pentru LFR:

- interacția combustibil-agent răcire;
- dispersia și relocarea combustibilului după un accident sever;
- retenția produsilor de fisiune (FP) în plumb și/sau migrarea în gazul de acoperire;
- studiul reținerii izotopilor de poloniu în plumb.

Meltin’Pot constă în 4 sisteme, independente, dedicate analizei celor 4 fenomene mentionate, descrise în detaliu în [5].

- ✓ Pentru interacția combustibil-agent răcire, experimentale vizează evaluarea și monitorizarea dispersiei combustibilului în plumbul din vasul principal (atât combustibilului proaspăt (oxid de uraniu și MOX), cât și a combustibilului iradiat la diverse grade de ardere). Rezultatele experimentelor vor contribui atât la extinderea cunoștințelor privind interacțiunea combustibil-plumb în LFR cât și la îmbogățirea bazei de date experimentale necesare validării modelelor utilizate în codurile de calcul pentru simularea interacțiilor chimice.
- ✓ Pentru dispersia și relocarea combustibilului după un accident sever a fost concepută o instalație (ce trebuie instalat într-o celula fierbinte) prevăzută cu un sistem de injecție de combustibil în vasul de reactive, în care se monitorizează și se evaluează dispersia combustibilului (combustibil proaspăt și respectiv, combustibil iradiat la diverse grade de ardere). Se are în vedere efectuarea de teste pentru diverse compoziții ale combustibilului și diverse temperaturi ale agentului de răcire (400-750°C).
- ✓ Pentru retenția produsilor de fisiune (FP) în plumb a fost conceput un alt sistem experimental ce permite evaluarea distribuției acestora în vasul principal; se pot obține astfel date relevante necesare validării modelelor cinetice implementate în codurile de calcul. Experimentele vizează utilizarea

de izotopi stabili ca simulanți ai produșilor de fisiune și vor fi efectuate pentru diverse valori de temperatură ale plumbului topit în intervalul 400-750°C.

- ✓ Pentru studiul reținerii izotopilor de poloniu în plumb, sistemul conceput va permite evaluarea volatilității acestuia la diverse concentrații în agentul de racier. În plus, vor fi efectuate teste privind interacțiunea dintre apă/vapori și plumbul topit și efectul acesteia asupra fenomenului de “stripping” al poloniului (investigarea volatilizării poloniului și formarea hidratilor de poloniu pot fi importante deoarece, în general, fenomenul de “stripping” este mai pronunțat în prezența hidrogenului sau a vaporilor de apă).

- **Calificarea barelor de control**

În proiectarea zonei active este necesară evaluarea parametrilor neutronici și eficacitatea sistemelor de control și de oprire. Acestea din urmă trebuie proiectate astfel încât să asigure funcționarea normală a reactorului și oprirea acestuia în caz de accident.

Reactorul ALFRED dispune de 12 bare de control (CR) și 4 bare de securitate ce reprezintă două sisteme diferite, redundante ce asigură oprirea reactorului.

În scopul calificării barelor de control, o replică a zonei active va fi instalată în ATHENA pentru a investiga mecanismul barelor de control, în particular, pentru a testa modul de operare și performanța acestuia și fiabilitatea mecanismelor și componentelor sale. În acest scop, o replică a barei de control la scală 1:1 va fi inserată în geometria zonei active (reprodusă în ATHENA) și va fi manevrată de mecanismul proiectat [5].

În timpul experimentelor va fi investigată atât viteza de inserție a barei cât și poziționarea ei corectă, prin monitorizarea poziției segmentului de bară din gazul de acoperire. În plus, pentru investigarea impactului seismic asupra sistemului de mișcare al barei precum și asupra inserției corecte a acesteia, o mișcare similară reprezentativă (pentru seism) se va aplica tubului barei de control prin utilizarea unui sistem ce produce vibrații.

În timpul experimentelor, celule de sarcină de tensiune și accelerometre vor monitoriza posibilele deformații și forțe ce acționează asupra tubului barei de control în timpul inserției și extracției acesteia în timpul unei mișcări seismice.

4.1.2.3 Investigații privind funcționalitatea generatorului de abur/schimbătorului de căldură

- **Interacțiunea apa-plumb și evenimentul de tip SGTR**

În reactorii LFR de tip piscină, generatorii de abur (SG) se afla în vasul reactorului existând astfel posibilitatea interacțiunii între agentul de răcire secundar și agentul de

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



răcire primar (plumb topit). Astfel, ruperea tubului generatorului de abur (eveniment SGTR) este considerată o problemă de securitate în proiectarea, dar și în analiza preliminară de securitate a acestor tipuri de reactori.

În cazul unui astfel de eveniment sunt necesare investigații experimentale care să conducă la înțelegerea fenomenelor ce apar și să se identifice modalitățile de prevenire sau de atenuare a consecințelor. Principalele fenomene/procese necesar a fi studiate se referă la: propagarea undei de presiune în sistemul primar, posibilul efect de domino, apariția de valuri inerțiale la suprafața liberă a plumbului din reactor, pătrunderea aburului în sistemul primar, pătrunderea aburului în zona activă a reactorului, precum și interacțiunea plumb-apă/abur.

Simularea interacțiunii dintre plumb și apă se va realiza într-o porțiune dedicată din instalația ATHENA ceea ce va permite evaluarea cu precizie a parametrilor de securitate la scară reală a reactorului, precum și îmbunătățirea cunoștințelor privind fenomenele /procesele ce au loc prin investigarea lor într-o instalație ce reproduce condițiile de operare din reactor.

Aranjamentul experimental va conține câteva secțiuni de testare a SGTR pentru a putea realiza cel puțin 4 teste experimentale [5], [8] pentru fiecare test, tubul spart va conține amestec de apă/abur aflat la parametrii de funcționare nominali ai generatorului de abur, iar viteza de curgere a agentului de răcire din SG va fi similară cu viteza de curgere din generatorul de abur al reactorului ALFRED.

Experimentele vor susține procesul de licențiere al reactorului ALFRED, abordând performanța sistemelor de siguranță proiectate și instalate pentru a preveni apariția unei sarcini excesive asupra vasului principal al reactorului în cazul unui eveniment SGTR.

○ **Calificarea generatorului de abur**

Fiind instalați direct în piscina reactorului cu plumb topit generatorii de abur au o importanță deosebită și este nevoie de evaluări și investigații privind calificarea lor.

În acest scop, infrastructura experimentală ATHENA a fost concepută astfel încât să găzduiască o replică (scala 1:1 pentru lungime) a generatorului de abur al reactorului ALFRED. Numărul de tuburi al dispozitivului (replică) experimental este scalat la puterea instalată a infrastructurii ATHENA.

Studiile de calificare ce sunt prevăzute a se realiza se referă la: validarea geometriei generatorului, posibilitatea de izolare a acestuia în caz de nevoie sub acțiunea operatorului, determinarea căderilor de presiune, comportarea componentelor în condiții normale de operare (circulație forțată sau convecție naturală), precum și în cazul anumitor tranziții și condiții de accident.

○ **Calificarea sistemelor nucleare auxiliare**

Reactorul ALFRED a fost proiectat cu două sisteme independente, pasive și redundante de evacuare a căldurii reziduale și anume: sistemul de evacuare a căldurii reziduale (DHR) (Decay Heat Removal) și sistemul de evacuare de urgență, E-DHR. Interfața acestora cu sistemul agentului de răcire al reactorului (RCS) se realizează prin schimbătorii de căldură imersați în plumb și anume: generatorii de abur (SG) și respectiv, sistemele de răcire introduse în piscina reactorului (Dip Coolers - DC).

Sistemul DHR este proiectat pentru a realiza următoarele funcții de securitate:

- Să asigure răcirea adecvată a sistemului primar ca urmare a unui eveniment de inițiere postulat;
- Să întârzie în mod pasiv solidificarea agentului de răcire asigurând circulația naturală continuă în piscina reactorului.

Sistemul E-DHR constă din 3 circuite închise independente ce operează în paralel fiind separate fizic în compartimente diferite. Fiecare circuit este astfel dimensionat încât să evacueze 33% din puterea reziduală.

Cele două sisteme și modul de operare sunt descrise în detaliu în [5].

Toate aceste aspecte și caracteristici și performanțele asociate vor fi testate și analizate în cadrul infrastructurii experimentale ATHENA în scopul demonstrării viabilității și al susținerii procesului de licențiere, atât prin calificarea tehnologică cât și prin furnizarea de date experimentale necesare validării codurilor de calcul.

4.1.2.4 Sistemul de transport al combustibilului

Sistemul de manipulare al combustibilului este utilizat pentru controlul distribuției de putere în reactor prin relocarea ansamblurilor de combustibil, dar este responsabil și de stocarea și manevrarea ansamblurilor combustibile pe toată durata lor de viață.

În cazul ALFRED, realimentarea și rearanjarea ansamblurilor de combustibil se face de la distanță cu ajutorul unui sistem care trebuie testat înainte de instalarea în reactor pentru demonstrarea capacității de funcționare în condiții de securitate. Aceasta presupune analiza și calificarea instalației prototip și a componentelor sale.

Conceptul propus [5] vizează utilizarea unui container de transport. Procedura constă în extragerea unui ansamblu de tip “dummy”, introducerea containerului în zona activă, transferul ansamblului combustibil (FA) în container și evacuarea containerului cu FA din reactor.

Simularea acestui concept de manevrare a combustibilului se va realiza în instalația HANDS-ON ce gazduiește o replică a FA cu aceeași formă și dimensiune precum cea

din ALFRED, containerul de tranfer având aceeași dimensiune cu cel ce va fi utilizat în reactorul ALFRED.

Campaniile experimentale ce vor fi derulate în instalația HANDS-ON urmăresc testarea și calificarea atât a procedurilor stabilite, cât și a componentele și sistemele proiectate.

4.1.2.5 Termohidraulică

Activitățile de cercetare și dezvoltare în domeniul analizelor termohidraulice pot fi realizate cu ajutorul infrastructurilor experimentale dedicate. Dintre instalațiile de cercetare propuse pentru dezvoltarea reactorului ALFRED, cele mai potrivite pentru realizarea analizelor termohidraulice dedicate tehnologiei LFR sunt ELF și HELENA2 [5].

○ Evaluări de termohidraulică în configurație de tip piscină

Un aspect important al tehnologiei LFR ce necesită investigații suplimentare este reprezentat de fenomenelor termohidraulice care apar într-o configurație de tip piscină (bazin) cu plumb topit în timpul funcționării normale, al tranzițiilor sau a scenariilor de accident.

Lipsa instalațiilor experimentale capabile să investigheze aceste aspecte au condus la conceperea/proiectarea instalației ELF ce reproduce la scară relevantă principalele componente ale reactorului ALFRED.

Principalele activități de cercetare – dezvoltare [8] vizează investigarea următoarelor fenomene/procese ce pot avea loc în vasul reactorului:

- Tipare de curgere în cazul convecției forțate:
 - amestecarea;
 - stratificarea (inducerea stresului termic);
 - distribuția axială și radială a temperaturii;
 - zonele stagnante;
 - oscilațiile la nivelul suprafeței.
- tranziția la circulație naturală;
- circulația naturală, inclusiv
 - căderea de presiune;
 - oscilațiile la nivelul suprafeței;
- interacția dintre fluid și componentele imersate în acesta;
- solicitări la oboseală termică.

Astfel de fenomene sunt deosebit de importante în cazul unui accident soldat cu pierderea debitului agentului de răcire și trecerea de la circulația forțată la cea naturală, deoarece variația mare de temperatură favorizează apariția stratificării termice în interiorul piscinei.

○ **Termohidraulica zonei active**

Investigarea termohidraulică a zonei active pentru condiții variate de operare se va realiza în instalația ELF. Aceasta conține un simulator de zonă activă (CS), având aceeași înălțime cu zona activă (scala de 1:1 în înălțime) a reactorului ALFRED [5]. CS este compus din 31 de subansambluri (S/As) dispuse într-o grilă triunghiulară pentru a forma un pseudo-cilindru, dintre care: 16 ansambluri încălzite electric, reprezentând ansamblurile de combustibil (FA), o secțiune de testare în reactor (IPS) și 2 sisteme de bare de control (CR), înconjurată de 12 ansambluri de reflector (DA).

Simulatorul de zonă activă este înconjurat de un reflector care urmează perimetrul ansamblurilor exterioare, reproducând în acest fel reflectorul zonei active din ALFRED.

Simulatorul de zona activă instalat în ELF va permite investigarea următoarelor aspecte:

- distribuții de debit și temperatură într-un sistem de multi-ansambluri;
- curgerea între casete și schimbul de energie termică;
- căderi de presiune;
- ansambluri și debite de bypass;
- temperaturi la perete, subcanal, bypass și la caseta de combustibil;
- coeficientul de transfer de căldură (HTC) în FA, în convecție forțată și naturală (inclusiv regimul tranzitoriu);
- puncte fierbinți și temperaturi maxime.

○ **Teste integrale**

Testele integrale sunt importante în activitățile de cercetare și dezvoltare dedicate tehnologiei LFR. În urma acestor teste se obțin date privind funcționarea instalației în condiții normale, tranzitorii și de accident postulat.

De asemenea, testele integrate sunt fundamentale pentru susținerea dezvoltării și demonstrării fiabilității codurilor de calcul în simularea comportamentului unui reactor în timpul unui scenariu de accident postulat: în general, aceasta este o cerință a organismului de reglementare.

Datorită dimensiunilor sale relevante și reprezentative ale componentelor, ELF este cea mai potrivită instalație pentru realizarea testelor integrale necesare procesului de licențiere a reactorului ALFRED.

Principalele subiecte abordate în cadrul testelor integrale care urmează să fie efectuate în ELF sunt:

- fenomene și procese de interes la nivel de sistem legate de soluțiile de proiectare, de asigurarea securității nucleare și a funcționării normale;
 - simulări și analize ale unui spectru larg de accidente;
 - proceduri de gestionare a accidentelor;
 - testarea componentelor;
 - problematica efectului de scalare (instalație experimentală versus reactor);
 - generarea bazelor de date experimentale pentru susținerea procesului de licențiere;
 - evaluarea și validarea codurilor de calcul.
- **Teste de anduranta**

ELF (Electric Long-running Facility) este concepută pentru a sprijini licențierea reactorului ALFRED, prin evaluarea performanțelor componentelor pe termen lung a acestuia, investigarea efectelor coroziunii asupra structurilor de oțel, chimia agentului de răcire și a gazului de acoperire, precum și rezistența și fiabilitatea principalelor componente din reactor.

Intr-o prima etapă, înainte de realizarea oricărui test, va fi necesară punerea în funcțiune a buclei externe pentru monitorizarea și controlul chimic al agentului de răcire (OCS) care va permite menținerea nivelului de oxigen din vasul principal în intervalul definit (10^{-6} – 10^{-8} wt%).

Condițiile inițiale de testare a OCS, precum și condițiile inițiale de realizare a testelor de lungă durată sunt prezentate în detaliu în Livrabilul 4.3.

- **Termohidraulica ansamblului combustibil**

Termohidraulica ansamblului de combustibil are ca obiectiv dezvoltarea unor geometrii care să asigure condiții optime pentru realizarea transferului de căldură dintre elementul combustibil și agentul de răcire.

Ansamblul de combustibil trebuie să demonstreze capacitatea de a rezista la iradiere, temperaturi ridicate, eforturi mecanice și agenți corozivi, fără degradarea proprietăților mecanice și geometrice.

Astfel, caracterizarea termohidraulică a celui mai fierbinte ansamblu combustibil din reactorul ALFRED se va realiza în instalația HELENA2 vizând următorii parametrii [5], [8]:

- măsurarea temperaturii la peretele elementului combustibil;
- măsurarea temperaturii în subcanal;

- evaluarea coeficientului de transfer de căldură (HTC) în elementul combustibil;
- verificarea prezenței punctelor fierbinți și a punctelor de temperatură maximă;
- evaluarea stratificării termice axiale și a lungimii sale de intrare de-a lungul subcanalelor;
- trecerea de la circulația forțată la cea naturală.

4.1.2.6 Pompele pentru plumb și studii privind coroziunea/eroziunea

Datorită vitezei relativ mari dintre rotorul pompei și metalul lichid, rotorul este supus unor condiții severe de coroziune – eroziune care ar putea afecta materialul acestuia pe termen lung.

○ Performanța pompelor și evaluarea materialelor pentru pompe

În acest sens, un prototip de pompă verticală plasată în interiorul conductei de pompare a plumbului către generatorul de abur va fi testat în instalația ATHENA [5]. Testul vizează caracterizarea performanțelor hidraulice, privind presiunea și debitul agentului de lucru.

În ceea ce privește validarea proiectării pompelor, testele sunt dedicate investigării următoarelor aspecte:

- performanța relativ la etanșare;
- caracterizarea rulmentului;
- vibrațiile de-a lungul arborelui pompei;
- caracterizarea materialelor utilizate pentru rotorul pompei.

○ Evaluarea comportării pe termen lung a pompelor

În ceea ce privește fiabilitatea pompelor pe termen lung, testarea se va realiza în instalația ELF. În acest scop, ELF este echipat cu trei prototipuri ale pompelor verticale ALFRED pentru a testa fiabilitatea și robustețea lor în timpul încercărilor pe termen lung și a tranzițiilor.

4.1.2.7 Iradierea ansamblului combustibil

Una din provocările majore în dezvoltarea și implementarea reactorului ALFRED o reprezintă testarea materialelor la iradiere și calificarea combustibililor avansați; pentru ALFRED combustibilul de referință este cel de tip MOX standard, întecuit în 15-15Ti (AIM-1), cu sau fără strat de protecție.

Necesitățile de cercetare și dezvoltare necesare completării bazei de date privind performanțele la iradiere ale materialelor candidate au fost identificate în cadrul proiectului PRO ALFRED în care se referă la următoarele aspecte:

- Interacția teacă-agent de răcire

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



- coroziunea în plumb în condiții de iradiere,
- comportamentul tecii degradate,
- fragilizarea materialelor selectate (de exemplu, AFA, 15-15Ti, AISI316L) la iradiere;
- Ruperea cauzată de iradiere (sarcini mecanici, gaze de fisiune);
- Umflarea cauzată de iradiere;
- Interacția strat de protecție-agentul de răcire;
- Integritatea stratului de protecție.

Cum pentru licențiere este necesară testarea la iradierea cu neutroni, la acest moment posibilitățile identificate se referă la instalația BOR-60 din Rusia sau la inșuși reactorul ALFRED în Etapa 1 de operare.

4.2 DSA2- Dezvoltarea/Construcția /Operarea ALFRED

Strategia de autorizare a unei instalații nucleare trebuie să considere trei subiecte principale care trebuie urmărite, subiecte care tin de organizare, amplasament, și de proiectul instalației.

Cum prima direcție nu implică activități de cercetare, în cele de mai jos au fost detaliate activitățile de cercetare dezvoltare care susțin următoarele două direcții de acțiune (DA).

DA1 Obținere autorizație pentru amplasare

DA2 Validare proiect inovativ

DA3 Obținere autorizație pentru construcție și operare a instalației

Fiecare direcție de acțiune poate fi detaliata prin specificarea activităților (A) care sunt preconizate ca fiind necesare.

4.2.1 DA1 Obținere autorizație pentru amplasare

Privitor la autorizarea amplasamentului, se pot detalia următoarele activități :

A1.1 Demonstrarea conformitatii amplasamentului

Pentru a susține adecvarea unui amplasament în a gazdui o instalație nucleară, trebuie caracterizate condițiile specifice acestuia, luând în considerare și caracteristicile tehnologiei care va fi amplasata, și realizate analize de hazard (metodologie; analiza hazardului la incendiu; analiza de hazard seismic; analiza pericolului de inundații; analiza protecției împotriva efectelor tip proiectil; analiza evenimentelor externe ce pot fi cauzate de activități umane; analiza efectelor fenomenelor meteorologice extreme) care să aibă în vedere inclusiv combinațiile de hazarduri.

O atenție deosebită trebuie acordată analizei de seism, deoarece datorită densității mari de plumb, solicitările seismice pun la încercare securitatea instalației, prin efecte de deplasare, antrenarea gazelor și presurizare în caz de defectare a schimbătorilor de căldură, distorsiuni ale geometriei ZA, și inserții de reactivitate.

Densitatea ridicată și masa ridicată corespunzătoare utilizării plumbului ca agent de răcire duc la necesitatea unei analize atente a proiectării structurale pentru a preveni impactul negativ al unui seism asupra sistemului reactorului.

A1.2 Evaluare impact asupra mediului

Pentru a realiza analiza de impact asupra mediului, trebuie realizate estimări pentru :

- consecințe în condiții de funcționare normală, anormală sau în condiții de accident
- riscurile neradiologice generate de materiale toxice utilizate în instalație

Acțiunile specifice pentru această activitate se referă la realizarea următoarelor :

- analiza de impact în condiții de operare normală
- analiza de impact în condiții de accident (inclusiv condiții de accident sever)
- analiza de consecințe considerând riscurile neradiologice

A1.3 Demonstrare adecvare mijloace de evaluare

Această activitate implică validarea metodologiilor, datelor și a codurilor de calcul utilizate pentru realizarea analizelor. Infrastructura de cercetare aduce un aport necesar în obținerea datelor experimentale și în susținerea programului de demonstrare a validității modelărilor și simulărilor.

4.2.2 DA2 Validarea proiectului inovativ

Pentru validarea proiectului, sunt necesare următoarele activități :

- demonstrarea soluțiilor inovative
- demonstrarea validității instrumentelor de calcul utilizate

Pentru a sprijini demonstrarea securității instalației, este necesar să se acționeze pe următoarele direcții:

A2.1 Demonstrarea soluțiilor tehnologice adoptate pentru îndeplinirea funcțiilor de securitate, pentru a susține conformitatea cu valorile tinta

Cum nu exista suficiente date sau experienta de exploatare pentru a demonstra securitatea nucleara a instalației, acestea trebuie obținute printr-un program de teste și experimente care să confirme atât comportarea instalației la funcționare normala, cat și comportarea în conditii de tranzienti și de accident.

Totodata sunt necesar să fie realizate evaluări de securitate (analize de securitate, simulări numerice), în demonstrarea atingerii obiectivelor asumate pentru proiect.

A2.2 Validare combustibil inovativ

Pe termen scurt, un obiectiv esențial este să se confirme că există soluții tehnice care pot fi folosite (combustibilul MOX cu oxid mixt uraniu-plutoniu fără actinide minore este principalul candidat). Pentru a obține aprobarea de a utiliza un combustibil inovativ, este necesară elaborarea unui program de certificare a combustibilului, program susținut de realizarea de campanii experimentale de testare a acestuia, inclusiv în conditii de accident.

A2.3 Demonstrarea calificării instrumentelor de calcul utilizate

Nivelul de calificare al instrumentelor analitice include urmatoarele sub-etape / cerinte:

- Intervalul de validare a codului (pe rezultatele atât a unui efect separat cat și a testelor integrale) ar trebui să acopere intervalul de parametri atât în conditii normale, cat și în conditii anormale;
- Toate fenomenele identificate trebuie să fie modelate corespunzator în cod;
- Incertitudinea predicției codului trebuie cuantificata prin verificare și validare;
- Cuantificarea incertitudinii relațiilor și a modelelor fizice utilizate în mijloacele analitice.

4.2.3 DA3 Obținere autorizație pentru construcție și operare a instalației

În ceea ce privește obținerea autorizării de construcție și operare sunt necesare eforturi pe urmatoarele direcții:

- A3.1 Demonstrarea securității instalației
- A3.2 Validare instrumente de evaluare

Infrastructura de cercetare ALFRED va sprijini abordarea etapizată a demonstratorului, abordând cele mai înalte priorități în ceea ce privește nevoile de cercetare și dezvoltare pentru a permite licențierea și funcționarea sigură a reactorului în etapa 1. Odată ce acest prim obiectiv va fi atins, infrastructura de cercetare va

continua să sprijine îmbunătățirea puterii demonstratorului pentru etapele ulterioare, susținând astfel implementarea acestuia.

Pentru a sprijini demonstrarea securității instalației, este necesar să se lucreze pe două direcții:

A3.1.1 - Demonstrarea soluțiilor tehnologice adoptate în proiect

Aceasta activitate este susținută de activitățile experimentale de cercetare și dezvoltare (realizare teste, experimente) necesare pentru susținerea cercetării privind performanțele sistemelor și componentelor în anumite condiții, ca și de realizarea de evaluări de securitate (analize de securitate, simulări numerice) care să demonstreze conformitatea cu obiectivele cantitative de securitate nucleară.

Pentru a susține nivelul de securitate al instalației, este necesară realizarea de analize de securitate, mai precis sunt necesare metodologii de analiza, modele matematice, date operationale și de fiabilitate, precum și programe de calcul adecvate. Este recomandată utilizarea complementară a analizelor deterministe și probabiliste de securitate, sau a altor metodologii care au fost elaborate să se adapteze corespunzător la gradul de maturitate al proiectului inovativ.

Teste specifice vor fi planificate ca parte a demonstrației finale de securitate, oferind încrederea necesară pentru a îmbunătăți treptat performanța.

Pentru a demonstra securitatea instalației, sunt necesare investigații privind principalele provocări induse de tehnologia reactorilor răciți cu plumb. Principalele acțiuni sunt precizate la fiecare tematică specifică provocărilor, după cum urmează:

Interacțiunea agentului de răcire cu combustibilul

Studiile preliminare au arătat că plumbul este inert cu combustibilul oxid mixt de uraniu și plutoniu, neinducând astfel nicio reacție exotermă. Migrarea izotopilor din matricea combustibilului în lichidul de răcire nu a fost investigată în detaliu, și există încă incertitudini privind comportamentul combustibilului degradat și dispersat în plumb.

Interacțiunea dintre lichidul de răcire și combustibil trebuie investigată, deoarece:

- dispersia combustibilului în lichidul de răcire se află la baza analizelor de securitate a anvelopei,
- permite estimări preliminare pentru a exclude reacțiile exoterme dintre combustibil și agentul de răcire.

Compatibilitatea plumbului ca agent de răcire cu combustibili avansați este un factor suplimentar care trebuie luat în considerare în planul de dezvoltare a inovării din LFR.

Tehnicile de modelare pentru transportul particulelor în plumb trebuie să fie rafinate și validate pentru simularea resturilor de combustibil, provenind din ZA deteriorate, în piscina reactorului. Studiile preliminare ar oferi o perspectivă valoroasă pentru definirea prevederilor de proiectare în amenajarea sistemului reactorului, pentru a evita recriticitatea ZA sau excesul localizat de intrare de căldură de degradare în structurile metalice legate de securitate, ca o consecință a scenariilor de accidente severe / ZA degradata.

Solidificarea plumbului

Solidificarea plumbului merita investigate în detaliu, deoarece consecințele înghețului variază de la solicitări mecanice exercitate asupra structurilor în timpul înghețului / topirii până la blocaje de lichid de răcire.

Sunt necesare eforturi semnificative pentru validarea modelării CFD, care necesită în mod practic modele semi-empirice și date experimentale. Acțiunile de înaltă prioritate în cercetare și dezvoltare sunt următoarele:

- Evaluarea modelelor de solidificare, care au un anumit nivel de maturitate în aplicațiile convenționale industriale.
- Teste experimentale care vizează observarea dezvoltării unui front de solidificare, cu suficiente detalii pentru compararea cu rezultatele de calcul.

Fiabilitatea sistemelor pasive

Pentru modele de reactoare inovatoare, caracteristicile de proiectare pasive ar putea realiza aproape toate funcțiile de securitate fundamentale.

Sistemele pasive de securitate sunt consacrate securității instalației, acționând ca elemente de securitate atât pentru a opri evoluția, cât și pentru a atenua consecințele unui accident. Acest lucru presupune evaluarea indisponibilității lor în cadrul studiilor de securitate probabilistică, în ceea ce privește definiția și evaluarea secvenței de accident, deoarece acestea sunt obligate să efectueze funcții legate de securitate în caz de incidente nedorite și accidente.

Un sistem pasiv are o fiabilitate și disponibilitate determinată în principal de integritatea componentelor sale și de încrederea că va funcționa în toate condițiile necesare; dificultățile care apar în evaluare sunt legate în mare parte de indisponibilitatea de date experimentale de referință cu privire la performanța sistemului, care sunt necesare pentru ca rezultatele să fie calificate.

Metodele de evaluare a fiabilității componentelor și sistemelor active își au originea în controlul performanțelor și tratamentul statistic asociat. Defectiunea sistemelor și a componentelor se bazează pe conceptul de rezistență la solicitare, respectiv cazul în

care o componenta sau un sistem nu își îndeplinește funcția este din cauza că suferă o deteriorare din cauza intensității nepotrivite a solicitărilor.

Fiabilitatea unui sistem pasiv se referă la capacitatea sistemului de a efectua o funcție de securitate în condițiile în care este necesar și se adresează în principal stabilității de performanță aferente.

În general, fiabilitatea sistemelor pasive ar trebui investigată considerând două aspecte principale:

- fiabilitatea sistemelor / componentelor (de exemplu, conducte, supape);
- fiabilitatea fenomenelor fizice (de exemplu stabilitatea circulației naturale),

ceea ce necesită componente de securitate bine concepute, cu cel puțin același nivel de fiabilitate ca al celor active.

Al doilea aspect se referă la modul în care principiile fizice (gravitatea și diferența de densitate) funcționează în termenii evoluției parametrilor termo-hidraulici (TH) (adică parametrii caracteristici ca debit și flux de căldură schimbat) și depind de condițiile înconjurătoare legate de dezvoltarea accidentului. Acest lucru ar putea necesita re-evaluarea fiabilității pentru fiecare secvență după un initiator de accident sau cel puțin pentru un grup restrâns de secvențe de accident, care să cuprindă cele alese pentru similaritatea progresului accidentului și consecințele așteptate; în acest sens analiza TH a accidentului este utilă pentru estimarea evoluției parametrilor în timpul progresiei accidentului.

Instrumentație adecvată

În ceea ce privește instrumentația, sunt necesare activități care urmăresc demonstrarea:

- Fiabilității și preciziei echipamentelor de instrumentație și control de proces (inclusiv senzorul de oxigen, tehnici de monitorizare a impurităților);
- Fiabilității și preciziei echipamentelor de instrumentație și control pentru inspecția în operare

Zona activă a reactorului și sistemele de răcire, de control și de protecție aferente trebuie să asigure condiții adecvate pentru efectuarea de inspecții și teste periodice pe întreaga durată de exploatare a instalației.

Datorită opacității plumbului, orice activitate de inspecție și întreținere este complicată, deoarece inspecția vizuală trebuie înlocuită cu alte tehnici sau efectuată în plumb.

Instrumentele pentru inspecția în exploatare (ISI) sunt afectate de următoarele dificultăți:

- Temperatură de operare ridicată (380°C), din cauza riscului de înghețare a plumbului, care necesită inspecții la temperaturi ridicate;
- Densitate mare a plumbului, ceea ce face instrumentele de inspecție greu de inserat;
- Conductivitatea plumbului, afectând potențial citirea tehnicilor de curenți turbionari;
- Inspecție vizuală (mijloace optice) neaplicabilă din cauza opacității plumbului, făcând necesară utilizarea unor tehnici alternative, cum ar fi metodele cu ultrasunete;
- Diferență redusă de densitate între plumb și oțel, scăzând sensibilitatea metodelor de inspecție cu ultrasunete;
- Stratul de oxid (necesar pentru a limita riscul de coroziune) sau acoperirile, care pot perturba contactul dintre lichidul de răcire și pereții sistemului, afectând calitatea transmisiei cu ultrasunete;
- Capacitate scăzută de umectare a plumbului pe oțelurile oxidate sau acoperite la o temperatură mai mare de 380°C .

Activitățile de cercetare și dezvoltare legate de instrumentație și, în special, de instrumentație pentru ISI, trebuie să se dedice rezolvării următoarelor provocări, care sunt strâns legate de alegerile de proiectare și funcționare a instalației:

- Verificarea compatibilității tehnicilor existente (dezvoltate și utilizate în apă, sodiu sau LBE la temperatură mai mică) cu plumb topit;
- Dezvoltarea de noi tehnici dedicate tehnicilor de scanare și reconstrucție sub plumb, precum și examinării nedistructive sub plumb;
- Îmbunătățirea tehnicilor existente sau recent dezvoltate pentru a reduce timpul de nefuncționare al instalației pentru inspecții planificate și neplanificate;
- Definirea strategiei și identificarea / dezvoltarea echipamentelor necesare pentru extragerea componentelor pentru examinarea și repararea în afara piscinei.

Eliberari radionuclizi

Plumbul prezintă capacități bune de reținere a multor radionuclizi care vor fi fie generați prin activarea neutronică a lichidului de răcire și a impurităților sale, fie eliberat din matricea de combustibil.

Capacitățile de reținere a plumbului sunt importante, deoarece:

- Proprietățile de reținere în funcție de temperatură stau la baza analizelor de securitate a anvelopei,

- Permite estimări preliminare pentru a determina alegerile de proiectare la nivel conceptual,
- Proprietățile de reținere sunt o oportunitate potențială pentru unele operațiuni de întreținere a reactorului.

O cerință importantă pentru acordarea de licențe pentru viitoarele instalații nucleare răcite cu plumb va fi obținerea unei înțelegeri a proceselor de reținere a radionuclizilor în plumb la temperatura și concentrația de oxigen reprezentativă.

A3.1.2 - Demonstrarea soluțiilor tehnologice adoptate pentru mentinerea performanței componentelor, sau mai precis, calificarea materialelor

Aceasta activitate este susținută de activitățile experimentale de cercetare și dezvoltare (realizare teste în condiții prestabilite, experimente) necesare pentru susținerea cercetării privind comportamentul materialelor în anumite condiții. Infrastructura de cercetare este elemental principal în această acțiune.

În general, calificarea se poate referi la materiale și componente cunoscute, dar care trebuie calificate pentru operare în alte condiții decât cele în care au operat anterior, sau la materiale inovative, care nu sunt acoperite de codurile și standardele aplicabile în prezent

Unele din acțiuni se pot referi la, de exemplu:

- Calificarea măsurilor de protecție pentru structuri, în ceea ce privește operarea la iradiere și temperatura ridicată
- Calificarea materialelor noi rezistente la coroziune în plumb (de ex. oțeluri AFA) pentru componenta inoxidabilă în plumb la temperaturi ridicate (520 ° C) și cu iradiere scăzută
- Calificarea acoperirii PLD la temperatură ridicată

Coroziunea materialelor structurale din plumb este una dintre principalele probleme în operarea tehnologiei LFR. Pot fi identificate două strategii principale pentru o funcționare sigură la temperatură ridicată în plumb (aplicabilă, în diferite grade, la etapa 2 și etapa 3 a operării ALFRED):

- Dezvoltarea acoperirilor de protecție: vizând în principal straturi depuse de alumina pe materiale austenitice sau feritice, acoperirile diferă pentru diferite tehnici de depunere (se pot considera Depunerea cu vapori de plasma; Acoperiri pasivante; Depunere laser pulsate, etc.).
- Dezvoltarea de noi materiale sau îmbunătățirea celor existente (opțiunile aflate în studiu, în funcție de cerințele materiale pentru componenta specifică, sunt: oțeluri

AFA; Compozit cu matrice ceramică armată cu fibră de siliciu (SiC); Aliaje refractare, etc.).

În timp ce materialele structurale inovatoare vor trebui să fie supuse unui proces complet de caracterizare, abordările bazate pe acoperiri necesită anumite practici de monitorizare a performanțelor.

Nevoile de cercetare și dezvoltare comune pentru ambele strategii pot fi identificate generic după cum urmează:

- o Investigarea tehnicilor de fabricare și îmbinare,

- o Definirea noilor standarde de calificare (ori de câte ori este necesar).

Caracterizarea completă a materialelor, include, dar fără a se limita la, următoarele investigații privind:

- o Compatibilitatea mediului și integritatea structurală asociată,

- o Investigare efect iradiere (umflare, fragilitate, stabilitate microstructurală, efecte pe termen lung cu doze mici),

- o Investigare comportament la tensiuni termice, fluaj, oboseală și fluaj / oboseală (inclusiv performanța îmbinarilor).

Regiunile de schimbare a impulsului sau viteza constantă mai mare de 2 m / s induc eroziunea pe oțel, care poate, de asemenea, îmbunătăți sinergic coroziunea materialului sau mijloacele de protecție a suprafeței degradate. Pentru evitarea acestui fenomen, este necesară dezvoltarea de acoperiri rezistente la uzură și auto-vindecare pentru a fi depuse pe materialul de bază din oțel.

A3.2 Validare instrumente de evaluare

Codurile de calcul trebuie să fie capabile să modeleze corespunzător toate fenomenele identificate, și incertitudinile aferente trebuie să fie cuantificate.

Validarea codurilor trebuie susținută de rezultatele experimentale obținute în urma testelor și exercitiilor benchmark.

4.3 Direcții de acțiune suport

4.3.1 Programul de Cercetare-Dezvoltare al RATEN în domeniul „Reactori Nucleari Avansati și Cicluri de Combustibil”

Având în vedere prioritățile dictate de evoluțiile înregistrate privind dezvoltarea și implementarea reactorului ALFRED și a infrastructurii de cercetare suport (ATHENA, ChemLab, HELENA 2, ELF, Meltin’Pot, Hands-ON), precum și interesul internațional privind dezvoltarea și utilizarea reactorilor de tip modular (SMR) a fost

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



definita în anul 2020 o noua structura a Programului 12 “Reactori nucleari avansati și cicluri de combustibil” (finantat de Ministerul Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri) în acord cu STRATEGIA RATEN 2015-2025 [9], constând în 10 teme de cercetare-dezvoltare [10].

Analiza rezultatelor obținute în facilitatile experimentale dedicate metalelor grele lichide au evidențiat faptul ca exista inca aspecte ale tehnologiei LFR care necesită investigații suplimentare datorită impactului acestora asupra securității nucleare și funcționării în condiții de siguranță a instalațiilor nucleare; parte a acestor probleme ramase deschise (prezentate în acest raport) vor fi abordate/investigate în cadrul activităților de cercetare-dezvoltare propuse pentru perioada 2021-2025.

Astfel, obiectivele tehnico-stiintifice ale Programului 12 în perioada 2021-2025 sunt:

- Racordarea la tematica proiectelor internaționale inițiate de țările cu tradiție și experiență în domeniu, implicate în realizarea de proiecte Gen IV și reactori de tip modular (NuScale, SMR-LFR, etc.);
- Formarea și dezvoltarea capacității, competenței și expertizei proprii în domeniul sistemelor nucleare inovative, inclusiv reactorii de tip SMR.
- Realizarea de calcule/simulari de neutronică și termohidraulică privind proiectarea și dezvoltarea sistemelor nucleare avansate și a reactorilor de tip modular (SMR);
- Realizarea de analize deterministe și probabiliste de securitate pentru reactorii Gen IV și SMR;
- Realizare evaluări și analize de cicluri combustibile pentru reactorii de Generație IV (noi tipuri de combustibili nucleari, radioactivitate, factori de hazard, etc).
- Dezvoltare/testare/caracterizare de materiale (structurale, combustibili, agenți de răcire) pentru sisteme nucleare avansate și SMR;
- Abordare/implementare metodologii și programe de calcul privind simularea/modelarea comportării materialelor.
- Dezvoltare infrastructura experimentală necesară pentru investigarea problemelor ramase deschise ale tehnologiei LFR (realizare de studii, proiecte conceptuale de instalații, etc);
- Asimilare/studii privind investigarea aspectelor tehnologiei LFR abordate în cadrul infrastructurii ALFRED (instalațiile ATHENA, HELENA 2, ELF, Hands On, Meltin’Pot, ChemLab).
- Pregătirea procesului de licențiere pentru reactorii inovativi și modulari;
- Pregătirea procesului de autorizare a amplasamentului pentru ALFRED;

- Dezvoltarea expertizei proprii privind procesul de licențiere al reactorilor avansați și de tip SMR (SMR-LFR, NuScale, etc.).
- Studii/analize/strategii privind situația actuală, perspectivele, beneficiile și provocări asociate dezvoltării tehnologiilor nucleare inovative;
- Armonizarea cu standardele, metodologia și cerințele IAEA (Programul INPRO).
- Realizarea de studii privind evoluția anticipată în operare, pe termen lung, a materialelor de construcție ale LFR și pentru dezvoltarea unei metodologii de monitorizare in-situ;
- Dezvoltarea capacității pentru furnizarea de consultanță/asistență tehnică permanentă pe șantier conform cerințelor contractuale pentru lucrările ingineresti și supravegherea calității.
- Dezvoltarea capacității privind stabilirea criteriilor, cerințelor și principalelor etape de amplasare a reactorilor nucleari LFR, în particular pentru demonstratorul ALFRED;
- Analiza comportării în timp a sistemelor și echipamentelor din reactorii răciți cu plumb, precum și studii de proiectare și analize a sistemelor tehnologice și a echipamentelor din LFR.
- Dezvoltarea capacității privind stabilirea criteriilor, cerințelor și principalelor etape de amplasare a reactorilor nucleari de tip SMR (NuScale, SMR-LFR, etc.);
- Dezvoltarea capacității privind proiectarea și analize ale sistemelor tehnologice, echipamentelor, sistemelor electrice și de automatizare, instrumentație și control corespunzătoare SMR; aplicații /dezvoltări software pentru modelarea performanțelor în exploatare a sistemelor de proces și echipamentelor.
- Propuneri de lucrări de cercetare în cadrul Programelor anuale; implementarea și monitorizarea lucrărilor de cercetare; evaluarea rezultatelor de cercetare-dezvoltare în domeniu; editarea de carte; redactarea de lucrări științifice în reviste de specialitate; organizarea de Seminarii Tematice.

Pe baza analizei problemelor ramase deschise ale tehnologiei LFR și a celor ce necesită investigații suplimentare identificate și în cadrul Proiectului PRO ALFRED și în scopul:

- îndeplinirii obiectivelor tehnico-științifice propuse;
- dezvoltării capacității privind implementarea infrastructurii experimentale asociată reactorului ALFRED (ATHENA, ChemLab, HELENA 2, ELF, Meltin'Pot, Hands-ON) și activitățile experimentale ce vor fi derulate pe aceste instalații;

- formarii și dezvoltării capacității, competenței și expertizei proprii în domeniul sistemelor nucleare inovative, inclusiv reactorii de tip SMR;
- realizării sarcinilor RATEN ICN în cadrul Programului Comun de Cercetare-Dezvoltare-Inovare stabilit în cadrul Consorțiului FALCON în scopul realizării foii de parcurs a demonstratorului (ALFRED Roadmap);
- realizării sarcinilor RATEN ICN în proiectele europene (Horizon 2020) și IAEA aflate în derulare și viitoare.

au fost definite principalele activități de cercetare-dezvoltare ce vor fi abordate în perioada 2021-2025 [10] pentru fiecare tema C&D (12.01 – 12.09) (Tabelul 2) .

Tabelul 2 Teme și activități C&D pentru perioada 2021-2025:

12.01 Dezvoltarea capacității, competenței și expertizei pentru dezvoltarea și implementarea reactorilor nucleari inovativi și a reactorilor modulari ▪ Armonizarea cercetării cu tematicile susținute internațional în domeniul reactorilor de GENIV și al reactorilor modulari (SMR) și asimilarea metodologiilor specifice tehnologiilor inovatoare abordate pe plan internațional (NuScale, SMR-LFR, etc.); ▪ Elaborare și implementare planuri specifice de pregătire a personalului necesar implementării și operării infrastructurii ALFRED (programe de pregătire: naționale, ICERR, mobilitati în proiecte EU și IAEA, FALCON, etc); ▪ Promovarea, dezvoltarea și evaluarea culturii de securitate în implementarea sistemelor nucleare inovative și a reactorilor modulari (SMR); studii asupra indicatorilor de performanță în cultura de securitate și analize ale nivelelor de maturitate ale acesteia.
12.02. Metode, programe și calcule de fizica reactorilor și securitate nucleară pentru reactori avansați ▪ Calcule/simulări de neutronică și termohidraulică privind proiectarea și dezvoltarea sistemelor nucleare avansate și a reactorilor de tip modular; ▪ Analize deterministe și probabiliste de securitate pentru reactorii Gen IV și SMR; ▪ Analize de evenimente externe/ hazard; ▪ Analize privind noi tipuri de combustibili nucleari (nitruri, carburi , etc., combustibili cu actinide minore); ▪ Investigații ale aspectelor specifice de termohidraulică metalelor grele lichide în configurații de tip piscină (cum ar fi: stratificare, solidificare/retopire, fluctuații termice și mecanice, sloshing și încărcarea mecanică a structurilor, transfer turbulent de căldură, transportul particulelor, transport bule de gaz, etc.); ▪ Investigații ale aspectelor de termohidraulică fasciculului de combustibil (normal/deformat, blocajul curgerii, etc);

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



- Analize termo-mecanice și de vibrații/seismice în metale grele topite.

12.03 Materiale și tehnologii pentru sisteme nucleare avansate

- Dezvoltare/testare/caracterizare de materiale structurale candidate pentru sistemele nucleare inovative;
- Investigații privind agentul de răcire, precum: compatibilitatea cu materialele structurale, chimia plumbului, metode/tehnici de inspecție în plumb topit, etc.);
- Investigații privind interacțiunea combustibil -agent de răcire, și abordare de noi tipuri de combustibili (nitruri, carburi, etc.);
- Controlul/monitorizarea gazului de acoperire;
- Abordare/implementare metodologii și programe de calcul privind simularea/modelarea comportării materialelor în reactorii inovativi.

12.04. Instalații experimentale pentru studiul, caracterizarea , testarea și calificarea materialelor și echipamentelor pentru reactori GEN IV

- Realizare de studii, proiecte conceptuale, etc. de instalații necesare pentru investigarea problemelor ramase deschise ale tehnologiei LFR, precum:
 - testare la coroziune a materialelor principale pentru reactorii tip LFR;
 - studiul solidificării plumbului (eventual încărcarea termo-mecanică pe componente/elemente din plumbul topit – experimente cuplate cu analize CFD);
 - propagarea vibrațiilor în plumb lichid/studii seismice;
 - studii/viziune/concept privind studiul interacțiunii combustibil – plumb (dezvoltare infrastructura LEPI);
- Asimilare/investigații/studii privind necesitățile de calificare ale instrumentației de masura/monitorare/control din LFR (rezistența la sarcinilor mecanice, termice sau electrice, cauzele/fenomenele ce afectează timpul de răspuns, etc);
- Studii/investigații privind aspectele operationale ale instalațiilor experimentale cu metale grele lichide (preoxidare, încălzirea plumbului, prima umplere a instalației, reducerea oxigenului din instalație înainte de încălzire (“gas conditioning”), pornire/oprire pompa, răcire, evacuare, curățare plumb, etc.).

12.05 Susținerea activităților de licențiere pentru reactori avansați și reactori modulari

- Consolidare proces pre-licențiere pentru reactorii inovativi și de tip SMR (SMR-LFR, NuScale, etc.);
- Studii pentru autorizarea amplasamentului;

- Pregătirea raportului preliminar de securitate;
- Investigații privind impactul asupra mediului pentru reactori avansați și modulari (NuScale, SMR-LFR, etc.).

12.06 Studii privind integrarea reactorilor inovativi în programul energetic în vederea asigurării sustenabilității pe termen lung

- Dezvoltarea de studii de caz pentru evaluarea comparativă a opțiunilor/scenariilor de sisteme energetice nucleare (NES) pe baza abordării KIND, ca suport pentru analiza decizională și prioritizarea dezvoltării programelor nucleare;
- Dezvoltarea abordării structurate ROADMAPS (incluzând modele de cooperare internațională și template specific) pentru îmbunătățirea sustenabilității globale a energiei nucleare;
- Dezvoltarea instrumentelor INPRO pentru analize economice, modelare NES, evaluare comparativă opțiuni/scenarii NES, etc ;
- Dezvoltarea conceptelor și metodologiei INPRO de evaluare a sustenabilității NES în ariile de interes: economia, infrastructura, management deșeuri, securitate nucleară, neproliferare, protecție fizică și mediu;
- Modelarea scenariilor de evoluție a NES și utilizarea metodologiei INPRO în evaluarea sustenabilității acestora, ca suport în planificarea strategică și pe termen lung a programului nuclear integrat în mix-ul energetic național;
- Asigurarea suportului de pregătire și a consultanței pentru aplicarea modelelor și instrumentelor dezvoltate în proiectele de colaborare INPRO în cadrul serviciului IAEA ASENES;
- Asigurarea suportului de pregătire e-learning și educație la distanță în cadrul platformei IAEA Learning Management System pentru experți din state care doresc începerea unui program nuclear.

12.07. Metodologii de evaluare și monitorizare a comportării în operare a structurilor LFR

- Studii / analize / strategii privind integrarea structurilor LFR și instalațiilor suport în programul de urmărire specială a comportării construcțiilor în timp.

12.08. Studii suport de proiectare, inginerie tehnologică și amplasare a LFR

- Cerințe, studii de proiectare și analize a sistemelor tehnologice, echipamentelor, sistemelor electrice și de automatizare, instrumentație și control corespunzătoare LFR;
- Aplicații și dezvoltări software pentru modelarea performanțelor în exploatare a sistemelor de proces și echipamentelor;
- Metodologii și proceduri de evaluare a securității nucleare a LFR-urilor în regimuri de exploatare și condiții de accident postulat.

12.09. Studii suport de proiectare, inginerie tehnologică, securitate nucleară și amplasare a reactorilor inovativi de tip SMR (NuScale, SMR-LFR, etc.)

- Stabilirea criteriilor, cerințelor și principalelor etape de amplasare a reactorilor nucleari SMR (NuScale, SMR-LFR, etc.);
- Cerințe, studii de proiectare și analize a sistemelor tehnologice, echipamentelor, sistemelor electrice și de automatizare, instrumentație și control corespunzătoare SMR; aplicații /dezvoltări software pentru modelarea performanțelor în exploatare a sistemelor de proces și echipamentelor.

4.3.2 Resursa umană, Educație și Pregătire Profesională**4.3.2.1 Viziunea și recomandările organizațiilor internaționale**

Încă din 2008, la inițiativa președinției, Consiliul Uniunii Europene a subliniat necesitatea de a asigura competențele necesare în domeniul nuclear, a încurajat statele membre și Comisia să stabilească o revizuire a calificărilor și competențelor profesionale și a invitat Comisia să raporteze Consiliului în mod regulat cu privire la inițiativele, măsurile și rezultatele obținute. Ca prim pas, Comisia Europeană a creat organizația EHRO-N, "Observator European privind resursele umane în sectorul energiei nucleare".

De-a lungul timpului rapoartele ale EHRO-N au furnizat o imagine cuprinzătoare a situației resurselor umane în sectorul energiei nucleare din UE, au identificat provocările și au prezentat inițiativele în acest domeniu, atât în curs de desfășurare cât și planificate - în principal la nivelul UE și internațional.

În plus, importanța educației și formării este recunoscută în Tratatul EURATOM, articolul 33, care solicită statelor membre să "stabilească dispozițiile corespunzătoare, fie prin legislație, fie prin reglementare sau acțiuni administrative, pentru a asigura respectarea standardelor de bază care au fost stabilite și să ia măsurile necesare în ceea ce privește predarea, educația și formarea profesională". Statele membre au, prin

urmare, responsabilitatea de a se asigura ca expertiza adecvata este disponibila în domeniul nuclear, în special prin intermediul programelor de educație și formare.

Astfel, fiecare stat membru al UE este responsabil pentru propriile sisteme de educație și formare, politicile de la nivelul Uniunii fiind concepute pentru a sprijini acțiunile naționale și provocările comune cum ar fi: îmbatrânirea populației, deficitul de competențe în rândul forței de muncă și concurența la nivel mondial. Aceste provocări necesită răspunsuri comune și țările pot beneficia de experiențele comune.

Ca urmare, obiectivele strategice pe termen lung ale politicilor de educație și formare ale UE sunt:

- Transformarea în realitate a învățării continue și a mobilității fără frontiere;
- Îmbunătățirea calității și eficienței educației și formării;
- Promovarea echității, a coeziunii sociale și a cetățeniei active;
- Stimularea creativității și a inovării, inclusiv a spiritului antreprenorial, la toate nivelurile de educație și formare profesională.

Un rol aparte în crearea și dezvoltarea de competențe în domeniul nuclear este detinut de IAEA ce promovează permanent diferite inițiative în acest sens dar și numeroase recomandări cuprinse în Ghiduri IAEA ce evidențiază de asemenea motivele pentru care industria nucleară impune cerințe foarte riguroase. Printre acestea se numără: complexitatea tehnologiei nucleare ce necesită personal cu studii superioare și bine instruit, posibilele consecințe ale nerespectării standardelor înalte de performanță cerute mai ales în relație cu aspectele de securitate și non-proliferație, verificarea riguroasă, independența a strategiei prin apararea în adâncime („defence-in –depth”), intoleranța la eroarea umană, răspuns prompt la evenimente sau accidente, etc. Ca urmare, în abordarea IAEA, managementul resurselor umane are patru obiective interdependente:

- să asigure dezvoltarea și menținerea competențelor personalului din industria nucleară;
- organizarea eficientă și eficienta a activităților;
- anticiparea resursei umane necesare;
- monitorizarea și îmbunătățirea continuă a performanței.

În abordarea IAEA [1], acțiunile ce trebuie întreprinse în vederea asigurării resurselor umane sunt definite de cele 3 stadii (generale) ale unui program nuclear ce vizează introducerea unei noi tehnologii (fie reactor de cercetare, de demonstrație sau centrala nucleară):

- Etapa 1: Considerații/recomandări înainte de a lua decizia privind lansarea unui nou program nuclear;

- Etapa 2: Activități pregătitoare pentru construcția reactorului/centralei după luarea deciziei;
- Etapa 3: Acțiuni/activități pentru implementare.

Una din responsabilitățile organizației /entităților ce implementează noul sistem nuclear este de a identifica inventarul de cunoștințe și abilități necesare dezvoltării și menținerii unui program nuclear sigur și eficient. Indiferent de modul în care aceste competențe sunt obținute (la nivel național și/sau asigurate de furnizorii de tehnologie) ele trebuie să existe și să acopere toate domeniile implicate. Astfel, se impune crearea unui plan de dezvoltare și menținere de competențe ce trebuie să implice toate entitățile/organizațiile (operator, organul de reglementare, industria, etc). Chiar dacă competențele necesare sunt inițial furnizate de parteneri externi, cunoștințele și abilitățile privind managementul programului nuclear trebuie dezvoltate și menținute în țara respectivă.

Etapa 1: Recomandări înainte de a lua decizia privind lansarea unui nou program nuclear

În acest stadiu, se recomandă efectuarea următoarelor acțiuni:

- Identificarea întregului spectru de discipline științifice și ingineresti necesare pentru funcționarea întregului program nuclear;
- Evaluarea disponibilității acestor discipline în țară;
- Evaluarea capacității naționale de educare sau a posibilităților externe de educare pentru acele competențe ce nu pot fi create la nivel național;
- Identificarea necesităților de pregătire profesională (chiar și pentru personalul cu experiență) în domeniile securității, siguranței, radioprotecției și managementului;
- Evaluarea posibilităților de pregătire specializată la nivel național sau internațional;
- Crearea unui plan ferm de obținere a resurselor umane necesare pentru inițierea/startul programului nuclear;
- Crearea unui plan riguros pentru dezvoltarea resursei umane pentru toată durata programului nuclear.

4.3.2.2 Obiectivele Strategiei de Resurse Umane pentru tehnologia LFR

O1: să asigure recrutarea de personal competent și pregătirea acestuia continuă pentru tot spectrul de specializări și calificări necesare infrastructurii ALFRED;

O2: să motiveze și să rețină personalul competent existent;

O2: să asigure condițiile necesare pentru dezvoltarea unei cariere în domeniul cercetării-dezvoltării;

O2: să creeze condițiile pentru creșterea performanței individuale și colective în scopul atingerii nivelului de excelență în activitățile CDI din cadrul infrastructurii ALFRED.

Recunoașterea tuturor premiselor necesare pentru competențe - inclusiv cunoștințe, abilități și atitudini - a personalului implicat în programul nuclear este esențială.

În special, întreaga gamă de discipline științifice și tehnice precum și pregătirea profesională specializată necesare pentru un program nuclear trebuie să fie identificate și trebuie susținute de planuri detaliate, riguroase de obținere și mentinere a resurselor umane.

4.3.2.3 Identificarea întregului spectru de competențe științifice și ingineresti necesare pentru funcționarea infrastructurii ALFRED

- **Analiza situației specialiștilor din RATEN care desfasoara activități de cercetare-dezvoltare pentru tehnologia LFR**

Specialiștii RATEN ICN sunt implicați încă din anul 2007 în proiectarea și dezvoltarea conceptelor de reactori rapizi răciți cu plumb prin participarea în calitate de parteneri sau coordonatori în numeroase proiecte europene dedicate reactorilor inovativi de Generație IV.

De asemenea, activități de cercetare-dezvoltare dedicate cu precădere tehnologiei LFR se desfasoara încă din 2007 în cadrul Programului RATEN "Reactorii nucleari avansați și cicluri de combustibil".

Astfel, la momentul actual, un număr de aproximativ 60 de persoane sunt implicate în activități de cercetare-dezvoltare dedicate tehnologiei sistemelor inovative LFR acoperind un domeniu larg de aspecte specifice tehnologiei LFR.

- **Estimarea numărului de posturi necesare activităților de cercetare-dezvoltare pentru infrastructura ALFRED**

Activitățile necesare implementării și operării cu succes a infrastructurii ALFRED (ATHENA, ChemLab, HELENA2, ELF, HandsOn, Meltin'Pot), demonstratorul ALFRED și hub-ul pentru coordonarea activităților experimentale din infrastructura ALFRED, necesită o resursă umană înalt calificată în specializările legate de caracteristicile tehnologiei LFR și de prioritățile de cercetare-dezvoltare prezentate în capitolul anterior și sintetizate în Tabelul 1.

Astfel, în cadrul proiectului PRO ALFRED [11] pentru fiecare domeniu de interes a fost estimat necesarul de posturi cu studii superioare (Tabelul 3).

Tabelul 3 Necesarul de posturi pentru desfasurarea activităților de cercetare-dezvoltare pentru infrastructura ALFRED

	Domeniu	Subdomeniu	Estimarea posturilor necesare subdomenii pe	Estimarea posturilor necesare domenii pe
1	Fizica reactorilor (neutronică, evaluarea criticitatii)	Date nucleare	1	7
		Calcul de statica, transport și difuzie	2	
		Calcul de dinamica	2	
		Calcul 3D cuplate (neutronică- termohidraulică)	2	
2	Termohidraulică	Termohidraulica la nivelul casetei de combustibil (analiza de sub-canal)	2	6
		Termohidraulica piscinei cu plumb	2	
		Dezvoltare de modele pentru regimurile de curgere și cuplarea cu codurile de comportare mecanică	2	
3	Securitate nucleara	Analize probabiliste de securitate nucleara (PSA)	4	12
		Analize accidente baza de proiect (DBA)	4	
		Analize de accidente severe	2	
		Analize de hazard	2	
4	Chimia plumbului și a gazului de acoperire	Controlul oxigenului, filtrare	2	4
		Controlul gazului de acoperire	2	
5	Materiale	Coroziunea tecilor, a vasului reactorului, a generatorului de abur și a altor componente din zona activă; eroziune	2	6
		Efectul iradierii asupra materialelor	2	
		Comportarea mecanică în plumb (oboseala, fluaj)	2	

	Domeniu	Subdomeniu	Estimarea posturilor necesare pe subdomenii	Estimarea posturilor necesare pe domenii
6	Instrumentație	Imagistica prin ultrasunete	1	5
		In-service-inspection (ISI)	2	
		Detectori, senzori pentru presiune, temperatura, flux, putere, etc.	2	
7	Combustibil	Comportarea combustibilului în timpul operării normale	2	6
		Comportarea combustibilului în condiții de accident	2	
		Managementul combustibilului (combustibil proaspăt, reconfigurare zona activă, alimentare-realimentare)	2	
8	Management combustibil ars și deșeuri	Management deșeuri slab și mediu active	2	4
		Strategie pentru managementul combustibilului ars	2	
9	Radioprotecție	Supraveghere și monitorizare personal și mediu	2	2
10	Dezafectare	Dezafectare în tehnologia LFR	2	2
11	Management științific	Implementare proiect	12	12
TOTAL				66

Mai mult, au fost identificate specializarile și competențele minime necesare fiecărui post din fiecare subdomeniu .

- **Estimarea numărului de posturi necesare operării și realizării activităților specifice instalațiilor experimentale [11]**

Având ca punct de plecare prioritățile de cercetare-dezvoltare identificate și ale campaniilor experimentale [5] ce urmează a se desfășura în infrastructura ALFRED, a fost estimat numărul de posturi necesar pentru operarea și realizarea activităților experimentale, prezentate în Tabelele 4 – 9.

Astfel, pentru cele 6 instalații experimentale (ATHENA, ChemLab, HELENA2, ELF, HandsOn, Meltin’Pot), a fost estimat un necesar de 63 de posturi, dintre care 41 reprezintă ingineri în următoarele specializări: chimie analitică, chimie anorganică, inginerie chimică, știința și ingineria materialelor, mașini, materiale și acționari electrice, fizică tehnologică, metalurgie, sisteme electrice, inginerie nucleară, materiale și tehnologii nucleare, fizică.

Tabelul 4 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice ATHENA

Instalația	Estimarea posturilor necesare							Total
	Ingineri					Personal cu studii medii		
	Inginer chimist	Inginer electro-mecanic	Inginer CNE	Inginer termo-hidraulica	Inginer fizician/ materiale	Operator	Tehnician	
ATHENA	1	1	2	2	2	8	2	18
Ingineri								8
Studii medii								10

Tabelul 5 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice ChemLab

Instalația	Estimarea posturilor necesare							Total
	Ingineri				Personal cu studii medii			
	Ing. chimist	Inginer electro-tehnist	Inginer meta-lurg	Inginer fizician	Labo-rant	Operator	Electrician pentru joasa tensiune	
ChemLab	4	1	2	2	2	1	1	13
Ingineri								9
Studii medii								4

**Tabelul 6 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice
HELENA 2**

Instalația	Estimarea posturilor necesare							Total
	Ingineri					Personal cu studii medii		
	Inginer chimist	Inginer electro-mecanic	Inginer CNE	Inginer termohidraulica	Inginer fizician/materiale	Operator	Tehnician	
HELENA 2	1	1	1	1	3	4	4	15
Ingineri								7
Studii medii								8

**Tabelul 7 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice
ELF**

Instalația	Estimarea posturilor necesare							Total
	Ingineri					Personal cu studii medii		
	Inginer chimist	Inginer electro-mecanic	Inginer CNE	Inginer termohidraulica	Inginer fizician/materiale	Operator	Tehnician	
ELF	1	1	1	1	1	8	2	15
Ingineri								5
Studii medii								10

Tabelul 8 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice HandsON

Instalația	Estimarea posturilor necesare					Total
	Ingineri			Personal cu studii medii		
	Inginer electromecanic	Inginer CNE	Inginer fizician	Operator	Tehnician	
HandsON	1	1	1	4	2	9
Ingineri						3
Studii medii						6

Tabelul 9 Estimarea numărului de posturi pentru operarea și realizarea activităților specifice Meltin'Pot

Instalația	Estimarea posturilor necesare							Total
	Ingineri				Personal cu studii medii			
	Inginer chimist	Inginer fizician/fizician	Inginer termohidraulica	Inginer electromecanic	Laborant	Operator	Tehnician	
Meltin’Pot	3	4	1	1	2	2	2	15
Ingineri								9
Studii medii								6

• Estimarea numărului de posturi necesare operării demonstratorului ALFRED

În vederea asigurării funcționării și exploatarei în deplină siguranță a demonstratorului ALFRED, evaluarea necesarului de personal s-a efectuat pe baza expertizei acumulate în exploatarea reactorului TRIGA ținându-se cont de natura diverselor categorii de activități necesare:

- operarea demonstratorului;
- activități administrative;
- activităților de suport tehnic;

- activități de mentenanță.

Astfel, a fost estimat un număr total de 270 de persoane: 130 de posturi cu studii superioare și 140 de posturi cu studii medii (operatori de câmp, tehnicieni, electricieni, electromecanici, instalatori și operatori chimisti). Pentru fiecare categorie și pentru fiecare post au fost identificate specializarile necesare și competențele minime necesare.

4.3.2.4 Evaluarea disponibilității acestor competențe în țară

Odata identificate competențele necesare pentru posturile de înaltă complexitate care se vor crea odata cu punerea în funcțiune a infrastructurii ALFRED, a fost realizată o investigație a curriculumului universitar al facultăților din România ce oferă programe de educație și formare în domeniul nuclear [12], și anume:

- **Universitatea Politehnică din București.** Prin *Facultatea de Energetică*, aceasta instituție pregătește specialiști în domeniul Inginerie Energetică, specializarea Energetică și Tehnologii Nucleare;
- **Universitatea din Pitești.** Prin *Facultatea de Științe, Educație Fizică și Informatică*, instituția pregătește specialiști în domeniile Energetică și Tehnologii Nucleare (ETN) și Materiale și Tehnologii Nucleare (MTN);
- **Universitatea din București.** Prin *Facultatea de Fizică*, sunt oferite patru programe de studii universitare de licență, în domeniul Fizică și Fizică tehnologică;
- **Universitatea Babeș-Bolyai.** Prin *Facultatea de Fizică*, sunt oferite programe de studiu nivel licență la specializările Fizică, Fizică medicală, Fizică informatică și Fizică tehnologică.
- **Universitatea Constantin Brâncuși, Târgu-Jiu,** care oferă un singur program de studii de licență în domeniul energiei: Managementul Energiei, specializarea Ingineria sistemelor.
- **Universitatea Ovidius Constanța,** care pregătește specialiști în domeniul *Fizică Tehnologică*.

Dintre acestea, cele care au prevăzut cursuri dedicate tehnologiei LFR sunt Universitatea din Pitești (UPIT) (Facultatea de Științe, Educație Fizică și Informatică) și Universitatea Politehnică din București (UPB) (Facultatea de Energetică).

Astfel, în cadrul UPIT, există specializarea de licență Energetică și Tehnologii Nucleare care oferă pregătire în domeniul *Inginerie energetică* și specializarea de master Materiale și Tehnologii Nucleare care oferă pregătire în domeniul *Științe ingineresti aplicate*.

În cadrul UPB, programul de *master Inginerie Nucleară*, disciplinele actuale tratează în principal noțiuni specifice domeniului nuclear, dar o parte dintre cursuri cuprind și elemente specifice reactoarelor nucleare de Generația IV sau cu aplicabilitate în această ramură. În ceea ce privește programul de *licență Energetică și Tehnologii Nucleare* în ultimii doi ani de studii se predau doar discipline de bază din fizica reactorilor nucleari, termohidraulica sistemelor nucleare, instalațiile centralelor nucleare electrice, precum și securitate nucleară.

Ca urmare, a fost efectuată o investigație detaliată a gradului de acoperire a competențelor minimale identificate de către programele educaționale existente la nivelul UPIT și UPB care a analizat în ce măsură programele educaționale existente la nivelul celor două universități pot forma competențele așteptate pentru personalul de operare necesar pentru infrastructura suport și pentru demonstratorul ALFRED [13].

Analiza efectuată a pus în evidență faptul că prin comparație cu răspunsul la cerințele pentru operare, situația formării de competențe pentru activitățile CDI este mai dificilă fiind necesar un efort amplu de adaptare la cerințele cercetării, iar, pe de altă parte, este necesară o focalizare pe integrarea universităților în tematica de cercetare LFR.

Ca urmare, au fost propuse măsuri [13] care să conducă la rezolvarea acestor discrepante dintre specializările și competențele actuale, oferite de formatorii identificați și cele necesare pentru infrastructura ALFRED:

- introducerea în actuala curricula a cât mai multor informații legate de tehnologia LFR;
- revizuirea programei disciplinelor actuale și/sau introducerea unor cursuri noi în actuala programă de studii;
- training bazat pe educația academică primită în universități și orientat pe specificul tehnologiei LFR;
- crearea unei specializări noi, prin realizarea unui program de master specific tehnologiei LFR;
- corelarea activităților de cercetare specifice infrastructurii ALFRED cu programele doctorale.

De asemenea, pentru diminuarea discrepanțelor dintre competențele actuale, oferite de specializările celor două universități, și cele necesare pentru infrastructura ALFRED măsurile pe termen lung se vor concretiza în:

- Realizarea unui pachet de cursuri specifice tehnologiei LFR care să fie oferite în comun de către parteneri (RATEN ICN, UPIT, UPB) în cadrul unui program de formare continuă;
- Realizarea unui program de training la RATEN ICN cu participarea UPB și UPIT. Programul de training va fi structurat pe două direcții și anume:

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



- un program de training initial care să asigure nivelul de cunoștințe necesare personalului nou angajat care posedă deja o educație academică dar fără acoperirea specificului tehnologiei LFR ;
- un program de training continuu al personalului deja implicat în activitățile desfășurate pe platforma RATEN ICN.
- Posibilitatea realizării unui program de master specific tehnologiei LFR. Acest program de master ar urma să fie găzduit de UPIT și realizat în comun de către UPIT, UPB și RATEN ICN.

4.3.2.5 Plan de asigurare a resurselor umane necesare

În baza investigațiilor și analizelor efectuate în cadrul PRO ALFRED s-au definit planurile de instruire și mobilități [14] pentru resursa umană identificată ca fiind necesară operării infrastructurii ALFRED. Au fost identificate patru grupuri țintă, și anume:

- studenți,
- noi angajați la RATEN ICN,
- cercetători angajați la RATEN ICN și orientați către programul științific al infrastructurii ALFRED
- formatori.

În planurile inițiale dedicate celor 4 grupuri sunt definite obiectivele, duratele recomandate, resursele și mijloacele folosite, conținutul, precum și metodele de evaluare post-pregătire. Astfel:

- *Planurile de instruire și mobilități pentru studenți* au ca obiectiv pregătirea viitorilor potențiali angajați pe platforma nucleară de la Mioveni, pentru desfășurarea la standarde ridicate a activităților din cadrul infrastructurii ALFRED.

Durata stagiului de pregătire/cercetare pentru programul de mobilități poate fi de 3 sau 6 luni, în funcție de temele de cercetare și disponibilitatea universităților și/sau centrelor de cercetare vizate, în principal prin intermediul programului european ERASMUS+.

Stagiile de pregătire pe platforma nucleară de la Mioveni (activități experimentale și analize deterministe și probabiliste de securitate nucleară) vor fi agreate cu conducerea RATEN ICN.

Domeniile recomandate pentru efectuarea stagiului de pregătire a studenților se referă la direcțiile de cercetare-dezvoltare identificate ca prioritate în Tabelul 1.

- *Planurile de instruire inițiale pentru noii angajați cu studii superioare* care își vor desfășura activitățile în infrastructura ALFRED s-au definit pe baza competențelor minimale identificate [12] și au ca obiectiv:

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



- de a îmbogăți cunostintele angajaților în domeniul sistemele inovative de tip LFR;
- de a asigura o înțelegere a principiilor de operare și întreținere a instalațiilor experimentale suport precum și a sistemelor și echipamentelor specifice demonstratorului ALFRED;
- de a dezvolta abilități specifice postului atribuit;
- de a asigura o înțelegere a managementului securității, a procedurilor și a standardelor de performanță;
- de a insufla o atitudine corespunzătoare în ceea ce privește cultura de securitate.

Pentru programul de training se recomandă o perioadă de cel puțin 5 săptămâni, astfel: 2 săptămâni pentru training-ul general, cel puțin 2 săptămâni pentru trainingul specific în fiecare instalație și 1 săptămână pentru trainingul în vederea reevaluării.

- *Planul de instruire pentru noii angajați, în vederea asigurării funcționării și exploatarei demonstratorului ALFRED* a fost definit în detaliu în [14] fiind structurat pentru necesitățile fiecărei categorii de activitate: operarea demonstratorului, activități administrative, activități de suport tehnic și activități de mentenanță.

Pentru fiecare post necesar operării demonstratorului ALFRED au fost identificate specializarile și competențele minimale necesare realizării sarcinii sau activității pentru care persoanele sunt angajate și au fost definite temele/subiectele fiecărui curs de pregătire teoretică și de pregătire practică.

- *Planul de instruire și mobilități pentru formatori* [14] are ca obiective principale:
 - Formarea unui corp de formatori prin parcurgerea unui program de formare a acestora în vederea pregătirii viitorilor angajați de la RATEN ICN;
 - Efectuarea de schimburi de experiență/stagii de pregătire ale corpului de formatori în vederea dezvoltării competențelor și abilităților prin schimburi de experiență/bune practici;
 - Dezvoltarea abilităților de comunicare.

Planul de instruire conține programul de formare a formatorilor, durata acestuia precum și resursele și mijloacele și infrastructura pentru implementare.

La nivelul RATEN ICN, s-a considerat necesară existența unui grup de experți care să aibă calitatea de formatori; aceștia trebuie să posede cunoștințe teoretice semnificative, o experiență de lucru importantă referitoare la tehnologia LFR și să aibă capacitatea de a forma deprinderi necesare creșterii performanțelor în procesul de transfer al cunoștințelor.

Tabelul 10 prezinta sinteza principalelor actiuni ce reflecta strategia privind dezvoltarea resursei umane necesare implementării și operării infrastructurii ALFRED.

Tabel 10 Acțiuni și termene privind resursa umană

Nr.	Acțiune	Termen
1	Estimarea numărului de posturi necesare pentru infrastructura ALFRED	Noiembrie 2019
2	Analiza programelor educaționale universitare pentru adaptarea la cerințele infrastructurii ALFRED	Noiembrie 2020
3	Adaptarea programelor educaționale universitare	Septembrie 2021
4	Angajare personal pentru ATHENA și ChemLab	Decembrie 2022
5	Training personal pentru ATHENA și ChemLab	Iunie 2023
6	Angajare personal pentru HELENA2 și ELF	2024
7	Training personal pentru HELENA2 și ELF	2024
8	Angajare personal pentru Meltin’Pot și HandsOn	2025
9	Training personal pentru Meltin’Pot și HandsOn	2026
10	Angajare personal pentru Demonstratorul ALFRED	2.5 inainte de punerea în funcțiune
11	Training personal pentru Demonstratorul ALFRED	0.5 inainte de punerea în funcțiune
12	Schimb de expertiza cu ENEA Brasimone și alte infrastructuri experimentale	permanent
13	Promovarea infrastructurii ALFRED în mass-media, licee și universitati	permanent

4.3.3 Consolidarea colaborării naționale și europene

Realizarea Infrastructurii de cercetare ALFRED în România a stârnit interesul comunității științifice și al mediului universitar din țară, dar și din Europa.

4.3.3.1 Colaborare națională

Consortiul CESINA

Un pas important l-a constituit Acordul de Parteneriat încheiat în domeniul „Cercetării și Educației pentru Sisteme Nucleare Avansate” (**CESINA**), ce are ca obiectiv asigurarea suportului național pentru implementarea proiectului ALFRED prin colaborare în domenii precum:

- Cercetări în domeniul reactorilor inovativi de Generație IV , cu accent pe tehnologia LFR;
- Educație și pregătire focalizate pe tehnologia LFR;
- Dezvoltarea unor politici de resurse umane la nivel național în domeniul energiei nucleare;
- Dezvoltarea colaborării pe plan intern și internațional în domeniul sistemelor nucleare inovative.

Partenerii RATEN ICN în realizarea acestor obiective sunt:

Universitatea din Pitești (UPIT) nominalizată ca formator al specialiștilor în domeniul nuclear își asumă misiunea didactică și de cercetare, prin realizarea trinomului universității moderne: educație – cercetare – servicii în comunitate, astfel:

- Formare profesională la nivel universitar și postuniversitar;
- Generare și transfer de cunoaștere prin cercetare științifică fundamentală și aplicativă, dezvoltare, inovare și transfer tehnologic;
- Promovare și dezvoltare de parteneriate la nivel local, regional și național

Universitatea POLITEHNICĂ din București - UPB reprezintă cea mai mare universitate tehnică din România și se bucură de renume internațional.

Programele de licență Energetică și Tehnologii Nucleare și programul de Masterat “Inginerie Nucleară” au fost modernizate continuu prin introducerea unor noi cursuri similare celor din alte țări europene astfel încât să contribuie la dezvoltarea competențelor studenților în domeniul sistemelor nucleare inovative de Generație IV.

UPB împreună cu UPIT contribuie la realizarea activităților privind actualizarea/completarea programului educațional și de formare profesională din România în vederea asigurării resursei umane necesare implementării infrastructurii ALFRED [15].

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară-Horia Hulubei-IFIN-HH desfășoară activități de cercetare-dezvoltare într-o amplă diversitate de domenii de cercetare fundamentală și aplicativă, precum fizica nucleară, fizică atomică, tehnici nucleare, etc.

Prin activitățile desfășurate IFIN-HH contribuie permanent la creșterea impactului pozitiv al domeniului nuclear asupra industriei precum și asupra altor domenii ale economiei naționale prin oferta de servicii de înaltă calitate științifică și tehnică. Experiența IFIN-HH este fructificată atât în elaborarea cerințelor și studiilor privind deșeurile radioactive și dezafectarea instalațiilor nucleare (activități necesare realizării Raportului preliminar de Securitate pentru reactorul ALFRED și activităților de pre-autorizare), cât și în procesul de promovare, diseminare și comunicare privind proiectul ALFRED.

Institutul de Prognostic Economic (IPE) înființat în 1990, face parte din Institutului Național de Cercetări Economice din cadrul Academiei Române.

Având ca obiective majore creșterea vizibilității potențialului de cercetare, valorificarea rezultatelor cercetării naționale și integrarea sa în cercetarea internațională și în baza experizei acumulate, IPE contribuie la analizele economico-financiare privind piața de energie în care tehnologia LFR poate avea un rol major.

ROMATOM (industria nucleară)

Interesată de implementarea ALFRED în România, ROMATOM (ce reunește aproximativ 30 de organizații/companii) și-a arătat susținerea pentru construcția demonstratorului ALFRED în România și și-a manifestat disponibilitatea de a colabora pentru realizarea acesteia și, ulterior, pentru a utiliza instalațiile experimentale în scopul dezvoltării unor echipamente sau servicii specifice tehnologiei LFR.

Mai mult, ROMATOM și CESINA au semnat în 2017 un Memorandum de Înțelegere (MoU) care are ca principale direcții de colaborare următoarele:

- Identificarea și fructificarea oportunităților de participare a industriei românești la realizarea proiectului ALFRED în colaborare cu partenerii și părțile interesate/implicate;
- Elaborare planuri strategice și implementare acțiuni pentru asigurarea de servicii de calitate și de resursă umană necesară sectorului industrial pentru susținerea proiectării, construcției și operării reactorului ALFRED;
- Cooperarea pentru accesarea fondurilor europene, atragerea de capital și finanțare privată;
- Asigurarea accesului potențialilor furnizori/producători din cadrul ROMATOM la infrastructura ALFRED;

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



- Asigurarea suportului și promovarea oportunităților de colaborare în ceea ce privește proiectarea, testarea, licențierea și construcția ALFRED, etc.

De asemenea, ROMATOM a semnat cu RATEN un Acord de parteneriat în domeniul cercetării, dezvoltării tehnologice, testării și calificării tehnologiei reactorilor rapizi răciți cu plumb (LFR) prin care se convine asupra utilității rezultatelor cercetărilor dezvoltate de RATEN în cadrul acestor instalații pentru „dezvoltarea de servicii calificate, necesare pentru proiectarea și construcția demonstratorului ALFRED, ... precum și asupra necesității unei capacități extinse a industriei în timpul implementării comerciale a tehnologiei LFR”.

Societatea Națională NUCLEARELECTRICA (SNN)

Societatea Națională Nuclearelectrică a încheiat un Memorandum de înțelegere cu Consortiul FALCON în Martie 2018 având ca obiectiv transferul de know-how pentru licențierea, construcția și operarea Demonstratorului ALFRED.

Mai mult, Programul de Cercetare-Dezvoltare “Reactori nucleari avansați și cicluri de combustibil” al RATEN include teme suport pentru implementarea reactorilor de tip SMR în România ținând cont de Memorandumul de înțelegere NUCLEARELECTRICA-NUSCALE din cadrul Parteneriatului Strategic SUA-Romania.

Astfel, colaborarea la nivel național integrează o largă varietate de specialiști (cercetători, proiectanți, profesori, experți în economie) care se completează reciproc, contribuind sinergic la fundamentarea, dezvoltarea și implementarea infrastructurii ALFRED prin acțiuni comune ce poartă amprenta interdisciplinarității și consolidează cooperarea inter-instituțională în domeniul reactorilor de Gen IV, constituind în același timp bazele pentru dezvoltarea unor viitoare proiecte comune.

4.3.3.2 Cooperarea cu organizații europene și internaționale

Prin marjele sale de securitate nucleară sporite și prin designul robust și flexibil, Demonstratorul ALFRED este considerat candidatul optim ca punte între cercetare și implementarea comercială.

- De la sfârșitul anului 2013, consorțiul internațional care promovează construcția ALFRED (FALCON) este incubatorul inițiativei și un pol de atracție pentru partenerii interesați de tehnologia LFR, deschizând calea pentru construirea în România a primului demonstrator LFR de Generație IV având caracteristici ce îl fac un candidat ideal pentru filiera SMR. RATEN ICN este, alături de ENEA și ANSALDO (Italia), membru fondator al consorțiului FALCON și face parte din structurile de management și grupurile de lucru dedicate implementării demonstratorului ALFRED.

Cooperarea internațională este considerată un element cheie pentru implementarea proiectului ALFRED. Astfel, Consorțiul FALCON a încheiat acorduri de colaborare cu un număr de 10 organizații (universități și centre de cercetare europene) (Figura 6) care și-au manifestat interesul și disponibilitatea de a se implica în dezvoltarea acestei tehnologii și a beneficia de oportunitățile de cercetare oferite de infrastructura suport.



Figura 6 Consorțiul FALCON și organizațiile semnatare de acorduri de colaborare

Organizațiile europene, care sprijină proiectul ALFRED, au în vedere o revigorare a tradiției europene în ceea ce privește cercetarea de excelență și exploatarea în siguranță și durabilă a energiei nucleare. Piața energetică în continuă evoluție și nevoia tot mai mare a unui mix energetic diversificat sunt oportunități pentru Europa de a menține un rol de lider în dezvoltarea de tehnologii nucleare avansate competitive.

- Datorită campaniilor experimentale desfășurate la nivel mondial și, în special, în Europa, nivelul de dezvoltare a tehnologiei LFR a progresat semnificativ și este în continuă creștere. Aceste progrese, care în fapt scurtează timpul de lansare pe piața de energie, atrag interesul *industriei nucleare* la nivel mondial.

Astfel, atrase de potențialul tehnologiei LFR și de viziunea de implementare pe termen mai scurt, companiile industriale europene precum Ansaldo Nucleare (IT), Westinghouse GmbH (DE), Amec Foster Wheeler (Marea Britanie), Tractebel Engineering (BE) sau Skoda JS (CZ) sunt implicate în activitățile de dezvoltare LFR în cadrul proiectelor naționale și europene. De asemenea, compania Walter Tosto (Italia) a semnat acord direct de colaborare/susținere cu Consorțiul FALCON.

- În plus, reactorii de Gen IV sunt incluși în domeniile programului de colaborare internațională ale RATEN cu organizații de cercetare precum CEA și IRSN din Franța și SCK.CEN (Belgia).
- Ca membru activ al structurilor europene precum SET Plan, SNETP, ESNII, ETSON cu rol în elaborarea politicilor și strategiilor în domeniul cercetării nucleare, RATEN ICN a contribuit la promovarea tehnologiei LFR. Astfel, în 2018, Comitetul Executiv al ESNII, pe baza documentelor de progres în dezvoltarea LFR, elaborate și susținute de RATEN și partenerii din Consorțiul FALCON, a promovat această tehnologie pe o poziție prioritară a Foii de parcurs a reactorilor de Generație IV.
- Începând din 2013, RATEN ICN reprezintă România în Grupul Tehnic de Lucru pentru Reactori Rapizi al AIEA (TWG FR), ceea ce a permis accesul permanent la cele mai noi informații privind stadiul de dezvoltare a conceptelor de reactori de Gen IV, dar și posibilitatea de a promova în mod constant eforturile și rezultatele obținute de România în domeniul reactorilor rapizi răciți cu plumb.

RATEN ICN participă activ în proiectele de cercetare lansate în cadrul AIEA -TWG FR, în elaborarea de documente tehnice ale IAEA (TECDOC), precum și în organizarea/coordonarea de întâlniri tehnice de lucru dedicate reactorilor rapizi. De asemenea, RATEN ICN participă în calitate de coordonator sau partener în proiecte regionale și naționale inițiate în cadrul Departamentului de Cooperare Tehnică al AIEA, precum și în proiecte INPRO ale AIEA, dedicate dezvoltării capacității în domeniul reactorilor inovativi.

În 2017, România a devenit membru cu drepturi depline al OECD/NEA pe baza recunoașterii expertizei în exploatarea în siguranță a instalațiilor nucleare, a eforturilor permanente în sprijinirea procesului de consolidare a capacității și contribuția constantă la dezvoltarea sistemelor nucleare inovative de Gen IV. În

L 4.6 – Agenda de cercetare-dezvoltare-inovare pentru LFR în România



prezent, specialiștii RATEN reprezintă România în cadrul unor Grupuri de Experți ai OECD/NEA.

- Un rol esențial în consolidarea cooperării europene și internaționale l-a avut participarea RATEN ICN în numeroase proiecte dedicate sistemelor nucleare inovative (FP6 ELSY, FP7 LEADER, FP7 ADRIANA, MATTER, SEARCH, NEWLANCER, MAXSIMA, MATISSE, ESNII+, ARCADIA, etc.) , precum și în cele aflate acum în derulare:

ECC-SMART (H2020, 2020 – 2024) “Joint European-Canadian-Chinese Development of Small Modular Super-Critical Water-cooled Reactor Technology” – proiectare/caracterizare neutronică zona activă;

PASCAL (H2020, 2020 – 2024) - “Proof of augmented safety conditions în advanced liquid-metal-cooled systems”;

GEMMA (H2020, 2017–2021) - „GEneration IV Materials Maturity” - RATEN ICN realizează activități privind calificarea și codificarea materialelor structurale selectate pentru construcția reactorilor de generație IV;

PIACE (H2020, 2019 – 2022) - „Passive IsolAtion CondEnser” - RATEN ICN participă în pachete de lucru care au ca scop analiza și adaptarea unui sistem inovativ de evacuare a caldurii reziduale din reactorii nucleari, aflat în faza de validare tehnologică pentru reactorii răciți cu plumb (instalația SIRIO) astfel încât să se obțină un prototip care va putea fi utilizat atât în sistemele nucleare de tip Lead Fast Reactors (LFR)/ Accelerator Driven Systems (ADS) cât și pentru reactorii clasici;

MABELLE (EERA-JPNM, 2019-2022) - „Molybdenum clAdding tuBEs for high temperature HLM coolAnt Environment”, proiect Pilot în cadrul European Energy Research Alliance - Joint Programme on Nuclear Materials - RATEN participă ca partener la efectuarea de analize, calcule, evaluări ale impactului utilizării aliajelor de Molibden ca material pentru țecile de combustibil asupra parametrilor neutronici pentru configurația de referință a reactorului ALFRED.

4.3.4 Surse de finanțare

Situația actuală, precum și perspectivele privind construcția și operarea infrastructurii ALFRED sunt prezentate sintetic în Figura 5.

Astfel, pentru infrastructurile HELENA 2 și ELF în cadrul proiectului PRO ALFRED au fost realizate proiectele conceptuale precum și studiile de fezabilitate urmând ca în anul 2021 să fie realizate aplicațiile pentru finanțarea construcției.

Pentru Hands-ON și Metin’Pot se are în vedere realizarea proiectelor conceptuale în 2021, iar pentru HUB studiul de fezabilitate (2021).

Principala sursă de finanțare identificată este reprezentată de **Fondurile naționale** și anume:

- **Fondul de finanțare al funcționarii instalațiilor mari de cercetare** (pentru operarea instalațiilor; de exemplu utilitati, personal, etc.);
- **Programul național de Cercetare-Dezvoltare –Inovare (PNCDI);**
- **Finanțare prin contracte cu potentialii dezvoltatori de componente, sisteme, etc.;**
- **Ministerul Economiei, Energiei și Mediului de Afaceri** (ce finanteaza anual Programul de cercetare-dezvoltare al RATEN „Reactori nucleari avansati și cicluri de combustibil” dedicat sistemelor nucleare inovative, cu accent pe LFR).

A doua sursă de finanțare este reprezentată de **Fondurile europene** (prin participarea la competițiile ce vor fi lansate):

- **Fondurile europene de coeziune și de dezvoltare regionala (FEDR);**
- **Programul HORIZON Europe;**
- **Programul EURATOM.**

În continuare este prezentată sintetic situația actuală (2020) precum și noul cadru și perspectivele pentru sursele de finanțare europene.

- ✓ **Fondurile europene de coeziune și de dezvoltare regionala (FEDR)** În actuala perioadă de programare, investițiile din cadrul Fondului european de dezvoltare regională (FEDR) sunt concentrate pe 4 priorități tematice cheie: inovare și cercetare, agenda digitală, sprijin pentru întreprinderile mici și mijlocii (IMM-uri) și economia cu emisii reduse de carbon [16]. Investițiile FEDR în inovare sunt utilizate pentru a sprijini punerea în aplicare a celor peste 120 de strategii de specializare inteligentă (S3) pentru a avea un impact mai mare și mai durabil asupra locurilor de muncă și a creșterii din diferitele regiuni. Strategiile S3 au fost elaborate în procesele de descoperire antreprenorială, implicând afaceri, cercetare, organisme publice și societatea civilă. Specializarea inteligentă a transformat diversitatea teritoriilor noastre în forță, bazându-se pe activele specifice din fiecare regiune sau stat membru. De asemenea, a ajutat să înțelegem că succesul investițiilor în inovare depinde de cât de bine funcționează împreună organismele publice, private, de cercetare și întreprinderi.

Pentru a oferi sprijin statelor membre și regiunilor care își dezvoltă și implementează S3, a fost creată „Platforma de specializare inteligentă”: peste 180 de țări și regiuni s-

au înregistrat în această platformă S3 pentru a învăța printre colegi cum să dezvolte, să implementeze și să monitorizeze S3 lor și explorează posibilități de cooperare .. S3Platform oferă îndrumări, oportunități de învățare de la egal la egal și instrumente, cum ar fi baza de date Eye @ RIS3 privind prioritățile de specializare inteligentă din Europa, care arată că 33% din prioritățile S3 se referă la transformarea digitală și 51% se referă la transformări durabile legate de Green Deal.

Dezvoltarea regională și politica de coeziune după 2020: Noul cadru

Se pune accent pe cinci priorități de investiții, în care UE este în cea mai bună poziție pentru a obține rezultate.

Astfel, cinci obiective principale vor fundamenta investițiile UE în 2021-2027:

Investițiile de dezvoltare regională se vor concentra puternic pe obiectivele 1 și 2. 65% - 85% din FEDR și resursele Fondului de coeziune vor fi alocate acestor priorități, în funcție de bogăția relativă a statelor membre.

- Europă mai inteligentă, prin inovație, digitalizare, transformare economică și sprijin pentru întreprinderile mici și mijlocii;
- Europă mai ecologică, fără emisii de carbon, care să pună în aplicare Acordul de la Paris și să investească în tranziția energetică, regenerabile și în lupta împotriva schimbărilor climatice;
- Europă mai conectată, cu transporturi strategice și rețele digitale;
- Europă mai socială, realizând Pilonul european al drepturilor sociale și sprijinind ocuparea forței de muncă de calitate, educația, competența, incluziunea socială și acces egal la asistență medicală;
- Europă mai aproape de cetățeni, prin sprijinirea strategiilor de dezvoltare conduse la nivel local și a dezvoltării urbane durabile în întreaga UE.

O abordare mai adaptată la dezvoltarea regională

Politica de coeziune continuă să investească în toate regiunile, încă pe baza a 3 categorii (mai puțin dezvoltate, de tranziție, mai dezvoltate).

Metoda de alocare a fondurilor se bazează în continuare pe PIB pe cap de locuitor. Se adaugă noi criterii (șomajul tinerilor, nivelul scăzut de educație, schimbările climatice și primirea și integrarea migranților) pentru a reflecta mai bine realitatea. Regiunile ultraperiferice vor continua să beneficieze de sprijin special acordat de UE.

Politica de coeziune sprijină în continuare strategiile de dezvoltare conduse la nivel local și împuternicește autoritățile locale în gestionarea fondurilor. Dimensiunea urbană a politicii de coeziune este consolidată, cu 6% din FEDR dedicat dezvoltării urbane durabile și un nou program de rețea și consolidare a capacităților pentru autoritățile urbane, și anume Inițiativa urbană europeană.

De asemenea, se are în vedere un proces de simplificare: reguli mai scurte, mai puține, mai clare, existând nu mai puțin de 80 de măsuri de simplificare în politica de coeziune 2021-2027.

Pentru întreprinderile și antreprenorii care beneficiază de sprijinul UE, noul cadru oferă mai puțină birocrație, cu modalități mai simple de a solicita plăți utilizând opțiuni de cost simplificate. Pentru a facilita sinergiile, un singur cadru de reglementare acoperă acum 7 fonduri UE implementate în parteneriat cu statele membre („gestionare partajată”). Comisia propune, de asemenea, controale mai ușoare pentru programele cu un istoric bun, cu o dependență sporită de sistemele naționale și extinderea principiului „auditului unic”, pentru a evita duplicarea controalelor.

Un cadru mai flexibil

Noul cadru combină stabilitatea necesară în planificarea investițiilor cu nivelul adecvat de flexibilitate bugetară pentru a face față evenimentelor neprevăzute. O revizuire la jumătatea perioadei va determina dacă sunt necesare modificări ale programelor pentru ultimii doi ani ai perioadei de finanțare, pe baza priorităților emergente, a performanței programelor și a celor mai recente recomandări specifice fiecărei țări.

În anumite limite, transferurile de resurse vor fi posibile în cadrul programelor fără a fi necesară o aprobare formală a Comisiei. O dispoziție specifică facilitează mobilizarea finanțării UE încă din prima zi, în caz de dezastru natural.

O legătură consolidată cu semestrul european și guvernanta economică a Uniunii

Politica de coeziune susține reformele pentru un mediu favorabil investițiilor, în care întreprinderile pot prospera. Se va asigura complementaritatea și coordonarea deplină cu noul program îmbunătățit de sprijinire a reformelor.

Recomandările specifice fiecărei țări formulate în contextul semestrului european vor fi luate în considerare de două ori pe parcursul perioadei bugetare: la început, pentru proiectarea programelor politicii de coeziune și în timpul revizuirii intermediare. Pentru a stabili în continuare condițiile potrivite pentru creștere și crearea de locuri de muncă, noile condiții „favorabile” vor ajuta la eliminarea barierelor din calea investițiilor. Aplicarea acestora va fi monitorizată pe toată perioada financiară.

Mai multe oportunități pentru sinergii în cadrul instrumentului bugetar al UE

Manualul unic de reglementare care acoperă fondurile politicii de coeziune și Fondul pentru azil și migrație va facilita stabilirea strategiilor locale de integrare a migranților susținute de resursele UE utilizate în sinergie; Fondul pentru azil și migrație se va concentra pe nevoile pe termen scurt ale migranților la sosire, în timp ce politica de

coeziune va sprijini integrarea lor socială și profesională. În afara cadrului unic de reglementare, sinergiile vor fi mai ușoare cu alte instrumente ale UE, cum ar fi politica agricolă comună, Orizont Europa, programul LIFE sau Erasmus +.

„Interreg”: eliminarea obstacolelor transfrontaliere și sprijinirea proiectelor de inovare interregionale

Cooperarea interregională și transfrontalieră va fi facilitată de noua posibilitate pentru o regiune de a utiliza părți din propria alocare pentru a finanța proiecte oriunde în Europa, împreună cu alte regiuni.

Noua generație de programe de cooperare interregională și transfrontalieră („Interreg”) va ajuta statele membre să depășească obstacolele transfrontaliere și să dezvolte servicii comune. Comisia propune un nou instrument pentru regiunile de frontieră și statele membre dornice să-și armonizeze cadrul juridic, mecanismul transfrontalier european.

Bazându-se pe o acțiune pilot de succes din 2014-2020, Comisia propune crearea de investiții interregionale inovatoare. Regiunilor cu active de „specializare inteligentă” potrivite li se va oferi mai mult sprijin pentru a construi clustere paneuropene în sectoare prioritare precum big data, economie circulară, producție avansată sau securitate cibernetică.

Reguli consolidate pentru o mai bună performanță a investițiilor UE

Toate programele vor avea în continuare un cadru de performanță cu obiective cuantificabile (numărul de locuri de muncă create sau acces suplimentar la banda largă). Noul cadru introduce o revizuire anuală a performanței, sub forma unui dialog politic între autoritățile din program și Comisie. Performanța programelor va fi, de asemenea, evaluată în timpul unei evaluări intermediare. Din motive de transparență și pentru ca cetățenii să poată urmări progresele realizate, statele membre vor trebui să raporteze toate datele de implementare la fiecare două luni, iar platforma de date deschise de coeziune va fi actualizată automat.

O utilizare sporită a instrumentelor financiare

Subvențiile singure nu pot soluționa lipsurile semnificative de investiții. Ele pot fi completate eficient de instrumente financiare, care au un efect de pârghie și sunt mai aproape de piață. În mod voluntar, statele membre vor putea transfera o parte din resursele politicii de coeziune către noul fond InvestEU gestionat central, pentru a accesa garanția oferită de bugetul UE. Combinarea de subvenții și instrumente financiare este mai ușoară, iar noul cadru include, de asemenea, dispoziții speciale pentru a atrage mai mult capital privat.

Mai multe eforturi de comunicare pentru a îmbunătăți vizibilitatea politicii de coeziune

Pentru o Europă din ce în ce mai aproape de cetățeni, se pune mai mult accent pe necesitatea de a comunica mai bine rezultatele pozitive ale politicii de coeziune. Statele membre și regiunile au consolidat cerințele în ceea ce privește comunicarea, cum ar fi organizarea de evenimente pentru deschiderea marilor proiecte finanțate de UE și dezvoltarea planurilor de informare socială.

În același timp, comunicarea privind proiectele finanțate de UE este simplificată, cu un branding unic care acoperă toate fondurile UE diferite, un portal unic care afișează toate finanțările disponibile pentru întreprinderi și o bază de date unică a proiectelor administrată de Comisie.

✓ Programul HORIZON Europe

Propunerea Comisiei pentru Horizon Europe [17] este un ambițios program de cercetare și inovare în valoare de 100 de miliarde EUR pentru reușita programului.

Rezultatul procesului va fi stabilit într-un plan strategic multianual pentru pregătirea conținutului din programele de lucru și a cererilor de propuneri pentru primii 4 ani ai Horizon Europe.

Procesul de planificare strategică se va concentra în special pe pilonul provocărilor globale și al competitivității industriale europene al Horizon Europe (Figura 7). Acesta va acoperi, de asemenea, partea din program a lărgirii participării și consolidării spațiului european de cercetare, precum și activitățile relevante din alți piloni.

Pilonul Științei (Excellence Science): Deschise sprijină cercetătorii prin burse și schimburi, precum și finanțare pentru proiecte definite și conduse de cercetătorii înșiși, prin intermediul Consiliul European de Cercetare și acțiunile Marie-Skłodowska-Curie.

Pilonul provocărilor globale (Global Challenges and European Industrial Competitiveness) sprijină în mod direct cercetarea legată de provocările societale, stabilirea misiunilor la nivelul UE cu obiective ambițioase privind probleme care ne afectează zilnic societatea, precum lupta împotriva cancerului, mobilitatea cetățenilor sau problemele de mediu. Industria va juca un rol activ, esențial în cadrul acestui pilon și pe tot parcursul programului în ansamblu.

Pilonul Open Innovation își propune să sprijine Europa în a deveni lider în inovatia care creează piață economică. Astfel, se va acorda sprijin pentru organizațiile cu potențial ridicat și tehnologii avansate și companii inovatoare cu potențial pentru extindere.

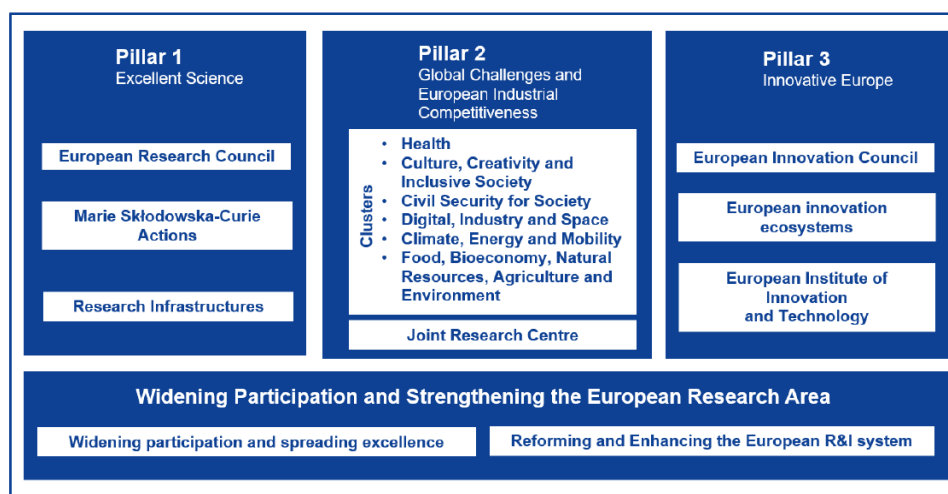


Figura 7 Structura preliminară a programului HORIZON Europe [17]

Procesul de definire și implementare a Horizon Europe va identifica, printre altele, domeniile cheie pentru sprijinirea cercetării și inovării și impactul vizat al acestora, parteneriatele europene și domeniile de cooperare internațională.

Politica de coeziune a UE joacă un rol important privind fondurile UE pentru cercetare și inovare printr-un accent sporit privind inovația și strategiile de specializare inteligentă. Astfel, „Sigiliul de excelență” permite proiectelor evaluate cu succes în cadrul Horizon Europe să fie finanțate la nivel regional în cadrul fondurilor structurale și de investiții europene.

✓ **Programul EURATOM**

EURATOM își propune să desfășoare activități de cercetare și formare nucleară, cu accent pe îmbunătățirea continuă a securității, siguranței și protecției împotriva radiațiilor nucleare, în special pentru a contribui la decarbonizarea pe termen lung a sistemului energetic într-un mod eficient și sigur. Contribuind la aceste obiective, Programul Euratom va consolida rezultatele în cadrul celor trei priorități ale Orizont 2020: excelența în știință, leadership industrial și provocări societale [16].

Acțiunile indirecte ale programului Euratom se concentrează pe două domenii:

- fisiunea nucleară și protecția împotriva radiațiilor
- fuziunea

Programul Euratom pune un accent puternic pe dezvoltarea abilităților și competențelor nucleare. Acest lucru va permite Europei să își mențină poziția de lider mondial în domeniul securității nucleare și al gestionării deșeurilor și să atingă cel mai înalt nivel de protecție împotriva radiațiilor.

Programul Euratom de cercetare și formare are următoarele obiective specifice:

- Susținerea siguranței sistemelor nucleare;
- Contribuie la dezvoltarea de soluții sigure pe termen lung pentru gestionarea deșeurilor radioactive finale;
- Sprijinirea dezvoltării și sustenabilității expertizei și excelenței în domeniul nuclear în Uniunea Europeană;
- Susținerea protecției împotriva radiațiilor și dezvoltarea aplicațiilor medicale ale radiațiilor, inclusiv, printre altele, furnizarea și utilizarea sigură și sigură a radioizotopilor;
- Demonstrarea fezabilității fuziunii ca sursă de energie prin exploatarea instalațiilor de fuziune existente și viitoare;
- Pune bazele viitoarelor centrale electrice de fuziune prin dezvoltarea de materiale, tehnologii și design conceptual;
- Promovarea inovării și competitivității industriale;
- Asigurarea disponibilității și utilizării infrastructurilor de cercetare de relevanță paneuropeană.

La acest moment (2020), RATEN participă în calitate de partener în cinci proiecte HORIZON 2020 (EURATOM) dedicate sistemelor nucleare inovative.

Concluzii

- ✓ Agenda de cercetare –dezvoltare – inovare pentru LFR în România a stabilit două obiective majore a caror realizare va consolida poziția României în domeniul nuclear:
 - O1: ALFRED - Demonstrator al conceptului LFR de Generație IV;
 - O2: Prototip pentru un reactor modular bazat pe tehnologia LFR (SMR-LFR) pentru implementare pe termen scurt.
- ✓ Agenda LFR în România este în consonanță cu Foaia de parcurs (Roadmap) pentru ALFRED și cu Planul de acțiune, documente ce au fost elaborate și comunicate Comisiei Europene în 2018;
- ✓ Agenda LFR în România vizează priorităților de cercetare-dezvoltare și ale campaniilor experimentale identificate în cadrul proiectului PRO ALFRED, luând în considerare nivelul actual internațional al cunoștințelor și expertizei în domeniul tehnologiei LFR.
- ✓ În scopul atingerii celor două obiective, sunt considerate două Direcții Strategice de Acțiune (DSA) ce au ca scop sprijinirea procesului de licențiere și a programului de demonstrație al securității nucleare:
 - Dezvoltarea/Construcția /Operarea Infrastructurii Experimentale;
 - Dezvoltarea/Construcția /Operarea ALFRED
- ✓ Au fost identificate patru Direcții de Acțiune Suport absolut necesare în dezvoltarea, implementarea și operarea infrastructurii ALFRED:
 - Programul de Cercetare-Dezvoltare al RATEN în domeniul „Reactori Nucleari Avansati și Cicluri de Combustibil”;
 - Resurse umane, Educație și Pregătire profesională;
 - Consolidarea colaborării naționale și europene;
 - Surse de finanțare.
- ✓ Pentru fiecare Direcție Strategică de Acțiune (DSA) au fost stabilite principalele direcții și activități de cercetare - dezvoltare – inovare și campaniile experimentale pentru fiecare infrastructura experimentală;
- ✓ Agenda LFR ține cont de tendințele cercetării și dezvoltării la nivel internațional și de previzionarea anticipată a nevoilor viitoare în domeniul LFR și abordează într-o manieră integrată toate aspectele necesare progresului tehnologic al LFR prin implicarea tuturor actorilor cu expertiză în domeniu: organizații de cercetare, industrie, utilități, organisme de reglementare în domeniul nuclear, universități.

Referințe

- [1] Milestones în the Development of Național Infrastructure for Nuclear Power, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-G-3.1.
- [2] P. Lorusso și M. Caramello, „ALFRED Experimental Installation: Conceptual Design Requirements,” ALFRED-PRO-REP-001, 2019.
- [3] P. Lorusso, et. al., „Conceptual Projects of the Experimental Facilities HELENA2 and ELF,” ALFRED-PRO-REP-005, 2020.
- [4] M. Caramello, G. Grasso, “ALFRED Demonstrator: Design and Licensing Elements”, ALFRED-PRO-REP-002, 2019.
- [5] I. Visan, D. Gugiu, A. Moise, Ctin. Păunoiu, „Priorități de cercetare și dezvoltare și ale campaniilor experimentale.”, PRO ALFRED, RI 12631, 2020.
- [6] G. Firpo, M. Tarantino, “ALFRED Infrastructure: Guidelines for Long-term Sustainability”, ALFRED-PRO-REP-003, 2019.
- [7] M. Nitoi, „Raport privind abordarea gradată în operare”, PRO ALFRED, RI 12287, 2019.
- [8] D. Gugiu, I. Vișan, C. Mărgeanu, Ctin. Păunoiu, R. Roman, A. Moise, A. Dinu, “Studiu de sinteză a aspectelor specifice LFR. Provocări specifice tehnologiei plumbului.”, PRO ALFRED, RI 12991, 2019.
- [9] [1] Strategia de dezvoltare RATEN pentru perioada 2015-2025, aprobată prin HCA-RATEN Nr. 7 din 30 martie 2015.
- [10] Programul Strategic de CERCETARE-DEZVOLTARE AL RATEN în perioada 2021-2025 în domeniul „Reactori nucleari avansati și cicluri de combustibil”, RI 12348, 2020.
- [11] M. Apostol, M. Constantin, M. Fulger, “Necesar de resurse umane pentru implementarea și operarea infrastructurii ALFRED”, PRO ALFRED, RI 12292, 2019.
- [12] Georgeta Chirleşan, et. al., „Analiza situației actuale: formatori, specializari și competențe utile pentru infrastructura ALFRED”, PRO ALFRED, 2019.
- [13] D. Dupleac, M. Apostol, et. al., „Metode, mijloace și instrumente pentru formarea competențelor”, PRO ALFRED, 2020.
- [14] M. Apostol, et. al., “Plan de instruire și mobilitati”, PRO ALFRED, RI 12639, 2020.
- [15] D. Chirlesan, et. al., „Curriculae pentru specializarile noi”, PRO ALFRED, 2020.

[16] Fondurile europene de coeziune și de dezvoltare regională, www.ec.europa.eu.

[17] Programul HORIZON Europe, www.ec.europa.eu.